

A photograph of an offshore wind farm. In the foreground, a large white wind turbine with a yellow base is partially obscured by white, foamy waves crashing against its structure. Several other similar wind turbines are visible in the background, stretching across the horizon under a clear blue sky with light, wispy clouds.

BỘ TÀI NGUYÊN VÀ MÔI TRƯỜNG

**BÁO CÁO
ĐÁNH GIÁ TIỀM NĂNG NĂNG LƯỢNG
BỨC XẠ, GIÓ VÀ SÓNG TẠI VIỆT NAM**

HÀ NỘI, 9/2022

MỤC LỤC

MỞ ĐẦU	6
CHƯƠNG I	8
TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU KHAI THÁC NGUỒN TÀI NGUYÊN NĂNG LƯỢNG BỨC XẠ, GIÓ VÀ SÓNG.....	8
1.1. Nghiên cứu khai thác tài nguyên năng lượng bức xạ, gió và sóng trên thế giới.....	8
1.1.1. Giới thiệu chung.....	8
1.1.2. Nghiên cứu khai thác nguồn năng lượng bức xạ	10
1.1.3. Nghiên cứu khai thác nguồn năng lượng gió.....	12
1.1.4. Nghiên cứu khai thác nguồn năng lượng sóng	15
1.2. Tình hình nghiên cứu khai thác tài nguyên bức xạ, gió và sóng ở Việt Nam	18
1.2.1. Nghiên cứu khai thác tài nguyên năng lượng bức xạ	18
1.2.2. Nghiên cứu khai thác tài nguyên năng lượng gió.....	22
1.2.3. Nghiên cứu khai thác tài nguyên năng lượng sóng	26
1.3. Một số nhận xét ban đầu	27
CHƯƠNG II	29
SỐ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN.....	29
2.1. Thu thập số liệu.....	29
2.1.1. Số liệu quan trắc.....	29
2.1.2. Số liệu từ mô hình.....	31
2.1.3. Số liệu viễn thám	34
2.1.4. Số liệu tái phân tích.....	34
2.1.5. Số liệu đặc trưng bề mặt	35
2.2. Phương pháp tính toán	37
2.2.1. Phương pháp tính toán tiềm năng năng lượng bức xạ.....	37
2.2.2. Phương pháp tính toán tiềm năng năng lượng gió.....	39
2.2.3. Phương pháp tính toán tiềm năng năng lượng sóng	43
CHƯƠNG III.....	46
TIỀM NĂNG NĂNG LƯỢNG BỨC XẠ, GIÓ VÀ SÓNG	46
3.1. Tiềm năng năng lượng bức xạ	46

3.2. Đánh giá tiềm năng năng lượng gió.....	54
3.2.1. Đánh giá tiềm năng năng lượng gió trên đất liền	54
3.2.2. Đánh giá tiềm năng năng lượng gió trên khu vực Biển Đông.....	62
3.3. Kết quả đánh giá tiềm năng năng lượng sóng.....	68
CHƯƠNG IV	77
CÁC NHÂN TỐ TÁC ĐỘNG ĐẾN KHAI THÁC NĂNG LƯỢNG BỨC XẠ, GIÓ VÀ SÓNG TẠI VIỆT NAM.....	77
4.1. Thiên tai khí tượng thủy văn.....	77
4.2. Nguy cơ động đất	91
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ.....	93
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	103
PHỤ LỤC	115
Phụ lục 1. Chi tiết kết quả tính toán tiềm năng năng lượng bức xạ ($\text{kWh/m}^2/\text{ngày}$) tại các điểm trạm	115
Phụ lục 2: Bản đồ tiềm năng năng lượng bức xạ ($\text{kWh/m}^2/\text{ngày}$) các tháng trong năm theo số liệu quan trắc	121
Phụ lục 3. Bản đồ bức xạ trung bình ước tính từ dữ liệu vệ tinh himawari...	124
Phụ lục 4. Bản đồ phân bố tiềm năng năng lượng gió trên khu vực Biển Đông theo số liệu WRF.....	125
Phụ lục 5. Bản đồ phân bố tốc độ gió trung bình trên mực chi tiết từ 50m-200m cho từng tháng kèm theo ước lượng năng lượng từ gió cho từng tháng trên toàn bộ bề mặt đất liền thuộc lãnh thổ Việt Nam	134
Phụ lục 6. Phân bố độ cao sóng và năng lượng sóng ở Biển Đông	142

DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 1.1. Kết quả tính toán tiềm năng năng lượng bức xạ theo số liệu quan trắc thuộc Chương trình 42A cho một số điểm trạm [15].....	19
Bảng 1.2. Kết quả tính toán tiềm năng năng lượng bức xạ theo số liệu quan trắc thuộc Chương trình KHCN-BĐKH/11-15 cho một số điểm trạm [9]	20
Bảng 1.3. Phân định các mức khai thác năng lượng bức xạ [7]	21
Bảng 2.1. Danh sách trạm có quan trắc bức xạ ở Việt Nam.....	29
Bảng 2.2. Danh sách các trạm hải văn Việt Nam.....	31
Bảng 2.3. Kết quả đánh giá sai số của 18 trạm ven biển và trạm đảo	32
Bảng 2.4: Thông số độ nhám chi tiết ứng với từng loại lớp phủ sử dụng trong báo cáo để cập nhật tính toán từ nguồn dữ liệu ERA5 kết hợp quan trắc bề mặt của Việt Nam.....	36
Bảng 2.5. Tọa độ các điểm trích kết quả tính toán sóng và năng lượng sóng	45
Bảng 3.1. Tổng số giờ nắng (giờ) tại các vùng khí hậu	46
Bảng 3.2. Tiềm năng năng lượng bức xạ (Kwh/m ² ngày) tại các vùng khí hậu, trạm Hoàng Sa và Trường Sa	51
(Màu xanh: Khai thác không hiệu quả; màu trắng-đỏ nhạt: Khai thác hiệu quả; màu đỏ: Khai thác hiệu quả cao).....	51
Bảng 3.3. Phân tích các đặc điểm về tốc độ, hướng gió và tiềm năng năng lượng ở độ cao 50 m	56
Bảng 3.4. Phân tích các đặc điểm về tốc độ, hướng gió và tiềm năng năng lượng ở độ cao 100 m	58

DANH MỤC HÌNH VẼ

Hình 1.1. Tài nguyên và mật độ năng lượng sóng biển trên thế giới [34].....	16
Hình 2.1. Mạng lưới trạm quan trắc được sử dụng.....	30
Hình 2.2. Giản đồ Taylor chuẩn hóa thể hiện sai số tại cửa của 18 trạm quan trắc ven biển và các đảo của Việt Nam.....	33
Hình 2.3. Sơ đồ thực hiện mô hình tính toán năng lượng bức xạ mặt trời	39
Hình 3.1. Tiềm năng năng lượng bức xạ năm từ trạm quan trắc ($\text{kWh/m}^2/\text{năm}$) ...	50
Hình 3.2. Kết quả tính tổng lượng bức xạ ngang GHI trung bình ngày theo 4 mùa (Đơn vị kWh/m^2).....	53
Hình 3.3. Bản đồ phân vùng quy hoạch tiềm năng phát triển NLMT tỉnh Đắk Nông được thu nhỏ từ tỉ lệ 1:50000	54
Hình 3.4. Bản đồ phân vùng tiềm năng phát triển NLMT cấp huyện tỉnh Đắk Nông được thu nhỏ từ tỉ lệ 1:25000	54
Hình 3.5. Bản đồ phân bố gió (hàng 1) và năng lượng tiềm năng từ gió (hàng 2) tại các mực 50, 100, 150 và 200m trung bình năm cho giai đoạn 1990-2020.....	61
Hình 3.6. Bản đồ phân bố mật độ năng lượng gió (W/m^2) trung bình các tháng 1 (a), 4 (b), 7 (c), 10 (d) và năm (e) trên khu vực Biển Đông ở độ cao 100 m, thời kỳ 1991-2020.....	63
Hình 3.7. Bản đồ phân bố mật độ năng lượng gió (W/m^2) trung bình các tháng 1 (a), 4 (b), 7 (c), 10 (d) và năm (e) trên khu vực Biển Đông ở độ cao 150 m, thời kỳ 1991-2020.....	63
Hình 3.8. Bản đồ phân bố mật độ năng lượng gió (W/m^2) trung bình các tháng 1 (a), 4 (b), 7 (c), 10 (d) và năm (e) trên khu vực Biển Đông ở độ cao 200 m, thời kỳ 1991-2020.....	64
Hình 3.9. Bản đồ phân bố tần suất các ngưỡng mật độ năng lượng gió nhỏ hơn 200 W/m^2 (a), $200\text{-}250 \text{ W/m}^2$ (b), $250\text{-}300 \text{ W/m}^2$ (c), $\geq 300 \text{ W/m}^2$ (d), $\geq 1500 \text{ W/m}^2$ (e) và $\geq 6500 \text{ W/m}^2$ (f) trên khu vực Biển Đông ở độ cao 100 m, thời kỳ 1991-2020.....	65
Hình 3.10. Bản đồ phân bố tần suất các ngưỡng mật độ năng lượng gió nhỏ hơn 200 W/m^2 (a), $200\text{-}250 \text{ W/m}^2$ (b), $250\text{-}300 \text{ W/m}^2$ (c), $\geq 300 \text{ W/m}^2$ (d), $\geq 1500 \text{ W/m}^2$ (e) và $\geq 6500 \text{ W/m}^2$ (f) trên khu vực Biển Đông ở độ cao 150 m, thời kỳ 1991-2020.....	65
Hình 3.11. Bản đồ phân bố tần suất các ngưỡng mật độ năng lượng gió nhỏ hơn 200 W/m^2 (a), $200\text{-}250 \text{ W/m}^2$ (b), $250\text{-}300 \text{ W/m}^2$ (c), $\geq 300 \text{ W/m}^2$ (d), $\geq 1500 \text{ W/m}^2$ (e) và $\geq 6500 \text{ W/m}^2$ (f) trên khu vực Biển Đông ở độ cao 200 m, thời kỳ 1991-2020.....	66
Hình 3.12. Biến trình tốc độ gió (m/s) ở độ cao 100 m trên các vùng biển ven bờ Việt Nam: Bắc vịnh Bắc Bộ (khu vực 1), Nam vịnh Bắc Bộ (khu vực 2), vùng biển từ Quảng Trị đến Quảng Ngãi (khu vực 3), vùng biển từ Bình Định đến	

Ninh Thuận (khu vực 4), vùng biển từ Bình Thuận đến Cà Mau (khu vực 5), vùng biển từ Cà Mau đến Kiên Giang (khu vực 6).....	67
Hình 3.13. Biểu trình mật độ năng lượng gió (W/m^2) ở độ cao 100 m trên các vùng biển ven bờ Việt Nam: Bắc vịnh Bắc Bộ (khu vực 1), Nam vịnh Bắc Bộ (khu vực 2), vùng biển từ Quảng Trị đến Quảng Ngãi (khu vực 3), vùng biển từ Bình Định đến Ninh Thuận (khu vực 4), vùng biển từ Bình Thuận đến Cà Mau (khu vực 5), vùng biển từ Cà Mau đến Kiên Giang (khu vực 6).....	68
Hình 3.14. Mật độ năng lượng sóng trung bình tháng tại các trạm hải văn	69
Hình 3.15. Phân bố trường độ cao sóng trung bình (a) và mật độ sóng trung bình (b) trên Biển Đông và ven bờ Việt Nam	72
Hình 3.16. Phân bố tần suất mức có tiềm năng năng lượng sóng trung bình ($P > 10 \text{ kW/m}$) trung bình tháng, trung bình nhiều năm trên khu vực Biển Đông...	75
Hình 3.17. Phân bố tần suất mức có tiềm năng năng lượng sóng cao ($P > 20 \text{ kW/m}$) trung bình tháng, trung bình nhiều năm trên khu vực Biển Đông.....	76
Hình 4.1. Sơ đồ phân vùng ảnh hưởng của bão [30]	84
Hình 4.2. Phân vùng hiện trạng rủi ro thiên tai lũ quét, sạt lở đất ở Việt Nam [31]	85
Hình 4.3. Trường sóng cực đại trên Biển Đông.....	91

MỞ ĐẦU

Việt Nam là nước nằm trong vùng gió mùa châu Á mạnh và ổn định nên tiềm năng năng lượng gió được đánh giá là rất dồi dào. Theo kết quả khảo sát của chương trình đánh giá về năng lượng cho Châu Á của Ngân hàng Thế giới (WB), Việt Nam có tiềm năng gió trung bình so với các nước trên thế giới và trong khu vực nhưng thuộc diện lớn nhất trong khu vực Đông Nam Á với tổng tiềm năng điện gió ước đạt 513.360 MW, lớn gấp 200 lần công suất của nhà máy thủy điện Sơn La và hơn 10 lần tổng công suất dự báo của ngành điện Việt Nam năm 2020.

Việt Nam cũng được đánh giá nằm ở một trong khu vực có nguồn tài nguyên năng lượng mặt trời dồi dào nhất thế giới. Theo ước tính, khu vực giữa Biển Đông và khu vực ven bờ nam Trung Bộ có tổng năng lượng trực xạ và bức xạ tổng cộng khá lớn với tổng năng lượng trong khoảng 3.000 đến 5.000 Wh/m²/ngày.

Trong khi đó, Biển Đông là một khu vực biển hẹp so với đại dương nên không tồn tại trường sóng lừng liên tục trong năm như các vùng bờ biển phía đông Đại Tây Dương hoặc bờ biển phía Thái Bình Dương. Tuy nhiên, do nằm trên khu vực có hai chế độ gió mùa luân phiên nên nguồn tài nguyên năng lượng sóng phong phú nhất so với các nước trong khu vực.

Báo cáo tiềm năng năng lượng gió, sóng ngoài khơi lần thứ nhất được công bố vào tháng 4/2022 đã bước đầu cung cấp các thông tin về phân bố tiềm năng năng lượng gió, sóng chi tiết tại các vùng biển ven bờ của Việt Nam và trên toàn bộ khu vực biển Đông. Báo cáo tiềm năng năng lượng bức xạ, gió và sóng tại Việt Nam lần này được xây dựng trên cơ sở kế thừa các kết quả của Báo cáo lần thứ nhất, bổ sung thông tin chi tiết hơn về tiềm năng gió ngoài khơi và cung cấp thêm các thông tin về phân bố tiềm năng gió và bức xạ trên đất liền tại Việt Nam.

Báo cáo được xây dựng bởi Tổng cục Khí tượng Thủy văn, Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu, Trung tâm Hải văn (Tổng cục Biển và hải đảo Việt Nam), và sự đóng góp quý báu của các chuyên gia: GS. TS Nguyễn Trọng Hiệu, PGS. TS Trần Việt Liên; PGS. TS Vũ Thanh Ca, PGS. TS Nguyễn Minh Huân.

Bộ Tài nguyên và Môi trường trân trọng giới thiệu Báo cáo đánh giá tiềm năng năng lượng bức xạ, gió và sóng tại Việt Nam tới các bộ, ngành, địa phương. Báo cáo là tài liệu hữu ích để các bộ, ngành địa phương tham khảo và sử dụng trong các hoạt động có liên quan.

CHƯƠNG I

TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU KHAI THÁC NGUỒN TÀI NGUYÊN NĂNG LƯỢNG BỨC XẠ, GIÓ VÀ SÓNG

1.1. Nghiên cứu khai thác tài nguyên năng lượng bức xạ, gió và sóng trên thế giới

1.1.1. Giới thiệu chung

Năng lượng luôn là nhu cầu không thể thiếu của sự phát triển và là vấn đề thời sự nóng bỏng của thế giới; biến động giá năng lượng gây ra suy thoái kinh tế và dẫn đến bất ổn chính trị ở nhiều quốc gia trên thế giới. Trong sự phát triển của thế giới, nguồn năng lượng từ nhiên liệu hóa thạch là nguồn năng lượng chính nuôi sống nền công nghiệp toàn cầu và là điểm tựa cho sự phát triển của thế giới hiện đại, chiếm 80% tổng năng lượng [3], với 27% là từ than đá [87]; năng lượng tái tạo chiếm khoảng 11% [73]. Tuy nhiên, với tốc độ khai thác hiện nay, nguồn năng lượng hóa thạch được cảnh báo là sẽ cạn kiệt vào trước nửa cuối thế kỷ XXI. Việc sử dụng năng lượng hóa thạch ồ ạt trong hơn một thế kỷ qua, đã phát thải ra một lượng khí nhà kính (KNK) khổng lồ và gây ra tình trạng nóng lên toàn cầu với những hậu quả khôn lường cho nhân loại. Trên quy mô toàn cầu, hiện có khoảng 447 nhà máy điện hạt nhân đang hoạt động và có khoảng 287 nhà máy điện hạt nhân dự kiến được sử dụng vào năm 2035 [91]. Tuy nhiên, triển vọng phát triển điện hạt nhân là không khả quan nhiều do liên quan đến vấn đề rác thải hạt nhân và rủi ro môi trường [91].

Thực tế, tiêu thụ năng lượng không ngừng là nhu cầu tất yếu của sự phát triển. Do vậy, việc nghiên cứu khai thác các nguồn năng lượng tái tạo nhằm thay thế nhiên liệu hóa thạch là yêu cầu cấp bách của mọi quốc gia trên thế giới. Tại các Hội nghị toàn cầu về BĐKH (COP) đã đề cập đến khai thác nguồn năng lượng tái tạo là giải pháp quan trọng nhằm đa dạng hóa nguồn năng lượng phục vụ sự phát triển, dần dần thay thế nhiên liệu hóa thạch và chống BĐKH toàn cầu. Theo dự báo của Cơ quan quốc tế về năng lượng tái tạo (IRENA), năng lượng tái tạo có thể tăng 28% vào năm 2030, 66% vào năm 2050 [52]. Ngoài ra, tỷ trọng đóng góp của năng lượng tái tạo đối với lĩnh vực năng lượng toàn cầu có thể đạt 57% vào năm 2030, 86% vào năm 2050 (tỷ trọng hiện nay là 26%) [38].

Năng lượng tái tạo (Renewable energy) là năng lượng được tạo ra từ các quá trình tự nhiên và liên tục được bổ sung. Nguồn tự nhiên này bao gồm ánh sáng mặt trời, địa nhiệt, gió, thủy triều, nước và các dạng sinh khối khác nhau. Nguồn năng lượng này không bị cạn kiệt và không ngừng được tái sinh [4]. Các dạng nguồn năng lượng tái tạo bao gồm: Năng lượng bức xạ, gió, thủy triều, thủy điện, sóng biển, địa nhiệt và sinh khối.

Theo BP (2022), đầu tư phát triển NLTT đã tăng mạnh trên toàn cầu đã tăng khoảng 14,1% trong năm 2016, tăng lên 29% vào năm 2020¹. Tại Hoa Kỳ, năng lượng tái tạo đã tăng khoảng 9% vào năm 2016, chiếm 14% tỷ trọng sản xuất điện năng. Trong đó, tỷ lệ điện năng từ năng lượng gió và bức xạ chiếm tỷ lệ lần lượt là 5,2% và 0,8% [14]. Để đẩy nhanh việc thực hiện “Kế hoạch năng lượng sạch cho châu Âu” và hướng tới phát triển nền kinh tế các-bon thấp, châu Âu đã đầu tư 873 triệu euro cho các dự án năng lượng tái tạo. Tại châu Á, nhiều quốc gia cũng đang trong quá trình chuyển đổi sang sử dụng năng lượng sạch. Trung Quốc là quốc gia đầu tư nhiều nhất cho các dự án năng lượng tái tạo, kỳ vọng năng lượng tái tạo sẽ chiếm tỷ trọng lớn hơn năng lượng từ than đá trong khoảng 10 năm tới; chiếm tỷ trọng 50% tổng công suất phát điện vào năm 2030.

Năng lượng gió và bức xạ là hai nguồn năng lượng tái tạo đã được loài người biết và khai thác từ lâu, song mới thực sự được đầu tư nghiên cứu và phát triển trong vài thập kỷ gần đây. Tuy là những nguồn năng lượng vô tận và phân bố ở mọi nơi trên trái đất, song tiềm năng khai thác là khác nhau do sự phân bố không đồng đều theo cả thời gian và không gian. Do vậy, để khai thác hiệu quả các nguồn tài nguyên năng lượng tái tạo này, các quốc gia cần phải thực hiện các đánh giá chính xác và chi tiết về tiềm năng, đặc biệt là về tiềm năng kỹ thuật và quy luật phân bố. Từ những năm cuối của thế kỷ XX, các quốc gia phát triển trên thế giới đã xác định việc xây dựng atlas tiềm năng năng lượng gió và bức xạ là công cụ quan trọng phục vụ công tác quy hoạch và đầu tư phát triển năng lượng tái tạo.

¹ <https://www.c2es.org/content/renewable-energy/>

1.1.2. Nghiên cứu khai thác nguồn năng lượng bức xạ

Năng lượng bức xạ đã được con người sử dụng vào đầu thế kỷ thứ VII trước Công nguyên², thông qua việc con người đã biết lợi dụng ánh sáng mặt trời để tạo các đám cháy. Đến thế kỷ thứ III trước Công nguyên, người Hy Lạp và La Mã đã biết khai thác năng lượng mặt trời với gương để tập trung cho các nghi lễ tôn giáo. Vào cuối những năm 1700s, các nhà khoa học đã thành công trong việc sử dụng ánh sáng mặt trời để cung cấp năng lượng cho lò nung. Đến năm 1860, công nghệ năng lượng mặt trời đầu tiên được phát minh. Đến năm 1878, Augustin Mouchot đã giới thiệu một động cơ năng lượng mặt trời đầu tiên trên thế giới đã được giới thiệu tại Paris. Năm 1884, Charles Fritts đã phát triển hệ thống năng lượng bức xạ đầu tiên trên thế giới được lắp đặt trên mái nhà phục vụ mục đích sưởi ấm và làm nóng nước [2]. Năm 1897, Frank Shuman giới thiệu một động cơ năng lượng bức xạ và thành lập công ty năng lượng mặt trời (Sun Power) đầu tiên trên thế giới vào năm 1908. Trong năm 1912-1913, Frank Shuman và công ty Sun Power đã xây dựng nhà máy điện bức xạ đầu tiên trên thế giới tại Maadi (Ai Cập). Năm 1916, Frank Shuman đã đưa ra nhận định trên tờ New York Times (vào ngày 2 tháng 7 năm 1916) “Năng lượng bức xạ mang lại lợi nhuận thương mại và có sức mạnh vô hạn sau khi nhiên liệu hóa thạch cạn dần” [5]. Đến năm 1980, tấm pin năng lượng bức xạ mặt trời đầu tiên trên thế giới được sản xuất [4].

Trong các nguồn năng lượng tái tạo, năng lượng bức xạ được đánh giá là có triển vọng nhất [58, 88]. Trung bình toàn cầu, năng lượng bức xạ đến khí quyển đạt giá trị 1360 W/m^2 , khi xuống đến mặt đất đạt giá trị khoảng 1.000 W/m^2 [11]. Về mặt công nghệ thu năng lượng bức xạ, có hai công nghệ chính: (i) công nghệ chủ động; (ii) công nghệ thụ động [88]. Hệ thống thu năng lượng mặt trời đòi hỏi phải có thiết bị chuyển đổi bức xạ thành nhiệt và điện năng. Công nghệ thu năng lượng bức xạ chủ động có thể được phân chia thành hai nhóm công nghệ: (i) công nghệ quang điện (PV) và công nghệ điện năng lượng mặt trời tập trung (CSP) [88].

Sự phát triển điện năng lượng bức xạ là rất mạnh mẽ trong những năm gần đây. Tính đến hết năm 2019, tổng lượng điện năng lượng bức xạ tích lũy

² <https://news.energysage.com/the-history-and-invention-of-solar-panel-technology/#:~:text=In%20theory%2C%20solar%20energy%20was,light%20torches%20for%20religious%20ceremonies.>

trên toàn thế giới đạt 629 GW³. Đến đầu năm 2020, Trung Quốc là quốc gia dẫn đầu thế giới về phát triển điện năng lượng bức xạ, với công suất đạt 208 GW, chiếm 1/3 tổng công suất lắp đặt toàn cầu⁴. Đến năm 2020, đã có 37 quốc gia trên thế giới đạt công suất tích lũy bằng công nghệ PV ở mức trên 1 GW⁵. Trong giai đoạn từ năm 2016 đến 2020, các quốc gia có tốc độ phát triển điện năng lượng bức xạ lớn nhất thế giới là Trung Quốc, Hoa Kỳ và Ấn Độ. Một số quốc gia có tỷ lệ đóng góp của điện năng lượng bức xạ lớn đáng chú ý như: 12,5% tại Honduras; 11% tại Ô-xtrây-li-a; 7-8% tại Italia, Đức và Hy Lạp. Trong đó, Đức là quốc gia có tiềm năng năng lượng bức xạ ở mức thấp (ở mức 1000 kWh), nhưng đã sản xuất một lượng điện năng lớn từ năng lượng bức xạ. Mặc dù Trung Quốc là quốc gia sản xuất điện từ năng lượng bức xạ lớn nhất thế giới, nhưng tỷ lệ đóng góp của năng lượng bức xạ chỉ chiếm 4,8-6,0% vào tổng công suất sản xuất điện năng trong năm 2021.

Theo BP (2022), việc sử dụng năng lượng bức xạ ngày càng phát triển trên toàn thế giới. Tính đến năm 2019, 2,4% điện năng trên toàn thế giới là đóng góp từ năng lượng bức xạ, tăng lên 3% vào năm 2020 [34, 77] và đạt 5% vào năm 2021 [14]. Trong năm 2021, các quốc gia trên thế giới đã lắp đặt khoảng từ 133 đến 175 GW điện bức xạ và dự kiến lắp đặt thêm 200 GW trong năm 2022 [14]. Số liệu thống kê của BP (2022) cho thấy, 10 quốc gia phát triển năng lượng bức xạ lớn nhất thế giới hiện nay gồm có: Trung Quốc (306.973 MW), Hoa Kỳ (95.209 MW), Nhật Bản (74.191 MW), Đức (58.461 MW), Ấn Độ (49.684 MW), Italia (22.698 MW), Ô-xtrây-li-a (19.076 MW), Hàn Quốc (18.161 MW), Việt Nam (16.660 MW) và Tây Ban Nha (15.952 MW) [14]. Các quốc gia này sản xuất lượng điện từ năng lượng bức xạ chiếm 74% tổng điện năng từ năng lượng bức xạ của toàn thế giới. Theo Cơ quan Năng lượng Tái tạo Quốc tế (IRENA), tỷ lệ đóng góp của năng lượng bức xạ vào tổng điện năng toàn cầu sẽ đạt khoảng 13% vào năm 2030 và 25% vào năm 2050 [77]. Vấn đề quan trọng trong khai thác năng lượng bức xạ là (i) hiệu quả kinh tế và (ii) công nghệ chuyển đổi từ năng lượng bức xạ sang điện năng. Hiện nay, công nghệ được sử dụng là CSP và PV, với hiệu suất đạt được dao động trong khoảng 12-30% [10, 62, 99].

³ <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/solar>

⁴ <https://www.statista.com/statistics/279504/cumulative-installed-capacity-of-solar-power-in-china/>

⁵ <https://www.greentechmedia.com/articles/read/iea-global-installed-pv-capacity-leaps-to-303-gw>

1.1.3. Nghiên cứu khai thác nguồn năng lượng gió

Năng lượng gió là động năng của không khí di chuyển trong bầu khí quyển Trái Đất. Từ năm 1792-1750 trước Công nguyên, vua Hammurabi đã đề cập đến những chiếc cối xay gió để tạo ra năng lượng cơ học [95]. Vào tháng 7/1887, những chiếc cối xay gió đầu tiên trên thế giới đã được xây dựng bởi James Blyth ở Scotland phục vụ mục đích phát điện [76]. Năm 1887-1888, Charles F. Brush đã thiết kế các cối xay gió lớn hơn phục vụ mục đích phát điện ở Cleveland, Ohio, Hoa Kỳ [76]. Trong giai đoạn cuối của cuộc Chiến tranh thế giới lần thứ nhất, các tua-bin gió có công suất 25kW được phát triển mạnh ở Đan Mạch. Trong giai đoạn 1935-1970, một số quốc gia như Đan Mạch, Pháp, Đức, Vương Quốc Anh và Hoa Kỳ đã có nhiều tiến bộ trong việc phát triển tua-bin gió [65].

Một trong những dấu mốc quan trọng nhất của lịch sử phát triển điện gió là sau cuộc khủng hoảng dầu mỏ vào năm 1973. Từ năm 1973 đến 1986, thị trường điện gió trên thế giới có những bước phát triển mạnh ở châu Âu và Hoa Kỳ, với nhiều trang trại điện gió quy mô lớn được xây dựng. Mặc dù các trang trại điện gió được phát triển đều đặn, nhưng điện gió vẫn chiếm một thị phần nhỏ trong thị trường điện năng. Trong giai đoạn 1990-2000, thị trường điện gió vẫn chủ yếu phát triển ở châu Âu và Hoa Kỳ [57].

Từ những năm đầu của thế kỷ XXI, Liên minh châu Âu (EU), đặc biệt là Vương Quốc Anh đã triển khai nhiều chính sách hỗ trợ phát triển năng lượng tái tạo như thuế, công nghệ và thủ tục hành chính, năng lượng gió ở châu Âu đã có những bước phát triển mạnh mẽ. Với sự hỗ trợ của phát triển khoa học công nghệ, điện gió đặc biệt phát triển mạnh trong những năm gần đây ở các quốc gia phát triển như Hoa Kỳ, Vương Quốc Anh, Đức, Pháp, Hà Lan, Đan Mạch, Hàn Quốc, Trung Quốc, ... Theo IRNA (2021), các trang trại điện gió lớn hiện nay tập trung chủ yếu ở Tây và Bắc Âu, Trung Quốc và Hoa Kỳ. Tại khu vực Biển Đông, khu vực phía Bắc xung quanh eo biển Đài Loan là khu vực có nhiều dự án điện gió được triển khai nhiều nhất. Khu vực phía Nam Biển Đông, các dự án điện gió của Việt Nam cũng được phát triển mạnh. Hiện nay, các quốc gia đã cùng chung tay chống BĐKH theo Thỏa thuận Paris (2015) tại COP-21 và Thỏa thuận Glasgow (2021) tại COP-26, năng lượng tái tạo nói chung và năng lượng

gió nói riêng được xem là một trong những giải pháp quan trọng nhất nhằm chống BĐKH và bảo vệ khí hậu Trái đất.

Do những bất ổn chính trị và biến động giá nhiên liệu hóa thạch, năng lượng gió được xem là chìa khóa nhằm đa dạng hóa nguồn năng lượng phục vụ phát triển, chuyển đổi sang nền kinh tế xanh và các-bon thấp. Theo số liệu thống kê [53], đã có trên 130 quốc gia phát triển các trang trại điện gió. Tổng công suất điện gió của thế giới tăng nhanh trong thập kỷ gần đây, với tổng công suất lên tới 733 GW vào năm 2020, cao gần gấp hai lần so với năm 2011. Hơn 50% tổng lượng điện gió được phát triển trong một thập kỷ gần đây, chủ yếu là do sự phát triển mạnh các dự án ở Trung Quốc và Ấn Độ. Vào cuối năm 2015, Trung Quốc đã lắp đặt 145 GW điện gió. Đến năm 2015, Trung Quốc đã lắp đặt gần một nửa công suất điện gió tăng thêm của thế giới.

Theo số liệu thống kê [53], tỷ lệ sử dụng điện gió trung bình trên thế giới vào năm 2018 chiếm khoảng 4,8% (khoảng 3,1% vào năm 2014); tỷ lệ sử dụng điện gió của các quốc gia châu Âu chiếm khoảng 18,8%. Cũng trong năm 2018, tỷ lệ sử dụng điện gió đã tăng lên 10% ở Trung Đông, Mỹ Latinh, Đông Nam Á và Châu Phi (8% vào năm 2014). Đến năm 2020, tỷ lệ sử dụng điện gió đạt 56% ở Đan Mạch, 40% ở Uruguay, 36% ở Lithuania, 35% ở Ireland, 23% ở Bồ Đào Nha, 24% ở Anh, 23% ở Đức, 20% ở Tây Ban Nha, 18 % ở Hy Lạp, 16% ở Thụy Điển, 15% ở EU, 8% ở Mỹ và 6% ở Trung Quốc. Hiện nay, Vương Quốc Anh là nước đứng đầu thế giới về phát triển điện gió ngoài khơi, chiếm 40% toàn cầu; Đức đứng thứ hai, chiếm 27%; Đan Mạch chiếm 10,5%; Trung Quốc chiếm 8,4%, Bỉ chiếm 6,0%⁶.

Hiện nay, Vương Quốc Anh là nước đứng đầu thế giới về phát triển điện gió ngoài khơi, chiếm 40% toàn cầu; Đức đứng thứ hai, chiếm 27%; Đan Mạch chiếm 10,5%; Trung Quốc chiếm 8,4%, Bỉ chiếm 6,0%. Theo dự tính đến năm 2030, điện gió ngoài khơi sẽ liên tục phát triển mạnh và có thể đạt 100 GW [5]. Theo Hiệp hội Năng lượng gió Châu Âu (EWEA) [32], thêm 3 GW công suất điện gió ngoài khơi đã được trực tiếp biến đổi thành điện năng trong năm 2015, nâng tổng công suất gió ngoài khơi của Châu Âu được sử dụng trực tiếp là điện năng là hơn 11 GW. Đến năm 2020, Châu Âu đã lắp đặt xong 20 GW công suất

⁶ <https://tainguyenvamoitruong.vn/phat-trien-nang-luong-gio-tren-the-gioi-va-viet-nam-cid14599.html#:~:text=N%C4%83m%2020%2C%20t%E1%BB%B7%20l%E1%BB%87%20s%E1%BB%AD,v%C3%A0%206%25%20E1%BB%9F%20Trung%20Qu%E1%BB%91c.>

điện gió ngoài khơi. Tại Châu Mỹ và Châu Á, điện gió ngoài khơi cũng đang phát triển rất mạnh và được dự báo đạt đỉnh vào năm 2030 với công suất lên tới 60 GW.

Nhằm đa dạng hóa nguồn năng lượng phục vụ sự phát triển và chống BĐKH toàn cầu, việc nghiên cứu khai thác nguồn tài nguyên năng lượng gió là tất yếu ở các quốc gia trên thế giới. Từ những giữa thế kỷ XX, một số quốc gia phát triển như Hoa Kỳ, Trung Quốc và các quốc gia thuộc châu Âu đã tiến hành xây dựng atlas năng lượng gió. Bên cạnh đó, để phục vụ phát triển các dự án điện gió, nhiều quốc gia châu Âu đã triển khai xây dựng bộ atlas năng lượng gió độ phân giải cao [32]. Từ cuối thế kỷ XX, dự án RISO đã phối hợp với nhiều nước trên thế giới để xây dựng atlas năng lượng gió cho 50 khu vực và vùng lãnh thổ trên thế giới [28]. Trung tâm Quốc gia về Năng lượng Tái tạo Hoa Kỳ (NREL) đã xây dựng atlas năng lượng gió và bức xạ mặt trời độ phân giải cao cho đất liền và ven biển Hoa Kỳ. Đây là bộ atlas được đánh giá cao về tính toàn diện và phổ cập. Năm 2010 và năm 2020, Hoa Kỳ đã cập nhật báo cáo về “Đánh giá tài nguyên năng lượng Hoa Kỳ” nhằm phục vụ việc quy hoạch và đầu tư phát triển năng lượng tái tạo [53].

Ở khu vực Châu Á, atlas năng lượng gió đã được nhiều nước xây dựng (Trung Quốc, Hàn Quốc, Nhật Bản) và do các tổ chức quốc tế (WB, UNCEP, UNDP) xây dựng. Từ cuối thế kỷ XX, NREL và UNEP đã phối hợp với Tổng cục Khí tượng Trung quốc xây dựng atlas năng lượng gió. Tại Ấn Độ, Phòng Thí nghiệm Quốc gia về Năng lượng bền vững của Đan Mạch (RISO) đã phối hợp với Trung tâm Kỹ thuật Năng lượng gió Ấn Độ triển khai các dự án đánh giá tài nguyên năng lượng gió và xây dựng atlas. Tại Philippin, atlas năng lượng gió được xây dựng vào năm 2001 bởi NREL kết hợp với Cục Khí quyển, Địa vật lý và Thiên văn Philippin (PAGASA) và Tập đoàn Năng lượng Quốc gia (NEC) [94]. 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) đã xây dựng tập atlas năng lượng gió cho khu vực Đông Nam Á, trong đó có Việt Nam [96].

Trong khoảng một thập kỷ gần đây, bên cạnh việc sử dụng số liệu tái phân tích, quan trắc, viễn thám, radar, ... nhiều nghiên cứu ứng dụng mô hình khu vực (LAM) đã được triển khai thực hiện. Ưu điểm của các mô hình này là mô phỏng trường gió trên cơ sở các quy luật vật lý cơ bản có kết hợp với số liệu

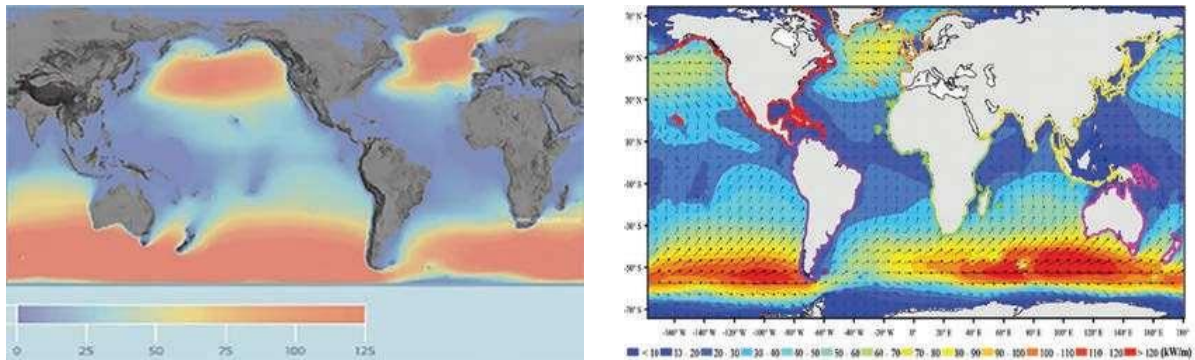
quan trắc. Trong đó, phổ biến nhất hiện nay là các mô hình tính toán năng lượng gió như KAMM (Đan Mạch) [27], MASS (Hoa Kỳ), MC2 (Canada) [30] ... Hoặc sử dụng các phần mềm chạy trên nền tảng Window như WAsP (Wind Atlas Analysis and Application Program) và WindPRO. Tuy nhiên, các mô hình khu vực chuyên dụng đều là các mô hình thương mại và chưa có nhiều các nghiên cứu kiểm chứng và đánh giá. Các phần mềm tính toán chuyên dụng như WAsP và WindPRO phù hợp cho việc khảo sát cho khu vực nhỏ phục vụ việc xây dựng và triển khai các trang trại điện gió. Tính năng chính của của WasP [28] và WindPRO [29] là khá tương đồng nhau, đều phục vụ tính toán tài nguyên gió từ số liệu quan trắc và mô hình khu vực hoặc tái phân tích, kèm theo đó là các công cụ: (1) nội suy theo các phương (thẳng đứng và ngang) để chi tiết theo không gian; (2) tính toán tần suất gió thịnh hành; (3) tính toán phân bố của tua-bin hợp lý. Bên cạnh đó, ưu điểm lớn của các mô hình và phần mềm này là tính toán nhanh và không đòi hỏi máy tính cấu hình cao, do chỉ tập trung vào các thuật toán chuyển đổi từ gió đầu vào sang kết quả ước lượng về năng lượng gió. Tuy nhiên, hạn chế của các mô hình và phần mềm này là phụ thuộc vào số liệu đầu vào như chất lượng và các mực (quan trắc, mô hình khí tượng, viễn thám,...).

Để có những khảo sát chi tiết cho khu vực cụ thể và giảm thiểu những hạn chế của các phần mềm thương mại, cộng đồng nhà khoa học khí tượng ở các nước trên thế giới bắt đầu phát triển các nghiên cứu ứng dụng mô hình thời tiết độ phân giải cao như MM5 và WRF. Hướng nghiên cứu này đặc biệt phát triển mạnh ở Nhật Bản, Hàn Quốc, Trung Quốc, các nước Bắc Âu và Hoa Kỳ. Trong thời kỳ thập kỷ đầu của thế kỷ XXI, các kết quả nghiên cứu đã cho thấy, mô phỏng bằng mô hình thời tiết độ phân giải cao hoàn toàn có thể thay thế được các mô hình thương mại [20, 21, 24]. Trong đánh giá tài nguyên năng lượng gió, nhiều quốc gia quy định bộ số liệu tối thiểu phải có độ dài trung bình là 10 năm liên tục và được thực hiện định kỳ giống như Báo cáo đánh giá khí hậu quốc gia. Các tập atlas năng lượng gió tại các quốc gia phát triển đã được sử dụng và đưa vào quy chuẩn (national code). Ngoài ra, các quốc gia cũng lấy ngưỡng tốc độ gió trung bình là 6m/s là ngưỡng đầu tư các dự án về điện gió [20, 21, 24].

1.1.4. Nghiên cứu khai thác nguồn năng lượng sóng

Nhiều nước trên thế giới đã đưa vào ứng dụng trong thực tế nhiều trạm

phát điện bằng năng lượng sóng biển có công suất từ vài chục, vài trăm KW đến vài MW cung cấp cho các khu dân cư, đặc biệt cho các hải đảo xa bờ. Năng lượng sóng biển có tiềm năng rất phong phú và có thể khai thác khắp mọi nơi để làm nguồn phát điện. Theo kết quả điều tra, tiềm năng năng lượng sóng có thể khai thác được trên thế giới là 29.500 TWh/năm. Tiềm năng năng lượng sóng trên thế giới là rất khác nhau, dưới đây là hình ảnh thể hiện nguồn tài nguyên năng lượng sóng biển và mật độ năng lượng sóng biển trên thế giới [34].



Hình 1.1. Tài nguyên và mật độ năng lượng sóng biển trên thế giới [34]

Cho đến nay đã có trên 30 nước đầu tư hơn 20 năm nghiên cứu công nghệ khai thác nguồn năng lượng này. Năng lượng sóng biển rất thích hợp cho việc cung cấp điện cho các hải đảo. Các trạm điện bằng sóng biển có công suất phổ biến từ 50 kW, 100 kW, 300 kW đến 500 kW đã được xây dựng ở một số nước như Ấn Độ, Scotlen, Na Uy, Bồ Đào Nha, Anh.

Châu Âu là khu vực đứng đầu trong việc áp dụng năng lượng sóng, hiện đã có 4 dự án khai thác thương mại năng lượng sóng. Giá thành điện năng từ sóng hiện nay đã giảm 80% trong vòng 20 năm vừa qua nhờ có các tiến bộ về thiết bị và tối ưu hóa trong kết cấu. So với năng lượng gió và điện mặt trời, đầu tư ban đầu cho năng lượng sóng cao hơn, ước tính trung bình năm 2020 chi phí đầu tư cho một MW điện gió mất 10,8 triệu USD (0,93 với điện mặt trời và 1,5 với điện gió) và tới năm 2030 và 2050 chi phí này sẽ rẻ hơn, tương ứng 8,6 và 5,5 triệu USD nhờ công nghệ phát triển và chính sách hỗ trợ của các quốc gia [115].

Một số tác giả đã công bố những đánh giá tài nguyên năng lượng sóng chi tiết về các khu vực hoặc quốc gia cụ thể. Tập trung vào các tài nguyên năng lượng sóng, chỉ ra Châu Âu là một trong những khu vực giàu năng lượng nhất của thế giới, chỉ vượt qua vài khu vực của Nam Mỹ và Antipodes. Cụ thể hơn,

năng lượng sóng tổng cộng của khu vực bờ châu Âu biến đổi từ 120 GW ở Vương quốc Anh, đến 1 GW ở Thụy Điển, đi qua 28 GW ở vịnh Gascoigne (Pháp), 21 GW ở Ireland, 10 GW ở Bồ Đào Nha và 3,4 GW ở Đan Mạch. Tương tự như vậy, một vài khu vực ven bờ của Tây Ban Nha có tiềm năng to lớn với năng lượng sóng thường đạt 250 MWh/m ở Asturias và 400 MWh/m ở Galicia dọc theo bờ biển Chết.

Đối với khu vực đông bắc Đại Tây Dương (bao gồm cả Biển Bắc) và phía Địa Trung Hải (Tây Ban Nha, Pháp, Ý và Hy Lạp), các nguồn năng lượng điện năng sẵn có lần lượt đo được là 290 GW và 30 GW. Một trong những khu vực có nguồn năng lượng tốt nhất là khu vực phía tây bắc của đảo Sardinia (Ý), là một trong những khu vực có nhiều xáo trộn nhất của biển Địa Trung Hải, với dải công suất hàng năm từ 8,91–10,29 MWh/m.

Khai thác năng lượng sóng biển để cung cấp điện ngày càng được nhiều nước đặc biệt quan tâm. Các chương trình nghiên cứu quốc gia đã thành lập từ những năm 80 của thế kỷ trước, hiệu quả của các nguồn điện từ sóng biển ngày càng cao, công suất các tổ máy ngày càng lớn (750 kW tổ máy), các sản phẩm đã bắt đầu thương mại hóa.

Đối với Biển Đông, đã có một số nhà khoa học nghiên cứu và đánh giá tiềm năng năng lượng sóng như công trình của Ali Mirzaei và cộng sự [114] đã dựa trên đánh giá và phân tích dựa trên mô phỏng 31 năm các đặc điểm của sóng bằng mô hình phổ WAVEWATCH – IIITM thế hệ thứ ba và nhận định rằng Năng lượng sóng hàng năm cao nhất có thể được tìm thấy ở khu vực phía bắc của khu vực Biển Đông có thể vượt quá 20 kW/m. Tuy nhiên, năng lượng sóng bị ảnh hưởng mạnh bởi cá mùa gió và biến động giữa các năm. Các số liệu thống kê khác nhau về năng lượng sóng bao gồm công suất điện ước tính cho một số thiết bị chuyển đổi năng lượng sóng (WEC) cho thấy một số trạm như: Hameau Mo ở bờ biển phía đông Việt Nam, đảo Trường Sa, Palawan và Cape Bolinao ở bờ biển phía tây Luzon có đủ điều kiện để cung cấp sóng năng lượng sóng lớn. Công suất điện ước tính có thể được sản xuất từ các địa điểm này (bằng cách sử dụng Wave Dragon, một thiết bị WEC chuyển đổi năng lượng sóng thành điện năng) dao động từ 712 đến 1211 kW và 935–1680 kW cho giai đoạn hàng năm và sáu tháng từ tháng 9 đến tháng 2, tương ứng.

1.2. Tình hình nghiên cứu khai thác tài nguyên bức xạ, gió và sóng ở Việt Nam

1.2.1. Nghiên cứu khai thác tài nguyên năng lượng bức xạ

Việt Nam có chế độ bức xạ nội chí tuyến, với đặc trưng cơ bản là độ cao mặt trời khá lớn, thời gian chiếu sáng khá đồng đều, tổng lượng bức xạ phong phú và cân cân bức xạ luôn dương. Trên mỗi điểm, hàng năm đều có hai lần mặt trời qua thiên đỉnh vào ngày trước và sau ngày hạ chí từ 5 đến 68 ngày, khoảng cách giữa hai ngày mặt trời qua thiên đỉnh lên tới 136 ngày ở cực Nam ($8^{\circ}30'B$) và còn 10 ngày ở cực Bắc ($22^{\circ}23'B$) [9, 10, 29, 27]. Bức xạ là một trong ba nhân tố chính quy định sự hình thành khí hậu Việt Nam [9, 10]. Do vậy, đánh giá điều kiện bức xạ luôn được ưu tiên trong các nghiên cứu đánh giá khí hậu. Theo Nguyễn Đức Ngữ và Nguyễn Trọng Hiệu (2004), tổng số giờ nắng hàng năm ở Việt Nam dao động trong khoảng 4.300-4.500 giờ, khá đồng đều giữa các vĩ độ. Tuy nhiên, số giờ nắng không phân bố đều giữa các tháng trong năm. Do độ cao mặt trời lớn kết hợp với số giờ nắng lớn và đồng đều theo vĩ độ, tổng lượng bức xạ lý tưởng hàng năm ở Việt Nam lên tới khoảng 230-250 kcal/cm²/tháng. Do ảnh hưởng bởi mây, tổng lượng bức xạ thực tế dao động trong khoảng 85-190 kcal/cm²/năm, tương đối thấp ở phía Bắc và cao hơn ở phía Nam [10].

Năm 1989, bộ số liệu về tiềm năng năng lượng bức xạ tương đối đầy đủ đầu tiên của Việt Nam được xây dựng bởi Chương trình KHCN Nhà nước 42A (Bảng 1.1). Trên cơ sở bộ số liệu được tính toán, các bản đồ tiềm năng năng lượng bức xạ đã được xây dựng và xuất bản trong tập “Atlas khí hậu Việt Nam”. Nguyễn Duy Chinh và nnk (2002) đã tiến hành rà soát và cập nhật số liệu thuộc Chương trình 42A đến năm 2000 và xây dựng bản đồ bức xạ [27]. Đến năm 2015, đề tài KHCN cấp Nhà nước “Nghiên cứu xây dựng Atlas khí hậu và biến đổi khí hậu Việt Nam” thuộc Chương trình KHCN-BĐKH/11-15 đã cập nhật số liệu đến năm 2010 tại 150 trạm quan trắc (Bảng 1.2) và xây dựng bộ bản đồ (mùa và năm) đối với tiềm năng năng lượng bức xạ Việt Nam [9]. Năm 2019, để hoàn chỉnh bộ bản đồ về tiềm năng năng lượng bức xạ trên quy mô cả nước, Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu đã cập nhật số liệu quan trắc tại 150 trạm đến năm 2014 và xây dựng bộ bản đồ tháng, mùa và năm [24]. Như vậy có thể nhận thấy, các nghiên cứu đánh giá điều kiện bức xạ và tiềm năng năng lượng bức xạ đã được thực hiện ở Việt Nam có sự kế thừa và cập nhật qua các thời kỳ. So sánh kết quả tính toán trong Bảng 1.1 và Bảng 1.2

cho thấy, sau khi cập nhật số liệu, tiềm năng năng lượng bức xạ có xu thế tăng nhẹ ở hầu hết các điểm trạm. Tuy nhiên, quy luật phân bố theo không gian và thời gian của năng lượng bức xạ là tương đồng nhau. Một số đặc trưng cơ bản của năng lượng bức xạ trên lãnh thổ Việt Nam như sau [9]: Tổng năng lượng bức xạ trung bình cả nước có giá trị khoảng 132 kcal/cm^2 . Trong đó, năng lượng bức xạ thấp hơn ở các tỉnh phía Bắc, đặc biệt là Đông Bắc và Đồng Bằng Bắc Bộ; cao hơn ở các tỉnh phía Nam. Trung bình khu vực phía Bắc (từ Thừa Thiên Huế trở ra), tổng năng lượng bức xạ có giá trị khoảng 114 kcal/cm^2 ; khu vực phía Nam (từ Đà Nẵng trở vào) có giá trị khoảng 170 kcal/cm^2 ; dải ven biển Nam Trung Bộ có năng lượng bức xạ năm lớn nhất cả nước, với giá trị trung bình toàn vùng vào khoảng 187 kcal/cm^2 .

Tổ chức năng lượng tái tạo Đông Nam Á (AEDS) đã đưa ra đánh giá, Việt Nam nằm trong khu vực có cường độ bức xạ mặt trời trung bình từ $3.6\text{--}5.3 \text{ kWh/m}^2/\text{ngày}$, tương đối bằng với các quốc gia khác trong khu Thái lan, Indonesia, Philippines. Nhằm khuyến cáo phát triển năng lượng bức xạ, AEDS cũng đã phân định các mức tiềm năng năng lượng bức xạ trên lãnh thổ Việt Nam thành 4 mức khác nhau (Bảng 1.3). Bên cạnh đó, thông số về số giờ nắng cũng là tiêu chí phục vụ đánh giá hiệu quả khai thác tiềm năng năng lượng bức xạ. AEDS đưa ra đánh giá dựa trên số giờ nắng thành 3 khu vực chính: (i) Khu vực 1: Các tỉnh vùng Tây Bắc (Sơn La, Lai châu): Số giờ nắng tương đối cao từ $1897\div 2102$ giờ/năm; (ii) Khu vực 2: Các tỉnh còn lại của miền Bắc và một số tỉnh từ Thanh Hóa đến Quảng Bình. Số giờ nắng trung bình năm từ $1400\div 1700$ giờ/năm; (iii) Khu vực 3: Các tỉnh từ Huế trở vào: Số giờ nắng cao nhất cả nước từ $1900\div 2900$ giờ/năm [7].

Bảng 1.1. Kết quả tính toán tiềm năng năng lượng bức xạ theo số liệu quan trắc thuộc Chương trình 42A cho một số điểm trạm [15]

Trạm	Tổng năng lượng bức xạ mùa ($\text{kWh/m}^2/\text{mùa}$)				Tổng năng lượng bức xạ năm $\text{Kwh/m}^2/\text{năm}$
	Đông (XII-II)	Xuân (III-V)	Hè (VI-VIII)	Thu (IX-XI)	
Lai Châu	287,5	427,2	401,6	359,7	1476,0
Sơn La	288,7	426,0	437,7	391,1	1543,5
Sa Pa	193,2	356,2	292,2	159,5	1001,0
Phú Hộ	202,5	332,9	485,4	363,2	1384,0
Cao Bằng	222,3	379,5	526,1	381,8	1509,7

Trạm	Tổng năng lượng bức xạ mùa (kWh/m ² /mùa)				Tổng năng lượng bức xạ năm Kwh/m ² /năm
	Đông (XII-II)	Xuân (III-V)	Hè (VI-VIII)	Thu (IX-XI)	
Móng Cái	220,0	292,2	373,6	353,9	1239,7
Phù Liên	207,2	285,2	465,6	366,7	1324,6
Hà Nội	217,7	337,6	501,7	372,5	1429,4
Thanh Hóa	207,2	338,7	507,5	325,9	1379,3
Vinh	158,3	320,1	483,1	274,7	1236,2
Đà Nẵng	303,8	531,9	555,2	374,8	1765,8
PLEIKU	541,3	592,5	385,3	443,5	1962,5
Đà Lạt	537,8	528,5	420,2	370,2	1856,6
Cần Thơ	441,2	491,2	400,4	373,6	1706,4

Bảng 1.2. Kết quả tính toán tiềm năng năng lượng bức xạ theo số liệu quan trắc thuộc Chương trình KH-CN-BĐKH/11-15 cho một số điểm trạm [9]

Trạm	Tổng năng lượng bức xạ mùa (kWh/m ² /mùa)				Tổng năng lượng bức xạ năm Kwh/m ² /năm
	Đông (XII-II)	Xuân (III-V)	Hè (VI-VIII)	Thu (IX-XI)	
Lai Châu	294,1	451,3	401,0	352,0	1498,3
Sơn La	311,1	452,5	425,7	379,1	1568,3
Sa Pa	275,2	413,6	373,1	300,8	1362,7
Phú Hộ	201,1	305,8	410,6	326,6	1244,1
Cao Bằng	203,8	325,2	402,1	305,9	1237,0
Móng Cái	211,3	305,3	397,7	351,5	1265,8
Phù Liên	219,1	313,0	421,1	347,6	1300,9
Hà Nội	220,5	331,8	448,0	357,3	1357,5
Thanh Hóa	229,1	351,2	455,8	345,7	1381,7
Vinh	184,4	289,2	400,7	243,1	1117,4
Đà Nẵng	408,0	593,0	614,3	472,4	2087,7
PLEIKU	469,6	548,0	447,6	429,9	1895,1
Đà Lạt	459,4	523,1	447,0	410,5	1840,0
Cần Thơ	486,2	564,8	454,7	434,7	1940,4

Bảng 1.3. Phân định các mức khai thác năng lượng bức xạ [7]

STT	Khoảng giá trị năng lượng bức xạ năm (kWh/m ² /ngày)	Khả năng khai thác	Ghi chú
1	>4,8	Hiệu quả cao	
2	3,8÷4,8	Hiệu quả	
3	3,2÷3,7	Trung bình	
4	<3,2	Không hiệu quả	

Cùng với sự phát triển của khoa học và công nghệ, một số nghiên cứu ứng dụng công nghệ viễn thám trong đánh giá tài nguyên năng lượng bức xạ đã được thực hiện ở Việt Nam trong những năm gần đây [23,75, 74]. Với khả năng quan sát theo không gian và sự hoạt động của các đám mây, viễn thám trở thành công cụ để theo dõi và ước tính Bức xạ mặt trời tại bề mặt (SSI). Nhiều nghiên cứu công nhận những ưu điểm của viễn thám trong quan trắc bức xạ mặt trời khu vực và toàn cầu so với mô hình số, khi so sánh cho thấy độ chính xác ước tính bức xạ mặt trời trong các sản phẩm vệ tinh cao hơn so với các sản phẩm tái phân tích [40, 100, 110, 109]. Thu thập dữ liệu SSI toàn cầu và khu vực có thể được chia thành hai giai đoạn riêng biệt: trước vệ tinh và sau vệ tinh [49]. Nghiên cứu ước tính dựa trên vệ tinh về SSI ngày càng trở nên hoàn thiện từ sau năm 2000 nhờ các thế hệ vệ tinh mới [49, 92, 60, 111] và sự phát triển các thuật toán phức tạp trong đó quy trình truyền bức xạ được xem xét chi tiết [12, 13, 49, 50, 60, 92, 98, 111]. Sự ra đời của các thế hệ vệ tinh mới chuyên dùng cho tính toán bức xạ là các vệ tinh địa tĩnh (Geostationary Satellite) trên quỹ đạo trùng với trục quay của trái đất, như Meteosat và MGS (Meteosat Second Generation) - SEVIRI của Châu Âu, GOES của Mỹ, INSAT của Ấn Độ, FY-2 của Trung Quốc và MTSAT/ Himawari-8 của Nhật. Việt Nam nằm trong vùng bao phủ tốt nhất của các vệ tinh GMS/Himawari-8 của Nhật, Elektro của Nga và FY-2 của Trung Quốc. Tuy nhiên, từ năm 1997 đến nay, Việt Nam chủ yếu chỉ thu nhận dữ liệu từ vệ tinh của Nhật tại Trung tâm Dự báo KTTV Quốc Gia thuộc Bộ Tài nguyên và Môi trường.

Nghiên cứu thực hiện bởi chuyên gia Tây Ban Nha (TBN) phối hợp với Bộ Công thương năm 2015 [75, 74] sử dụng kết hợp số liệu quan trắc bề mặt, dữ liệu vệ tinh MTSAT và sản phẩm mô hình quy mô vừa SKIRON cho giai đoạn

2003-2012 đưa ra các bản đồ trung bình tháng và trung bình năm của tổng lượng bức xạ ngang và bức xạ trực tiếp vuông góc. Đây là bộ dữ liệu đầu tiên từ vệ tinh nhưng mới chỉ là các bản đồ 1 lớp thông tin tính trung bình cho giai đoạn nghiên cứu, chưa áp dụng với vệ tinh mới Himawari-8 và chưa đưa ra được xu thế trong tương lai.

Nguyễn Tiến Công, Phạm Thị Thanh Nga và nnk (2021) đã đánh giá chi tiết tài nguyên năng lượng bức xạ trên lãnh thổ Việt Nam thời kỳ 2015-2019 từ số liệu vệ tinh Himawari-8 và mô hình số trị [23]. Một số kết quả nghiên cứu đáng chú ý như sau:

(i) Phương pháp phù hợp trong ước lượng năng lượng bức xạ là mô hình Heliosat-2 với dữ liệu vệ tinh Himawari-8 kết hợp với tham số khí quyển từ mô hình số trị.

(ii) Số liệu vệ tinh với độ phân giải cao đã cho kết quả chi tiết hơn theo không gian so với các nghiên cứu sử dụng số liệu quan trắc, đặc biệt mạng lưới trạm quan trắc bức xạ ở Việt Nam còn nhiều hạn chế về số lượng.

(iii) Bằng phương pháp lọc K-means, lãnh thổ Việt Nam được phân định thành 6 vùng tiềm năng năng lượng bức xạ. Bên cạnh đó, kết quả thử nghiệm xây dựng bản đồ tiềm năng năng lượng bức xạ chi tiết cho tỉnh Đắk Nông tỷ lệ 1:50.000 và 1:25.000 cho các huyện quy hoạch phát triển năng lượng bức xạ mặt trời cho tỉnh Đắk Nông.

1.2.2. Nghiên cứu khai thác tài nguyên năng lượng gió

Nghiên cứu gió và tiềm năng năng lượng gió là một chủ đề quan trọng của Ngành KTTV. Do vậy, các nghiên cứu về tài nguyên năng lượng gió đã được triển khai từ khá sớm, với những nghiên cứu đầu tiên tập trung vào tính toán theo số liệu quan trắc tại mạng lưới trạm quan trắc bề mặt của Ngành KTTV [2, 6, 11, 16, 17, 22]. Năm 1989, Chương trình KH-CN cấp Nhà nước 42A đã xây dựng bộ số liệu gió và tiềm năng năng lượng gió mực 10m tại các trạm quan trắc [15]. Bên cạnh đó, một số nghiên cứu cũng đã triển khai thực hiện tính toán tài nguyên gió ở các mực 10m, 20m, 40m và 60m trên toàn lãnh thổ Việt Nam [12, 13, 16, 17, 19, 20, 21] và một số nghiên cứu cho một số khu vực nhỏ [2, 3, 22]. Ngay từ cuối những năm 80, đầu năm 90 của thế kỷ XX, các loại động cơ gió phát điện có công suất nhỏ từ 150 W đến 500 W được triển khai áp dụng.

Năm 2000, kết quả nghiên cứu của Chương trình KHCN cấp Nhà nước “Xây dựng chiến lược và chính sách phát triển năng lượng bền vững” đã đưa ra đánh giá tiềm năng năng lượng gió ở Việt Nam ở mức thấp, khu vực thuận lợi cho phát triển điện gió chủ yếu ở các cụm đảo, ven bờ và một số nơi có gió địa hình [21]. WB (2002) trong dự án “Atlas tài nguyên năng lượng gió khu vực Đông Nam Á” đã đưa ra đánh giá, Việt Nam có tiềm năng gió lớn nhất khu vực Đông Nam Á với tổng tiềm năng điện gió ước đạt 513.360 MW, lớn gấp 200 lần công suất của nhà máy thủy điện Sơn La [105]. Một số nhà khoa học thuộc Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu đã khảo sát tiềm năng năng lượng gió ở mực 10m, 20m, 40m và 60m tại 150 trạm quan trắc trên lãnh thổ Việt Nam (bao gồm cả đất liền và Biển Đông) cho thấy [19, 20, 21]:

(i) Tại mực 10 m: Tiềm năng năng lượng gió ở Việt Nam là nhỏ, chỉ có một số nơi là có thể khai thác tiềm năng năng lượng gió hiệu quả. Trên phần lớn lãnh thổ Việt Nam, tổng năng lượng gió cả năm không vượt quá 200 kWh/m². Tuy nhiên, lên đến mực 20 m, 40 m và 60 m, tiềm năng năng lượng gió là lớn hơn rất nhiều so với mực 10 m, với mức tăng so với mực 10m khoảng từ 1,6 đến 6,6 lần. Riêng đối với các trạm ở đảo, ven biển và vùng núi cao, tiềm năng năng lượng gió là lớn hơn đáng kể so với các trạm khác.

(ii) Tại mực 60 m: Trên lãnh thổ Việt Nam, có rất nhiều điểm có tiềm năng năng lượng gió dồi dào ở mực 60m, với tổng năng lượng gió lên tới 500 kWh/m². Hầu hết các trạm ở đảo đều có tổng năng lượng gió trong năm lớn hơn 1000 kWh/m². Trong đất liền, các dãy núi cao như Hoàng Liên Sơn, phía Đông của tỉnh Lạng Sơn, hầu hết khu vực Tây Nguyên và dải ven biển từ Bắc vào Nam đều có tiềm năng năng lượng gió khá phong phú. Nhiều nơi ở khu vực Tây Nguyên có tổng năng lượng gió khá lớn như An Khê (Gia Lai), Buôn Ma Thuột (Đắk Lắk), Đà Lạt (Lâm Đồng) và Đắk Nông, với tổng năng lượng gió trong năm trong khoảng 1.300-2.000 kWh/m². Trong đó, tiềm năng năng lượng gió lớn nhất quan trắc được là tại An Khê, lên tới trên 2.000 kWh/m².

(iii) Các khu vực duyên hải Bắc Bộ đều có tổng năng lượng gió cả năm đạt giá trị lớn hơn 1.000 kWh/m². Dải ven biển từ Thanh Hóa đến Khánh Hòa, nhiều nơi cũng có tổng năng lượng gió trong năm khá dồi dào. Khu vực ven biển Nam Trung Bộ-Bà Rịa Vũng Tàu có tiềm năng năng lượng gió rất lớn, như tại Phan Thiết (Bình Thuận) có tổng năng lượng gió trong năm đạt giá trị gần 1.700

kWh/m². Khu vực ven biển Nam Bộ cũng có tiềm năng năng lượng gió dồi dào; lớn nhất là ở ven biển Tây Nam Bộ, đặc biệt là tại Rạch Gia (Kiên Giang) với tổng năng lượng gió trong năm đạt giá trị gần 1.700 kWh/m².

Đề tài nghiên cứu khoa học công nghệ cấp Nhà nước “Nghiên cứu đánh giá tiềm năng các nguồn năng lượng biển chủ yếu và đề xuất các giải pháp khai thác” [12] đã thực hiện đánh giá tương đối hoàn chỉnh các nguồn tài nguyên năng lượng biển Việt Nam. Trong đó, các vùng biển được đánh giá có mật độ tài nguyên năng lượng gió đáng chú ý như vịnh Bắc Bộ, khu vực Giữa và Nam Biển Đông. Từ độ cao 80 m, vùng kéo dài dọc theo hướng đông bắc - tây nam từ eo biển Đài Loan tới vùng biển ngoài khơi Nam Bộ nước ta có tiềm năng năng lượng khá cao đạt 300-600 W/m². Trong đó khu vực ven biển cực Nam Trung Bộ là một trung tâm có mật độ năng lượng 400-600W/m². Ngoài ra trên khu vực vịnh Bắc Bộ cũng hình thành trung tâm có mật độ năng lượng đạt 300-400 W/m².

Năm 2019, Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu đã thực hiện xây dựng bản đồ năng lượng gió trên lãnh thổ Việt Nam [24]. Trong nghiên cứu này, bản đồ tiềm năng năng lượng gió được thực hiện dựa trên số liệu quan trắc tại 150 trạm và cập nhật đến năm 2014. Kết quả tính toán và xây dựng bản đồ của Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu [24] là khá tương đồng với các kết quả đã tính toán trước đó [19, 20, 21]. Cũng trong năm 2019, hệ thống mô hình WRF được chạy ở độ phân giải 10x10km để mô phỏng tiềm năng năng lượng gió ở Biển Đông thời kỳ 2006-2010 [24]. Kết quả nghiên cứu này khá tương đồng về mặt phân bố theo không gian với một số nghiên cứu trước đó [12, 19, 20, 21] cho khu vực Biển Đông. Tuy nhiên, tiềm năng năng lượng gió trong mô phỏng bằng mô hình WRF là cao hơn đáng kể so với các nghiên cứu trước đây.

Năm 2022, Tổng cục Khí tượng Thủy văn đã xây dựng báo cáo “Tiềm năng năng lượng gió, sóng ngoài khơi tại các vùng biển Việt Nam”. Kết quả đánh giá cho thấy [25]:

(i) Tiềm năng năng lượng gió ở mực độ cao 100 m: Các vùng biển có khả năng khai thác tiềm năng năng lượng gió tốt nhất là Bình Định đến Ninh Thuận, Bình Thuận đến Cà Mau và một phần vùng biển trung tâm vịnh Bắc Bộ. Đặc biệt, tiềm năng gió đạt ở mức tốt đến rất tốt ở khu vực biển Ninh Thuận đến Bà

Rịa-Vũng Tàu với tốc độ gió trung bình năm từ 8 đến 10 m/s, mật độ năng lượng trung bình năm phổ biến từ 600 đến trên 700 W/m².

(ii) Vùng biển Bắc vịnh Bắc Bộ: Hướng gió chủ đạo là hướng Đông đến Đông Đông Bắc. Trung bình năm, tốc độ gió từ 6-8 m/s, mật độ năng lượng gió khoảng 200-500 W/m². Vùng biển Nam vịnh Bắc Bộ: Hướng gió chủ đạo là hướng Đông. Trung bình năm, tốc độ gió từ 6-8 m/s, mật độ năng lượng gió khoảng 200-500 W/m².

(iii) Vùng biển Quảng Trị đến Quảng Ngãi: Hướng gió chủ đạo là hướng Đông. Trung bình năm, tốc độ gió từ 6-8 m/s, mật độ năng lượng gió phổ biến từ 200-400 W/m². Vùng biển Bình Định đến Ninh Thuận: Hướng gió chủ đạo là hướng Bắc đến Đông Bắc. Trung bình năm, tốc độ gió từ 7-9 m/s, mật độ năng lượng gió phổ biến từ 300-600 W/m².

(iv) Vùng biển Bình Thuận đến Cà Mau: Hướng gió chủ đạo là hướng Bắc Đông Bắc đến Đông Đông Bắc. Trung bình năm, tốc độ gió từ 7-10 m/s và mật độ năng lượng gió khoảng 300-700 W/m². Vùng biển Cà Mau đến Kiên Giang: Hướng gió chủ đạo là hướng Đông đến Đông Đông Nam. Trung bình năm, tốc độ gió từ 5-7 m/s, mật độ năng lượng từ 100-300 W/m².

(v) Ở các vùng biển phía Bắc, thời gian có thể khai thác tiềm năng năng lượng gió tốt nhất (tốc độ gió trung bình ≥ 8 m/s) là từ tháng 10 đến tháng 2 ở vùng biển Bắc vịnh Bắc Bộ; từ tháng 11 đến tháng 1 ở các vùng biển Nam vịnh Bắc Bộ, Quảng Trị đến Quảng Ngãi.

(vi) Ở các vùng biển phía Nam, tốc độ gió cũng như mật độ năng lượng gió có sự phân hoá theo mùa. Tốc độ gió/mật độ năng lượng gió trong các tháng mùa đông và mùa hè lớn hơn các tháng chuyển tiếp. Thời gian nên khai thác tiềm năng năng lượng gió tốt nhất ở các vùng biển Bình Định đến Ninh Thuận, Bình Thuận đến Cà Mau là từ tháng 11 đến tháng 2, với tốc độ gió trung bình trên 8 m/s và mật độ năng lượng gió phổ biến trên 500 W/m².

(vi) Ở các mực độ cao 150 và 200 m, phân bố không gian mật độ năng lượng gió trên các vùng biển ven bờ tương tự mực 100 m, trị số cao có xu hướng lệch về phía nam hơn. Mật độ năng lượng gió tại các mực 150 m, 200 m xấp xỉ mực 100 m ở các vùng biển Bắc vịnh Bắc Bộ, Nam vịnh Bắc Bộ, Quảng Trị đến Quảng Ngãi, Cà Mau đến Kiên Giang; và cao hơn không nhiều ở các vùng biển

Bình Định đến Ninh Thuận ($300-700 \text{ W/m}^2$), Bình Thuận đến Cà Mau ($300-800 \text{ W/m}^2$).

1.2.3. Nghiên cứu khai thác tài nguyên năng lượng sóng

Cũng trong Đề tài nghiên cứu KHCN cấp Nhà nước “Nghiên cứu đánh giá tiềm năng các nguồn năng lượng biển chủ yếu và đề xuất các giải pháp khai thác” Nguyễn Mạnh Hùng và nnk. (2010), đối với năng lượng sóng biển, nghiên cứu đã tiến hành thành lập tập bản đồ năng lượng sóng cho khu vực Biển Đông và ven bờ biển Việt Nam, bản đồ năng lượng thủy triều tại 49 vũng vịnh dọc bờ biển nước ta và sơ đồ năng lượng dòng chảy, dòng triều cho khu vực Biển Đông. Để tính toán năng lượng sóng thủy triều, dòng triều và dòng chảy, nghiên cứu đã sử dụng các mô hình số trị được kiểm chứng bằng các số liệu đo đạc bổ sung cùng các số liệu trường gió, mực nước thu thập được. Các số liệu đầu vào phục vụ tính toán là số liệu trường gió, số liệu độ sâu, địa hình và các số liệu hằng số điều hòa tại các trạm trong khu vực nghiên cứu. Kết quả tính toán các yếu tố dẫn suất (trường sóng, trường dòng chảy, mực nước) được thống kê chế độ và dựa vào đó tính toán xây dựng tập bản đồ năng lượng sóng, thủy triều và dòng chảy. Trong tính toán năng lượng sóng cũng đã so sánh kết quả tính năng lượng với một bộ số liệu trường sóng công bố trên môi trường mạng cho vùng Biển Đông để một lần nữa kiểm chứng mức độ tin tưởng của kết quả tính năng lượng sóng. Tập bản đồ năng lượng sóng và các bản đồ năng lượng triều tại các vũng vịnh cũng như sơ đồ năng lượng dòng chảy là nội dung chính của đề tài đã được hoàn thành.

Ngoài ra, đề tài đưa ra các loại thiết bị khai thác năng lượng sóng và thủy triều, dòng chảy. Có thể thấy rằng nếu như các thiết bị khai thác năng lượng dòng chảy và thủy triều – tương tự như các tuốc bin gió khá tập trung thì đối với năng lượng sóng các loại thiết bị khai thác năng lượng sóng rất đa dạng. Mỗi một loại thiết bị phù hợp với các đặc điểm riêng của trường sóng và địa hình khu vực. Phương pháp “bể triều” được coi là một công nghệ đột phá trong khai thác năng lượng thủy triều nhằm hạn chế các ảnh hưởng đến môi trường, sinh thái và kinh tế - xã hội của phương pháp khai thác năng lượng triều truyền thống “đập triều” gặp phải. Các kết quả tính toán tiềm năng lý thuyết của năng lượng gió, sóng, thủy triều và dòng chảy cùng với công nghệ khai thác các dạng năng lượng này sẽ cho phép chúng ta đánh giá tiềm năng và đề xuất các giải

pháp khai thác.

Công trình sách chuyên khảo do Nguyễn Mạnh Hùng, Dương Công Điền “Năng lượng sóng biển khu vực Biển Đông và vùng biển Việt Nam” do Nhà xuất bản Khoa học Tự nhiên và Công nghệ xuất bản năm 2009. Nội dung cuốn sách đề cập đến các vấn đề liên quan đến tổng quan tình hình nghiên cứu khai thác các dạng năng lượng tái tạo nói chung và đi sâu vào năng lượng sóng nói riêng. Tiếp đó trình bày các cơ sở lý thuyết về tiềm năng năng lượng sóng, các phương pháp khai thác năng lượng sóng - chuyển đổi năng lượng sóng thành điện năng; Năng lượng sóng khu vực Biển Đông và vùng ven bờ biển Việt Nam và cuối cùng đề cập đến chính sách phát triển, khai thác và sử dụng năng lượng tái tạo ở Việt Nam.

1.3. Một số nhận xét ban đầu

(1) Tài nguyên năng lượng gió

Việt Nam nằm trong khu vực nhiệt đới gió mùa, với chế độ gió tương đối ổn định và dồi dào theo hai mùa. Do vậy, tài nguyên năng lượng gió được đánh giá là tương đối dồi dào, đặc biệt là khu vực Biển Đông. Trên đất liền, tiềm năng năng lượng gió ở mực 60m là dồi dào, với tổng tiềm năng năng lượng gió đạt giá trị trên 500 kWh/m²/năm ở đa số các địa phương; trên 1000 kWh/m²/năm ở các trạm đảo. Ở đất liền, tiềm năng năng lượng gió lớn hơn 1000 kWh/m²/năm ở dải ven biển Bắc Bộ; khoảng 500-1000 kWh/m²/năm ở dải ven biển Bắc Trung Bộ; gần 1700 kWh/m²/năm ở dải ven biển Nam Trung Bộ - Bà Rịa Vũng Tàu; khoảng 1300-2000 kWh/m²/năm ở nhiều địa phương thuộc khu vực Tây Nguyên; gần 1700 kWh/m²/năm ở dải ven biển Nam Bộ, đặc biệt lớn hơn ở vùng bờ biển Tây Nam Bộ.

(2) Tài nguyên năng lượng bức xạ

Việt Nam nằm trong khu vực bức xạ nội chí tuyến với số giờ nắng tương đối lớn và độ cao mặt trời lớn, nên tiềm năng năng lượng bức xạ là tương đối dồi dào. Trong đó, tiềm năng năng lượng bức xạ thấp hơn ở khu vực phía Bắc và dồi dào hơn ở phía Nam; cao nhất ở khu vực ven biển Nam Trung Bộ. Theo các kết quả nghiên cứu đã triển khai, tiềm năng năng lượng bức xạ ở Việt Nam phổ biến ở mức từ khai thác hiệu quả đến hiệu quả cao, với giá trị tiềm năng năng lượng bức xạ năm dao động từ 3,2 kWh/m²/ngày đến trên 6,0 kWh/m²/ngày.

(3) Tài nguyên năng lượng sóng

Về khai thác năng lượng sóng còn là một lĩnh vực mới đối với Việt Nam, tính đến thời điểm hiện tại chưa có dự án nào đã được đầu tư và đi vào hoạt động. Tuy nhiên, hiện nay, tại tỉnh Quảng Ngãi đang triển khai dự án dự án Nhà máy điện sóng Ingeine Lý Sơn 1 được thực hiện tại đảo An Bình, Lý Sơn do Tập đoàn SK và Công ty TNHH Công nghiệp nặng Doosan Việt Nam tài trợ.

(4) Các nghiên cứu đã triển khai ở Việt Nam chủ yếu được thực hiện dựa trên số liệu quan trắc tại trạm và một số nghiên cứu sử dụng số liệu viễn thám. Để phục vụ hiệu quả công tác quy hoạch và đầu phát triển năng lượng gió, bức xạ, sóng ở Việt Nam, cần thực hiện các nghiên cứu chi tiết hơn và khảo sát cụ thể cho những khu vực dự kiến đầu tư dự án năng lượng tái tạo.

CHƯƠNG II

SỐ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN

2.1. Thu thập số liệu

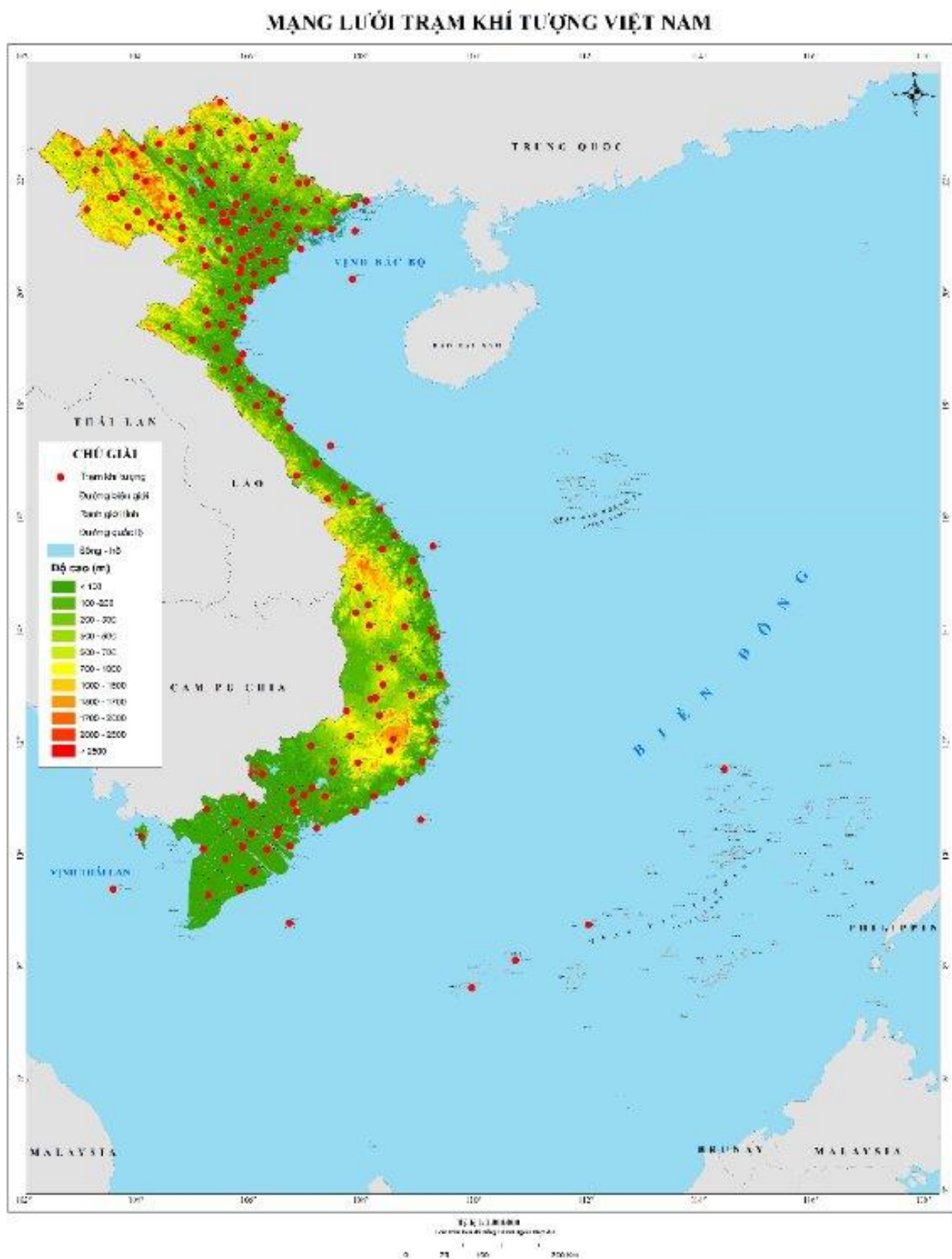
2.1.1. Số liệu quan trắc

Trong nghiên cứu này, số liệu quan trắc ngày của các yếu tố khí tượng (tốc độ gió mực 10m, nhiệt độ tối cao, nhiệt độ tối thấp, số giờ nắng) được thu thập tại 186 trạm (Hình 2.1), cập nhật cho giai đoạn 1960 - 2020.

Để tính toán tiềm năng năng lượng bức xạ, bên cạnh số liệu các yếu tố khí tượng nêu trên tại 186 trạm, số liệu quan trắc ngày đối với bức xạ tại 13 trạm trên cả nước cũng được thu thập (Bảng 2.1) trong giai đoạn 2012-2020.

Bảng 2.1. Danh sách trạm có quan trắc bức xạ ở Việt Nam

STT	Tên trạm	Vĩ độ	Kinh độ
1	Mường Lay	22 ⁰ 04'	103 ⁰ 9'
2	Sơn La	21 ⁰ 20'	103 ⁰ 54'
3	Phú Hộ	21 ⁰ 27'	105 ⁰ 14'
4	Cao Bằng	22 ⁰ 40'	106 ⁰ 15'
5	Móng Cái	21 ⁰ 31'	107 ⁰ 58'
6	Phù Liên	20 ⁰ 48'	106 ⁰ 38'
7	Hà Đông	20 ⁰ 58'	105 ⁰ 45'
8	Thanh Hóa	19 ⁰ 45'	105 ⁰ 47'
9	Vinh	18 ⁰ 40'	105 ⁰ 41'
10	Đà Nẵng	16 ⁰ 04'	108 ⁰ 21'
11	Đà Lạt	11 ⁰ 57'	108 ⁰ 27'
12	Pleiku	13 ⁰ 58'	108 ⁰ 01'
13	Cần Thơ	10 ⁰ 02'	105 ⁰ 46'



Hình 2.1. Mạng lưới trạm quan trắc được sử dụng

Báo cáo sử dụng số liệu quan sóng tại 17 trạm hải văn Việt Nam (Bảng 2.2) thời kỳ 2011-2020 sử dụng để tính toán và đánh giá kiểm chứng các nguồn số liệu tái phân tích và vệ tinh và 01 điểm đo gió ở độ cao 50m, sóng (Mỏ Bạch

Hồ) thời kỳ 4 năm 2017-2020 sử dụng để đánh giá các nguồn số liệu tái phân tích.

Bảng 2.2. Danh sách các trạm hải văn Việt Nam

TT	Tên trạm	Ghi chú
1	Cửa Ông	Trạm ven bờ
2	Cô Tô	Đảo
3	Bãi Cháy	Trạm ven bờ
4	Bạch Long Vĩ	Đảo
5	Hòn Dấu	Đảo
6	Sầm Sơn	Trạm ven bờ
7	Hòn Ngư	Đảo
8	Cồn Cỏ	Đảo
9	Hoàng Sa	Đảo
10	Sơn Trà	Trạm ven bờ
11	Quy Nhơn	Trạm ven bờ, không quan trắc sóng
12	Phú Quý	Đảo
13	Trường Sa	Đảo
14	Vũng Tàu	Trạm ven bờ
15	Côn Đảo	Đảo
16	DK I-7	Giàn nổi
17	Thổ Chu	Đảo
18	Phú Quốc	Đảo

2.1.2. Số liệu từ mô hình

- Mô hình WRF được sử dụng để mô phỏng lại 30 năm trường gió trên toàn bộ khu vực trên biển Việt nam từ dữ liệu tái phân tích ERA5 (1990-2020) với độ phân giải ngang $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ được sử dụng làm điều kiện ban đầu và điều kiện biên. Cấu hình miền tính nằm trong khoảng $3-25^\circ\text{B}$ và $98-121^\circ\text{Đ}$, phân giải ngang $9\text{km} \times 9\text{km}$, phân giải thẳng đứng 36 mực, từ bề mặt đến mực 50 hPa. Các sơ đồ tham số hóa mô hình sử dụng bao gồm: sơ đồ đối lưu Betts-Miller-Janjic, vi vật lý WSM6, bức xạ sóng ngắn, sóng dài RRTMG, bề mặt đất

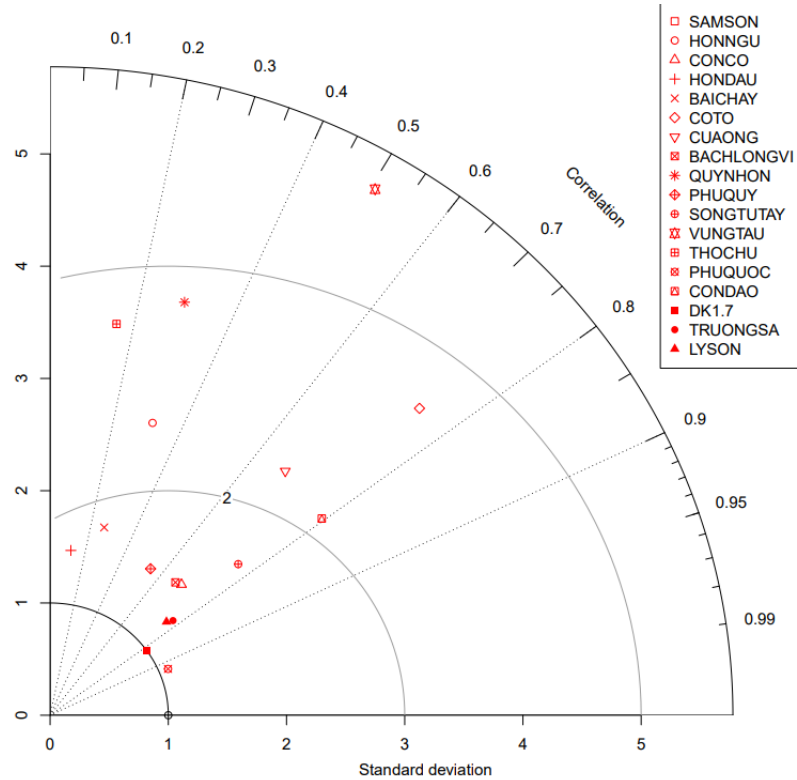
Noah LSM, và lớp biên hành tinh YSM. Trường gió đầu ra của mô hình WRF là gió trung bình 10 phút.

Bảng 2.3 thể hiện các kết quả đánh giá sai số của 18 trạm khu vực ven biển và trạm trên các đảo. Các thông số được thể hiện trên biển bao gồm: giá trị trung bình quan trắc, giá trị trung bình WRF, các sai số ME, MAE và hệ số tương quan giữa mô phỏng của mô hình WRF so với số liệu quan trắc. Ngoài ra, Hình 2.2 để thấy được tổng quan và so sánh sai số giữa các trạm. Giản đồ Taylor chuẩn hóa ở hình 2.2 giá trị tương quan của các trạm quan trắc và thể hiện tương đối chất lượng số liệu mô phỏng tại các điểm trạm.

Bảng 2.3. Kết quả đánh giá sai số của 18 trạm ven biển và trạm đảo

Tên trạm	Trung bình quan trắc	Trung bình WRF	Sai số		Hệ số tương quan
			ME	MAE	
Cửa Ông	2.82	3.19	0.38	0.98	0.68
Cô Tô	3.23	5.01	1.78	2.13	0.75
Bãi Cháy	2.07	2.46	0.39	0.75	0.26
Bạch Long Vĩ	5.75	5.44	-0.31	1.45	0.67
Hòn Dấu	2.87	3.95	1.08	1.38	0.12
Sầm Sơn	1.72	2.36	0.64	1.02	-0.21
Hòn Ngư	2.84	2.81	-0.04	1.2	0.32
Cồn Cỏ	3.49	4.07	0.58	1.07	0.69
Lý Sơn	4.37	4	-0.38	1.11	0.76
Quy Nhơn	2.44	3.33	0.89	1.35	0.29
Phú Quý	5.43	7.86	2.44	2.8	0.55
Song Tử Tây	3.36	5.92	2.55	2.71	0.76
Trường Sa	4.87	5.76	0.89	1.38	0.78
Vũng Tàu	1.76	5.43	3.67	3.69	0.51
Côn Đảo	2.08	4.95	2.87	2.92	0.8
DK I-7	6.37	5.86	-0.51	1.15	0.82
Thỏ Chu	1.16	4.14	2.98	3	0.16
Phú Quốc	2.98	2.47	-0.51	0.62	0.92

Giản đồ Taylor Hình 2.2 cho thấy các trạm có hệ số tương quan và sai số tương đối tốt là: Phú Quốc, DK-17, Lý Sơn, Trường Sa. Các trạm Côn Đảo, Song Tử Tây, Cô Tô có hệ số tương quan trên 0.75. Trạm Sầm Sơn có hệ số tương quan thấp nhất -0.21. Nhìn chung phần lớn các trạm có tương quan khá trên 0.5. Các trạm ở khu vực phía Nam có hệ số tương quan tốt hơn các trạm khu vực phía Bắc.



Hình 2.2. Giản đồ Taylor chuẩn hóa thể hiện sai số tại của 18 trạm quan trắc ven biển và các đảo của Việt Nam

- Số liệu mô hình SWAN: Số liệu từ mô hình tính sóng SWAN là kết quả tính toán lại từ số liệu trường gió ERA5 trong 20 năm (2001-2020). Độ phân giải mô hình là 4 km. Các tham số của mô hình được trình bày trong mục phương pháp thực hiện.

Đánh giá chất lượng của số liệu là điều kiện cần để đảm bảo kết quả tính toán có độ tin cậy cao. Với các nguồn số liệu thu thập được, báo cáo sẽ so sánh độ cao sóng của các số liệu tái phân tích với số liệu sóng thực đo tại trạm và số liệu vệ tinh. Tuy nhiên số liệu sóng tại các trạm hải văn vẫn có thể được tham khảo về xu thế biến động theo thời gian và không gian khu vực ven bờ Việt Nam. Số liệu sóng đo từ vệ tinh có chất lượng được xem là khá tin cậy, tuy nhiên thời gian quan trắc còn hạn chế từ 2009 trở lại đây. Số liệu tái phân tích hiện nay được xem là nguồn số liệu có thể đáp ứng được yêu cầu nghiên cứu với

độ dài chuỗi số liệu lớn, độ phân giải theo không gian khá cao (0.125-0.25). Hơn nữa số liệu tái phân tích được xây dựng dựa trên các mô hình toàn cầu với các kỹ thuật đồng hóa các số liệu sóng đo từ vệ tinh, trạm quan trắc ven bờ, trạm phao, tàu biển...

Nhìn chung, số liệu thực đo tại các trạm hải văn có xu thế thấp hơn và số liệu từ vệ tinh lại có xu thế cao hơn tại hầu hết các trạm hải văn. Riêng trạm Bạch Hổ, độ cao sóng từ tất cả các nguồn cho xu thế khá tương đồng với nhau. Số liệu ở trạm Bạch Hổ được đo bằng máy đo tự động với độ phân giải 1 giờ, độ dài chuỗi số liệu là từ 2017-2020 vì vậy có độ tin cậy cao.

2.1.3. Số liệu viễn thám

Bức xạ mặt trời tại bề mặt được tính toán bằng sử dụng dữ liệu Himawari-8 giai đoạn 2016-2021 (Level 1), được cung cấp bởi Trung tâm vệ tinh khí tượng Nhật bản (JMA) gồm 16 kênh với các thông số về albedo và nhiệt độ sáng với độ phân giải thời gian cao. Các khu vực được quét 10 phút một và độ phân giải không gian 2 km. Độ phân giải không gian là 0.020 x 0.020 được cắt và lọc các pixel cho vùng nghiên cứu Việt Nam.

Sử dụng dữ liệu của 5 trạm đo bức xạ bề mặt chất lượng cao mới được lắp đặt (7/2017-12/2019) của Tập đoàn điện lực Việt Nam do Ngân hàng thế giới tài trợ để đánh giá độc lập kết quả ước tính BXMT từ Himawari-8. Các trạm này đo liên tục 3 thành phần bức xạ mỗi 1 phút, từ đó có thể tính thành dữ liệu giờ và dữ liệu ngày. Kết quả đánh giá cho thấy hệ số tương quan cao trên ngưỡng 0,95 đối với số liệu tháng và sai số trong khoảng tương đương với kết quả trên thế giới, khẳng định độ tin cậy của kết quả ước tính từ vệ tinh.

2.1.4. Số liệu tái phân tích

Số liệu tái phân tích ERA5: ERA5 là số liệu tái phân tích phiên bản thứ 5 cho khí hậu và thời tiết toàn cầu của Trung tâm Dự báo hạn vừa Châu Âu (ECMWF). Đây là bộ số liệu có độ phân giải cao nhất hiện nay (Hersbach và ccs, 2020), với phân giải 0.25×0.25 độ kinh vĩ, có từ năm 1979 cho đến nay. ERA5 có đầu ra hàng giờ xuyên suốt và ước tính không chắc chắn từ tổ hợp (mỗi 3 giờ, với phân giải ngang 0.5 độ kinh vĩ). Hệ thống đồng hóa dữ liệu được sử dụng để tạo ra ERA5 là IFS (Integrated Forecasting System) Cy41r2 4D-Var.

Số liệu CMEMS 0.2: GLOBAL_REANALYSIS_WAV_001_032 là số liệu tái phân tích sóng toàn cầu mô tả các trạng thái biển trong quá khứ trong khoảng thời gian 1993-2019. Sản phẩm này cũng có tên là WAVERYS trong bộ số liệu GLO-HR MFC. Số liệu của WAVERYS dựa trên mô hình toàn cầu MFWAM, một mô hình sóng thể hệ thứ ba tính toán phổ sóng, tức là sự phân bố năng lượng trạng thái biển theo tần số và hướng trên lưới không đều 1/5 độ. Các tham số sóng thu được từ phổ sóng, chẳng hạn như độ cao sóng hiệu dụng (SWH) hoặc chu kỳ sóng trung bình, được phân bố trên toàn cầu trên kích thước lưới thông thường là 1/5 độ với bước thời gian 3 giờ. Phổ sóng được phân tách thành 30 tần số thu được từ một chuỗi hình học của phần tử thứ nhất 0,035 Hz và tỷ lệ chung là 7,5. WAVERYS có tính đến sự tương tác giữa các dòng hải lưu từ số liệu GLORYS12 và đồng hóa độ cao sóng hiệu dụng quan trắc bằng các vệ tinh Sentinel 1 SAR từ năm 2016 trở đi. Từ năm 2020 đến nay, phổ sóng từ SWIM (Công cụ giám sát và điều tra sóng bề mặt) - các dữ liệu vệ tinh của CFO cũng đã được đồng hóa.

2.1.5. Số liệu đặc trưng bề mặt

Việc tính toán ngoại suy gió trên các mực cao hơn 10m đến 200m (các độ cao khai thác gió hiệu dụng) phụ thuộc nhiều vào các đặc trưng của bề mặt tại điểm khai thác gió, ở đây là lớp phủ thực vật, thông số độ nhám hay độ gồ ghề (roughness). Do đó, thay vì sử dụng tham số độ nhám cố định trong 30 năm tính toán, ngoài việc bổ sung dữ liệu quan trắc gió từ toàn bộ số lượng trạm, báo cáo sẽ sử dụng toàn bộ dữ liệu đặc điểm bề mặt có tính cập nhật và chi tiết hơn từ sản phẩm lớp phủ bề mặt hàng năm cho khu vực Việt Nam trong giai đoạn 1990-2020 của dự án khoa học ALOS/ALOS-2 của Cơ quan thăm dò không gian vũ trụ Nhật Bản.

Đây là sản phẩm lớp phủ bề mặt độ phân giải cao, gồm hai phiên bản 30m và 250m, được thiết lập dựa trên các sản phẩm vệ tinh Landsat, Sentinel-1, Sentinel-2 và thuật toán Random-forest. Bộ sản phẩm này gồm lớp phủ bề mặt hàng năm cho giai đoạn 1990-2020, được chia làm hai cấp. Cấp thứ nhất gồm 10 loại lớp phủ thống trị, và cấp 2 gồm 18 loại lớp phủ. Các loại lớp phủ này được xác thực với số liệu từ các cuộc khảo sát thực địa và số liệu được giải thích trực quan. Độ chính xác của cấp thứ nhất dao động từ 86% đến 92%, đối với cấp thứ hai, dao động từ 78% đến 85%.

Việc cập nhật dữ liệu độ nhám với độ tin cậy cao sẽ cho phép tăng mức độ chi tiết, tin cậy khi thực hiện các tính toán ngoại suy trường gió ở các mức khai thác năng lượng gió. Dữ liệu bề mặt của ALOS cho thấy lớp phủ bề mặt trên khu vực Việt Nam đã trải qua một sự thay đổi đáng kể trong vòng 30 năm qua, trong đó khu vực phía bắc và phía nam của đất nước có sự thay đổi lớn nhất đặc biệt là khu vực Tây Bắc và khu vực Đồng bằng sông Cửu Long. Ngoài ra có sự chuyển đổi cơ bản giữa đất rừng và đất trồng trọt, diện tích rừng giảm đáng kể trong khi đất ở và diện tích đất nuôi trồng thủy sản tăng lên đáng kể. Đáng chú ý, một tỷ lệ rừng lớn đã được chuyển đổi thành đất trồng trọt, trong khi đó nguyên nhân gây mất đất ngập nước là do việc mở rộng vùng nuôi trồng thủy sản. Diện tích đất ở chủ yếu mở rộng dựa trên diện tích đất trồng lúa, đất trồng cây, đất cần cỗi, nằm gần các bờ biển. Những thay đổi đặc điểm bề mặt do đó sẽ ảnh hưởng trực tiếp đến việc xác định diện tích, khu vực có tiềm năng khai thác năng lượng gió trong giai đoạn tới (2030-2050).

Bảng 2.4: Thông số độ nhám chi tiết ứng với từng loại lớp phủ sử dụng trong báo cáo để cập nhật tính toán từ nguồn dữ liệu ERA5 kết hợp quan trắc bề mặt của Việt Nam

Số thứ tự trong cơ sở phân loại bề mặt	Số thứ tự mô tả chi tiết hơn trong cơ sở phân loại bề mặt	Độ nhám tương ứng (m)
1,2: Đất ở	1: Đất ở với mật độ cao	0.8
	2: Đất ở với mật độ thấp	0.8
3: Đồng lúa	3: Đồng lúa	0.15
4,5,6: Đất trồng trọt	4: Đất trồng cây thân gỗ	0.2
	5: Đất trồng các loại cây khác	0.15
	6: Đất trồng cây trong nhà	0.15
7: Đồng cỏ	7: Đồng cỏ	0.12
8: Đất cần cỗi	8: Đất cần cỗi	0.01
9: Cây bụi	9: Cây bụi	0.05
10,11,12,14,20: Rừng	10: Rừng lá rộng, rụng lá theo mùa	0.5
	11: Rừng lá rộng thường xanh	0.5

Số thứ tự trong cơ sở phân loại bề mặt	Số thứ tự mô tả chi tiết hơn trong cơ sở phân loại bề mặt	Độ nhám tương ứng (m)
	12: Rừng lá kim	0.5
	13: Rừng cây trồng	0.5
	20: Rừng tre	0.5
15: Đất ngập nước	15: Rừng ngập mặn	0.4
	16: Đất ngập nước nội địa	0.4
18: Vùng nước	18: Vùng nước	0.0001
19: Khu vực nuôi thủy sản	19: Khu vực nuôi thủy sản	0.0001

2.2. Phương pháp tính toán

2.2.1. Phương pháp tính toán tiềm năng năng lượng bức xạ

a. Từ số liệu quan trắc

Tiềm năng năng lượng bức xạ tại các trạm quan trắc được tính toán dựa trên phương trình sau [33]:

$$R_g/R_a = a + b \cdot n/N \quad (2.1)$$

Trong đó:

R_g : là Bức xạ tổng cộng ($\text{Kwh/m}^2/\text{ngày}^{-1}$).

n : Số giờ nắng

N : Số giờ chiếu sáng theo thiên văn:

a , b là hệ số biến đổi theo vị trí địa lý. Trong nghiên cứu này, hệ số a , b được xác định dựa trên kết quả thực hiện ở các vùng khí hậu đã được xác định trong các nghiên cứu trước đó [5, 9].

$$R_a = \frac{24(60)}{\pi} G_{sc} d_r [\omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega_s)] \quad (2.2)$$

Trong đó:

R_a : Bức xạ ngoài khí quyển,

G_{sc} : Hằng số mặt trời,

d_r : Khoảng cách tương đối mặt trời và trái đất,

ω_s : Góc giờ mặt trời lặn (rad),

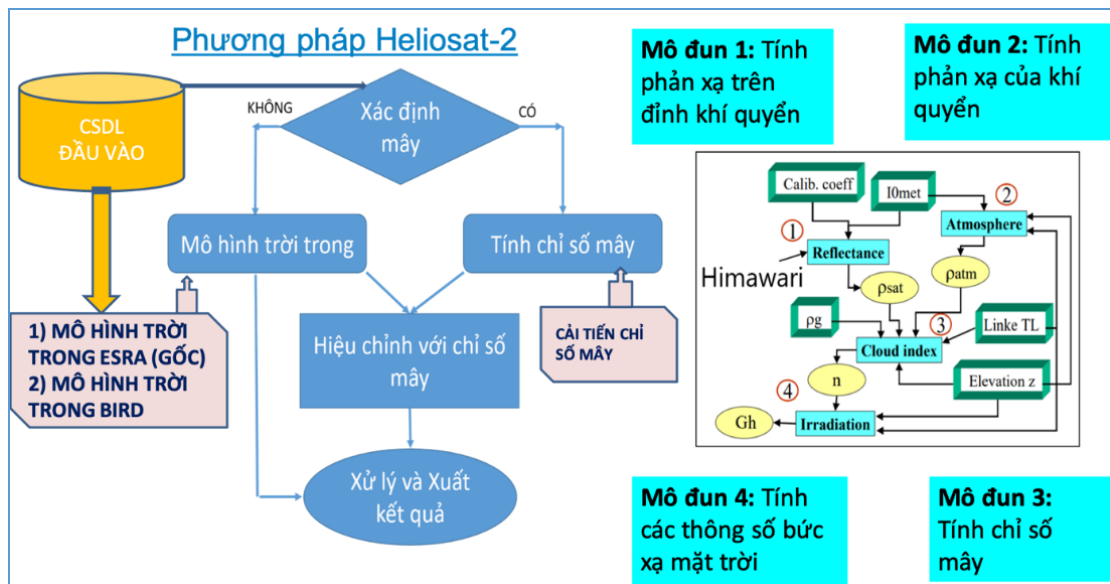
φ : Vĩ độ (rad),

δ : Độ xích vĩ (Rad).

b. Từ số liệu viễn thám

Mục tiêu của các mô hình ước tính bức xạ mặt trời từ vệ tinh là sử dụng những thông tin quan trắc được về bức xạ ở đỉnh khí quyển và albedo để tính GHI và DNI. Nền tảng của những phương pháp thông dụng nhất để xác định bức xạ mặt trời đến được bề mặt trái đất lần đầu tiên được giới thiệu bởi tác giả Cano và cộng sự trong mô hình được gọi là Heliosat [15]. Khái niệm được dựa trên ý tưởng là bức xạ tại bề mặt quan hệ nghịch với phản xạ ở trên đỉnh khí quyển, tức là liên quan đến lượng mây. Cho đến nay, Heliosat này đã được vài lần cải tiến so với phiên bản ban đầu. Trong đó, với giá trị bức xạ đã được hiệu chỉnh làm đầu vào, Heliosat-2 [80] sử dụng khả năng thay thế các tham số thực nghiệm trong các sơ đồ với các mô hình vật lý nửa thực nghiệm từ các nguồn bên ngoài, và hiệu chỉnh của tán xạ ngược từ khí quyển được dựa trên mô hình trời trong ESRA [79]. Không cần các dữ liệu đo đạc bề mặt để xây dựng và hiệu chỉnh tham số như Heliosat-1 và trước đó, do vậy Heliosat-2 đảm bảo khả năng áp dụng trên toàn cầu với mọi loại dữ liệu vệ tinh địa tĩnh trong đó có Himawari-8, bao phủ khu vực Việt Nam hiện nay. Tức là, Heliosat-2 có thể áp dụng cho mọi loại chuỗi dữ liệu lớn chụp bằng các cảm biến khác nhau. Đặc biệt là khả năng áp dụng gần thời gian thực với mọi độ phân giải của ảnh. Bằng cách loại bỏ các tham số thực nghiệm, việc tính toán bằng Heliosat-2 đảm bảo kết quả là đồng nhất với mọi trường hợp.

Sơ đồ thực hiện các bước để xây dựng mô hình tính toán năng lượng bức xạ áp dụng đối với vệ tinh Himawari-8 được trình bày trên Hình 2.3, để ước tính bức xạ cho khu vực Việt Nam giai đoạn 2016-2021 với tần suất 10 phút. Từ kết quả ước tính 10 phút được sử dụng để ước tính trung bình ngày, trung bình tháng, trung bình mùa và trung bình năm.



Hình 2.3. Sơ đồ thực hiện mô hình tính toán năng lượng bức xạ mặt trời

2.2.2. Phương pháp tính toán tiềm năng năng lượng gió

a. Tính toán phân bố 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. Hiện nay, nhiều công trình nghiên cứu trên thế giới cũng như ở Việt Nam đã 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 vừa tiện lợi, vừa phù hợp khá tốt với tốc độ gió trong khí quyển từ mặt đến độ cao khoảng 100 m. Vì vậy, trong báo cáo đã chọn hàm loga để tính toán:

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:

$$\frac{V_z}{V_1} = \frac{\ln(z/z_0)}{\ln(z_1/z_0)} \quad (2.1)$$

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 , 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.

b. Tính toán phân bố mật độ năng lượng gió

Trong phần này, báo cáo tập trung trình bày 2 phương pháp đang được sử dụng rộng rãi nhất trên thế giới cũng như Việt Nam.

Phương pháp 1: Ước lượng 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:

$$E = \frac{1}{2} \rho \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i^3 \quad (2.2)$$

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

Như vậy, năng lượng gió là đại lượng dẫn xuất từ tốc độ gió và chỉ phụ thuộc vào tốc độ gió nên những nghiên cứu về tốc độ gió là cơ sở để đánh giá tiềm năng của gió trên lãnh thổ.

Phương pháp 2: Sử dụng hàm phân bố xác suất của tốc độ gió (hàm phân bố Weibull)

Trên thực tế, do dãy số liệu quan trắc không đủ dày nên công thức (2.2) không thể đáp ứng tốt cho yêu cầu đánh giá tiềm năng năng lượng. Do vậy, trong phân tích đánh giá tiềm năng năng lượng gió, người ta thường tính toán thông qua hàm phân bố Weibull với 2 tham số. Hiện nay, hàm phân bố này 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.

Trong khoảng thời gian nào đó gió có phân bố theo hàm $f(V)$ thì giá trị trung bình của V^3 trong khoảng thời gian đó là $\overline{V^3}$ được xác định bởi công thức:

$$\overline{V^3} = \int_0^{\infty} V^3 f(V) dV \quad (2.3)$$

Do đó, mật độ năng lượng trung bình E trong khoảng thời gian đó là:

$$E = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} \rho V^3 f(V) dV \quad (2.4)$$

Như vậy, để tính E phải xác định 2 đại lượng ρ và $f(V)$.

Hàm mật độ xác suất $p(v)$ và hàm xác suất tích lũy $P(v)$ của phân bố Weibull 2 tham số có dạng:

$$p(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \quad (2.5)$$

$$P(v) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \quad (2.6)$$

Trong đó, c là tham số kích cỡ của phân bố và gần với tốc độ gió trung bình; k là tham số hình dạng. Các tham số c và k có thể được ước lượng như sau:

Bằng phép biến đổi loga của hàm phân bố $P(v)$ ta được:

$$k \ln(v) - k \ln(c) = \ln[-\ln(1 - P(v))] \quad (2.7)$$

Nếu đặt $x = \ln(v)$, $y = \ln[-\ln(1 - P(v))]$, thì phương trình trên trở thành phương trình tuyến tính có dạng:

$$y = Ax + B \quad (2.8)$$

Trong đó, $A = k$, $B = -k \ln(c)$, $c = \exp(-B/A)$

Tần suất mỗi cấp tốc độ gió v_i được xác định như sau:

$$p(v_i) = \frac{f_i}{\sum_{i=1}^N f_i} = \frac{f_i}{n} \quad (i = 1, 2, \dots, N) \quad (2.9)$$

$$\text{Xác suất tích lũy} \quad P(v_i) : P(v_i) = \sum_{j=1}^i p(v_j) \quad (2.10)$$

Các hệ số A và B có thể được xác định bằng phương pháp bình phương tối thiểu như sau:

$$A = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}, \quad B = \bar{y} - A\bar{x} \quad (2.11)$$

Trong đó, $x_i = \ln(v_i)$, $y_i = \ln[-\ln(1 - P(v_i))]$, $\bar{x}$, $\bar{y}$ là các giá trị trung bình của x_i , y_i .

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N p(v_i) x_i, \quad \bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N p(v_i) y_i \quad (2.12)$$

Khi đó, mật độ năng lượng gió P/A sẽ được tính toán từ các hệ số c và k của hàm Weibull như sau:

$$\frac{P}{A} = \int_0^\infty \frac{1}{2} \rho v^3 f(v) dv = \frac{1}{2} \rho c^3 \Gamma\left(\frac{k+3}{k}\right) \quad (2.13)$$

với: Γ là hàm gamma và ρ là mật độ không khí.

c. Phương pháp xây dựng dữ liệu trường gió trên lưới tính phân giải cao

Báo cáo sử dụng phương pháp phân tích tối ưu đang sử dụng phổ biến trong việc thiết lập trường dữ liệu ban đầu cho các mô hình số thời tiết. Dữ liệu ERA5 trên lưới được xem là khởi tạo ban đầu (first guess) trong quá trình lặp tối ưu nội suy ngang từ các dữ liệu quan trắc của các trạm dữ liệu quan trắc bề mặt của Việt Nam. Mặc dù thiết lập về lưới tính độ phân giải ngang 1km x 1km, tuy nhiên số lượng trạm bề mặt hiện nay vẫn còn hạn chế so với tổng diện tích đất liền của lãnh thổ Việt Nam để có thể đáp ứng được mức độ chi tiết này khi thực hiện giới hạn bán kính ảnh hưởng của dữ liệu gốc (tại trạm đo đặc quan trắc) so với không gian xung quanh không quá 8 km ở khu vực đồng bằng và không quá 14 km ở khu vực vùng núi (địa hình cao trên 800 m so với mực nước biển).

Với những khu vực ít quan trắc như địa hình phức tạp, quá trình tính toán sẽ ưu tiên dữ liệu lưới ERA5 dựa trên những ưu điểm tái mô phỏng mà Trung tâm Dự báo hạn vừa Châu Âu đã thực hiện.

Lưới tính chi tiết đạt được trong báo cáo là 1km x 1km theo phương ngang cho trường gió ở mực độ cao 10 m, sau đó sẽ sử dụng số liệu đặc trưng bề mặt chi tiết mới để tính toán ngoại suy cho các mực độ cao khai thác gió từ 50 m, 100 m, 150 m và 200 m. Bên cạnh đó, các bản đồ trung bình về hướng gió cũng được thiết lập.

Từ trường gió tính toán được trên lưới chi tiết, ước lượng sơ bộ về tiềm năng khai thác từ gió sẽ được tính toán chi tiết cho trung bình từng tháng trên toàn bộ lãnh thổ Việt Nam ở từng độ cao cụ thể.

2.2.3. Phương pháp tính toán tiềm năng năng lượng sóng

a. Tính toán mật độ năng lượng sóng

Dựa trên cơ sở lý thuyết về năng lượng sóng, thông lượng năng lượng sóng trong vùng nước sâu được tính theo công thức sau:

$$P_o \approx \frac{\rho g^2}{64\pi} T_e H_s^2 \quad (2.14)$$

trong đó:

P_o là thông lượng năng lượng sóng,

g là gia tốc trọng trường,

H_s là độ cao sóng hữu hiệu,

T_e là chu kỳ sóng và được xác định thông qua T_p - chu kỳ sóng đỉnh phổ, được xác định theo:

$$T_e = \alpha T_p \quad (2.15)$$

với α là hệ số phụ thuộc vào dạng phổ (trong trường hợp này $\alpha = 0.9$)

b. Tính toán tần suất sóng hiệu dụng, các ngưỡng tiềm năng năng lượng sóng

- Tần suất sóng hiệu dụng là số lần xuất hiện của độ cao sóng đảm bảo ngưỡng để phát điện, đó là $H_{whs} = 1,3m < H_s < 4m$. Độ cao sóng trên 1,3 m là ngưỡng có thể phát điện, còn độ cao sóng trên 4m là ngưỡng sóng phá hủy không an toàn cho hệ thống điện sóng.

$$EWHO = m \cdot 100/n \quad (2.16)$$

trong đó EWHO là tần suất sóng hiệu dụng, m là số lần xuất hiện độ cao sóng nằm trong ngưỡng hiệu dụng ($1,3m < H_s < 4m$), n là tổng số số liệu độ cao sóng H_s trong khoảng thời gian tính toán.

- Tần suất các mức tiềm năng năng lượng sóng gồm 3 mức: có tiềm năng ($P > 2 \text{ kW/m}$) ký hiệu là ALO; mức tiềm năng vừa ($P > 10 \text{ kW/m}$) - ký hiệu là MLO; tiềm năng cao ($P > 20 \text{ kW/m}$) - ký hiệu là RLO.

Cách tính tần suất các mức tiềm năng năng lượng sóng cũng tương tự như cách tính tần suất độ cao sóng hiệu dụng.

c. Tính toán sóng có nghĩa bằng mô hình số trị

Mô hình tính sóng SWAN được sử dụng để tính lại độ cao sóng từ số liệu gió tái phân tích. Bộ mô hình SWAN được kế thừa từ đề tài nghiên cứu cấp Bộ mã số TNMT.2018.05.28. Mô hình có độ phân giải 4 km. Đầu vào của mô hình là trường khí áp từ nguồn số liệu ECMWF có độ phân giải 0.125 độ kinh vĩ. Mô hình đã được hiệu chỉnh và kiểm nghiệm dựa trên các số liệu sóng thực đo tại các trạm phao và trạm Bạch Hổ.

Kết quả tính toán độ cao sóng, mật độ năng lượng sóng và các mức tiềm năng năng lượng sóng được trích xuất tại 17 vị trí tại các trạm hải văn và 20 vị trí ven bờ biển Việt Nam để so sánh giá trị năng lượng sóng từ có nguồn số liệu khác nhau và sự phân bố theo không gian.

Bảng 2.5. Tọa độ các điểm trích kết quả tính toán sóng và năng lượng sóng

Thứ tự điểm	Kinh độ	Vĩ độ	Thứ tự điểm	Kinh độ	Vĩ độ
1	108	21	11	110	13
2	107	20	12	110	12
3	108	20	13	110	11
4	106	19	14	108	10
5	107	19	15	107	9
6	107	18	16	106	8
7	108	17	17	105	8
8	109	16	18	104	8
9	110	15	19	104	9
10	110	14	20	104	10

CHƯƠNG III

TIỀM NĂNG NĂNG LƯỢNG BỨC XẠ, GIÓ VÀ SÓNG

3.1. Tiềm năng năng lượng bức xạ

Việt Nam có chế độ bức xạ nội chí tuyến, nên dù ở vùng cao hay vùng thấp, đất liền hay hải đảo đều có độ cao mặt trời khá lớn và thời gian chiếu sáng khá đồng đều; tổng lượng bức xạ mặt trời phong phú và cân cân bức xạ luôn dương [9, 10, 15]. Số liệu quan trắc cho thấy, tổng số giờ nắng ở Việt Nam vào khoảng 1857,0 giờ/năm; dao động trong khoảng 1.653,0 -1.819,8 giờ/năm ở phía Bắc và khoảng 2312,4 - 2502,6 giờ/năm ở phía Nam. Trong tháng I, số giờ nắng có sự khác biệt nhau rõ rệt giữa các vùng miền; thấp nhất ở khu vực Đông Bắc, Đồng Bằng Bắc Bộ, Bắc Trung Bộ, với giá trị trong khoảng 71,4 đến 87,1 giờ/tháng; cao hơn ở khu vực Tây Bắc, với giá trị khoảng 128,9 giờ/tháng; cao nhất ở các vùng khí hậu phía Nam, với giá trị trong khoảng 175,9 (Nam Trung Bộ) đến 245,8 giờ/tháng (Nam Bộ). Trong tháng IV, sự số giờ nắng cũng phân hóa rõ rệt giữa các vùng khí hậu, thấp hơn ở Bắc Bộ, cao hơn ở Trung Bộ và Nam Bộ. Trong tháng VII, số giờ nắng cao hơn ở khu vực Trung Bộ, thấp hơn ở Bắc Bộ và Nam Bộ. Trong tháng X, tổng số giờ nắng ở các vùng khí hậu là khá tương đồng nhau, dao động trong khoảng từ 132,3 giờ/tháng (Bắc Trung Bộ) đến 175,9 giờ/tháng (Nam Bộ) (Bảng 3.1).

Bảng 3.1. Tổng số giờ nắng (giờ) tại các vùng khí hậu

Vùng	I	IV	VII	X	Năm
Tây Bắc	128,9	171,6	145,8	156,0	1819,8
Đông Bắc	71,4	101,7	167,4	147,1	1502,4
Đồng Bằng Bắc Bộ	71,6	89,7	195,1	160,8	1563,3
Bắc Trung Bộ	87,1	138,2	210,1	132,3	1653,0
Nam Trung Bộ	175,9	244,4	223,3	165,6	2364,4
Tây Nguyên	230,8	232,6	168,5	158,2	2312,4
Nam Bộ	245,8	253,9	181,1	175,9	2502,6

Về mặt lý thuyết, thời gian chiếu nắng có quan hệ gần gũi với bức xạ và là một trong những nhân tố quyết định đến tiềm năng năng lượng bức xạ. Tiềm

năng lượng bức xạ trên đất liền Việt Nam cũng có sự phân hóa theo không gian và thời gian khá tương đồng với sự phân hóa của số giờ nắng. Kết quả tính toán tiềm năng năng lượng bức xạ trên lãnh thổ Việt Nam từ số liệu quan trắc được trình bày trên Hình 3.1, Bảng 3.2 và Phụ lục 1. Trung bình cả nước, tiềm năng năng lượng bức xạ có giá trị khoảng 1.681,5 KWh/m²/năm. Trong đó, tiềm năng năng lượng bức xạ lớn hơn ở các vùng khí hậu phía Nam, khu vực Tây Bắc; thấp hơn ở Đông Bắc, Đồng Bằng Bắc Bộ và Bắc Trung Bộ. Cụ thể, tiềm năng năng lượng bức xạ lớn nhất ở khu vực Nam Trung Bộ, với giá trị khoảng 1.968,1 KWh/m²/năm; tương đối dồi dào ở khu vực Nam Bộ và Tây Nguyên, với giá trị lần lượt tương ứng là 1.862,8 KWh/m²/năm và 1.868,0 KWh/m²/năm; khoảng 11.596,8 KWh/m²/năm ở Tây Bắc; thấp nhất ở Đông Bắc, Đồng Bằng Bắc Bộ và Bắc Trung Bộ, với giá trị trong khoảng 1442,8-1532,6 KWh/m²/năm (Bảng 3.2, Phụ lục 1).

Kết quả tính toán phân bố theo không gian trên Hình 3.1 cho thấy rõ sự phân hóa theo không gian của tiềm năng năng lượng bức xạ ở Việt Nam. Có thể thấy rõ, tiềm năng năng lượng bức xạ cao nhất ở khu vực phía Nam, đặc biệt là Nam Trung Bộ; thấp hơn ở Đông Bắc, Đồng Bằng Bắc Bộ và phía Bắc của Bắc Trung Bộ. Cụ thể, đặc trưng tiềm năng năng lượng bức xạ ở các địa phương như sau:

(1) Tây Bắc: Các địa phương thuộc khu vực Tây Bắc có tiềm năng năng lượng bức xạ khá tương đồng nhau (Hình 3.1), với giá trị dao động khoảng từ 1.500 KWh/m²/năm đến 1600 KWh/m²/năm. Về diễn biến trong năm, tiềm năng năng lượng bức xạ giữa các tháng không chênh lệch nhau nhiều, phổ biến khoảng 3,0 KWh/m²/ngày (tháng I-XII) đến trên 5,0 KWh/m²/ngày (tháng IV-VI). Nhìn chung, tiềm năng năng lượng bức xạ ở khu vực Tây Bắc tương đối dồi dào trong các tháng mùa xuân, sau đó đến mùa hè (Bảng 3.2, Phụ lục 1, Hình 3.1).

(2) Đông Bắc: Khu vực Đông Bắc có tiềm năng năng lượng bức xạ thấp nhất cả nước, phân hóa theo không gian là khá tương đồng giữa các địa phương trong khu vực (Hình 3.1). Tiềm năng năng lượng bức xạ năm tại khu vực Đông Bắc phổ biến từ khoảng 1400 KWh/m²/năm đến 1.500 KWh/m²/năm. Tiềm năng năng lượng bức xạ ở khu vực này có đặc điểm là thấp hơn ở vùng núi; cao hơn ở ven biển, đảo và phía Nam. Về diễn biến trong năm, tiềm năng năng lượng bức xạ thấp nhất vào các tháng mùa đông, với giá trị khoảng phổ biến 2,0-3,0

KWh/m²/ngày (tháng I, XII) đến trên 5,0 KWh/m²/ngày (tháng V). Nhìn chung, tiềm năng năng lượng bức xạ ở khu vực Đông Bắc là dồi dào hơn trong các tháng mùa xuân và mùa hè; rất thấp vào các tháng mùa đông (Bảng 3.2, Phụ lục 1, Hình 3.1).

(3) Đồng Bằng Bắc Bộ: Khu vực Đồng Bằng Bắc Bộ có tài nguyên năng lượng bức xạ khá tương đồng với khu vực Đông Bắc và tương đồng giữa các địa phương trong khu vực, với tiềm năng năng lượng bức xạ năm phổ biến khoảng từ 1.400 KWh/m²/năm đến 1.500 KWh/m²/năm (Hình 3.1). Về diễn biến trong năm, tiềm năng năng lượng bức xạ thấp hơn vào các tháng mùa đông và cao hơn vào các tháng mùa hè, với giá trị dao động từ khoảng 2,0-3,0 KWh/m²/ngày (tháng I, XII) đến trên 5,0 KWh/m²/ngày (tháng V - VII). Nhìn chung, tiềm năng năng lượng bức xạ ở khu vực Đồng Bằng Bắc Bộ là dồi dào hơn trong các tháng mùa xuân và mùa hè; rất thấp vào các tháng mùa đông (Bảng 3.2, Phụ lục 1, Hình 3.1).

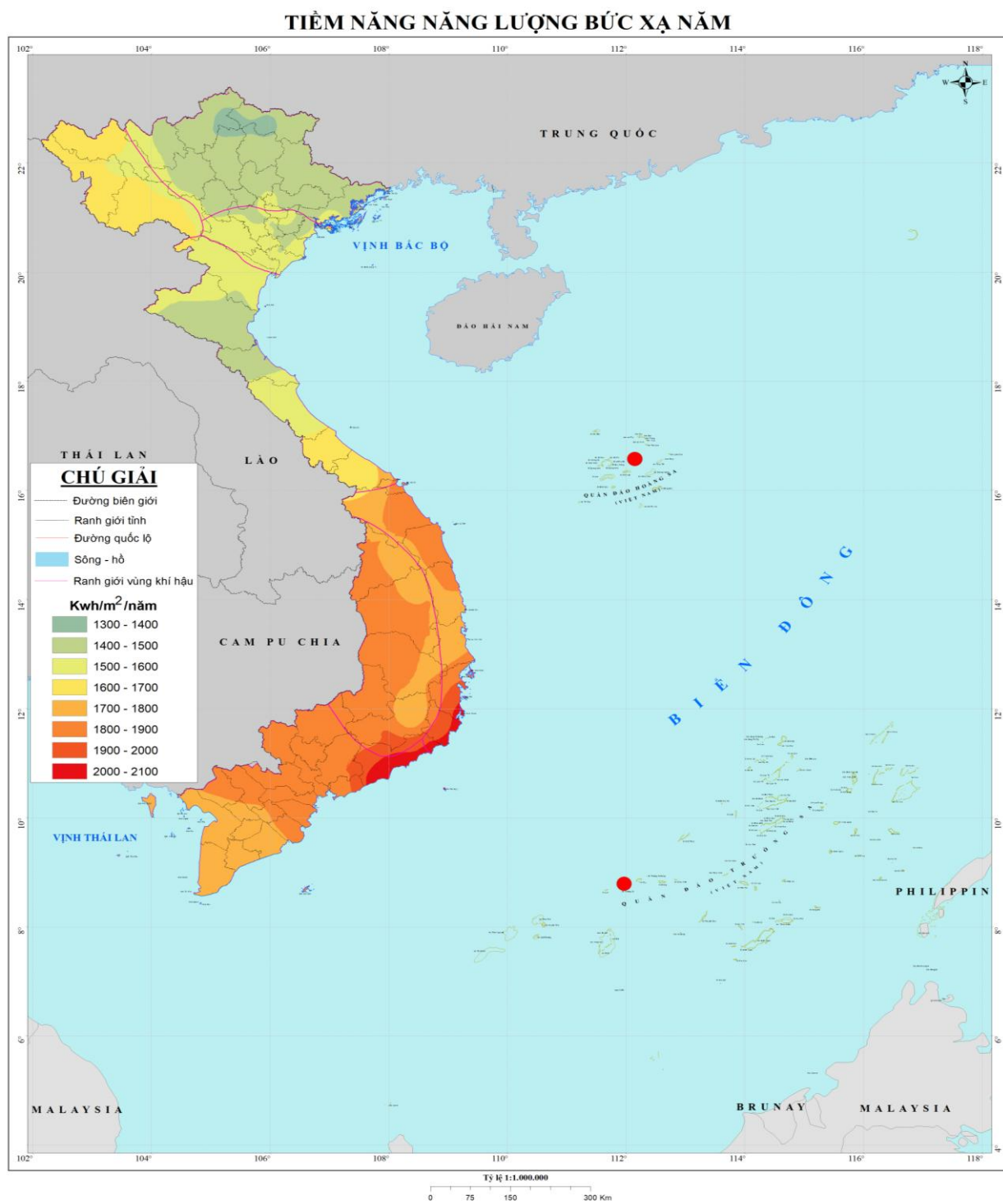
(4) Bắc Trung Bộ: Tiềm năng năng lượng bức xạ năm của khu vực Bắc Trung Bộ phổ biến từ 1.400 KWh/m²/năm đến 1.600,0 KWh/m²/năm (Hình 3.1). Tiềm năng năng lượng bức xạ năm tại khu vực Bắc Trung Bộ có sự biến động mạnh theo không gian; những điểm có tiềm năng thấp như Bái Thượng, Như Xuân và Cồn Cỏ; những điểm có tiềm năng cao hơn tập trung ở các tỉnh phía Nam của khu vực. Về diễn biến trong năm, tiềm năng năng lượng bức xạ có biến động mạnh, với giá trị dao động từ khoảng 3,0 KWh/m²/ngày trong các tháng mùa đông (tháng I, XII) đến khoảng trên 5,0 KWh/m²/ngày trong các tháng mùa hè (tháng V-VII). Trong các tháng mùa thu, tiềm năng năng lượng bức xạ ở khu vực Bắc Trung Bộ là tương đương ở khu vực Đông Bắc, thấp nhất cả nước. Nhìn chung, tiềm năng năng lượng bức xạ ở khu vực Bắc Trung Bộ là dồi dào vào các tháng mùa hè và thấp vào các tháng mùa đông (Bảng 3.2, Phụ lục 1, Hình 3.1).

(5) Nam Trung Bộ: Khu vực Nam Trung Bộ là khu vực có tiềm năng năng lượng bức xạ dồi dào, cao nhất cả nước và tương đối ổn định giữa các tháng trong năm, với giá trị trung bình khoảng 1968,1 KWh/m²/năm (Bảng 3.2), dao động từ 1.700 KWh/m²/năm (tại Trà My) đến 2080 KWh/m²/năm. Đối với Hoàng Sa tiềm năng bức xạ dao động 1877 KWh/m²/năm và Trường Sa dao động 2.000 KWh/m²/năm. Tiềm năng năng lượng bức xạ ở khu vực Nam Trung

Bộ tương đối ổn định trong năm; cao nhất vào các tháng mùa xuân và thấp nhất vào các tháng mùa thu; cao nhất ở khu vực phía Nam và thấp hơn ở phía Bắc. Tiềm năng năng lượng bức xạ dao động từ khoảng 4,5 KWh/m²/ngày (tháng I) đến 5,0-7,0 KWh/m²/ngày (tháng III-V). Nhìn chung, tiềm năng năng lượng bức xạ ở khu vực Nam Trung Bộ là dồi dào và tương đối ổn định giữa các tháng trong năm (Bảng 3.2, Phụ lục 1, Hình 3.1).

(6) Tây Nguyên: Tiềm năng năng lượng bức xạ ở khu vực Tây Nguyên là dồi dào và tương đối ổn định giữa các tháng trong năm, với giá trị trung bình khu vực vào khoảng 1862,8 KWh/m²/năm (Bảng 3.2). Sự phân hóa theo không gian về tiềm năng năng lượng bức xạ ở khu vực này là không lớn, dao động từ 1.700 KWh/m²/năm đến 1.900 KWh/m²/năm. Tiềm năng năng lượng bức xạ ở khu vực này cũng không biến động nhiều theo thời gian trong năm; thấp nhất vào các tháng mùa thu và cao nhất vào các tháng mùa xuân (Hình 3.2). Tiềm năng năng lượng bức xạ dao động từ khoảng 4,0-6,0 KWh/m²/ngày (tháng VIII-XII, I) đến 5,5-5,7 KWh/m²/ngày (tháng II-VI) (Bảng 3.2, Phụ lục 1, Hình 3.1).

(7) Nam Bộ: Tiềm năng năng lượng bức xạ ở khu vực Nam Bộ là dồi dào và tương đối ổn định giữa các tháng trong năm, với giá trị trung bình khu vực vào khoảng 1862,8 KWh/m²/năm (Bảng 3.2). Sự phân hóa theo không gian về tiềm năng năng lượng bức xạ ở khu vực này là không lớn, dao động từ 1.700 KWh/m²/năm (tại Cà Mau) đến 1.950 KWh/m²/năm. Tiềm năng năng lượng bức xạ ở khu vực này cũng không biến động nhiều theo thời gian trong năm; thấp nhất vào các tháng mùa thu và cao nhất vào các tháng mùa xuân (Hình 3.2). Tiềm năng năng lượng bức xạ dao động từ khoảng 4,7-4,8 KWh/m²/ngày (tháng VIII-XII, I) đến 4,5-6,3 KWh/m²/ngày (tháng II-VI) (Bảng 3.2, Phụ lục 1, Hình 3.1).



Hình 3.1. Tiềm năng năng lượng bức xạ năm từ trạm quan trắc (kWh/m²/năm)

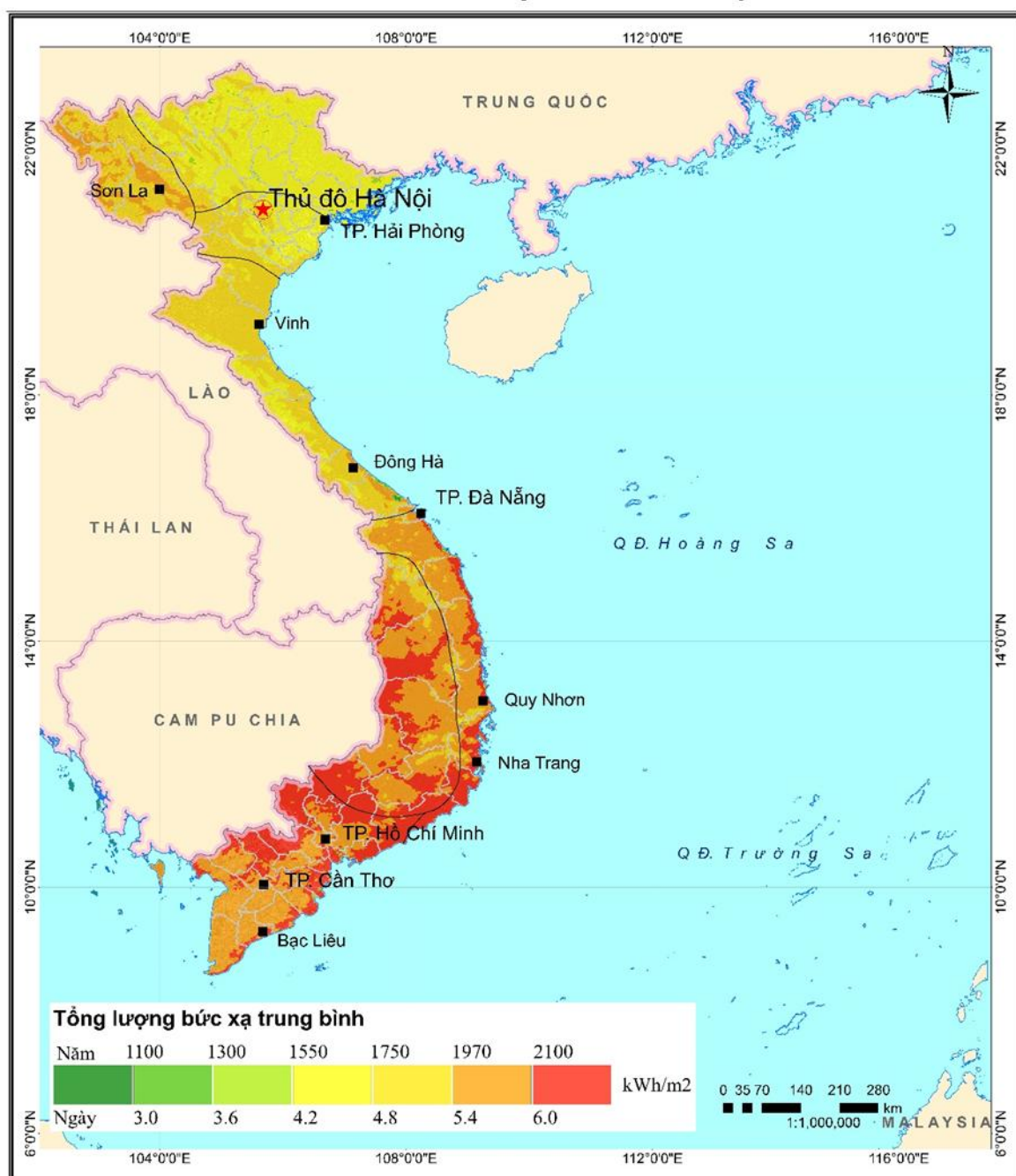
Bảng 3.2. Tiềm năng năng lượng bức xạ (Kwh/m² ngày) tại các vùng khí hậu, quần đảo Hoàng Sa và quần đảo Trường Sa
(Màu xanh: Khai thác không hiệu quả; màu trắng-đỏ nhạt: Khai thác hiệu quả; màu đỏ: Khai thác hiệu quả cao)

Vùng	Tiềm năng năng lượng bức xạ tháng											
	(Kwh/m ² ngày)											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Tây Bắc	3.3	3.9	4.5	5.0	5.3	5.0	5.0	4.9	4.7	4.1	3.6	3.3
Đông Bắc	2.7	3.1	3.5	4.2	5.0	4.8	4.9	4.8	4.6	3.8	3.3	2.8
Đồng Bằng Bắc Bộ	2.8	3.0	3.4	4.3	5.2	5.1	5.1	4.9	4.7	4.1	3.5	3.0
Bắc Trung Bộ	3.0	3.4	3.9	4.6	5.3	5.2	5.2	4.9	4.7	4.0	3.3	3.0
Nam Trung Bộ	4.5	5.5	6.0	6.2	5.9	5.3	5.6	5.3	5.1	5.0	5.0	5.3
Tây Nguyên	4.7	5.6	5.7	5.7	5.5	5.0	5.2	4.7	4.8	4.7	4.8	5.0
Nam Bộ	4.8	5.7	5.9	5.8	5.3	5.0	5.0	4.8	4.7	4.7	4.5	5.2
Hoàng Sa	4.3	5.0	5.7	6.1	6.0	5.7	5.7	5.5	5.2	4.5	4.2	3.8
Trường Sa	4.8	5.8	6.3	6.3	6.0	5.7	5.5	5.5	5.2	5.1	4.9	4.4

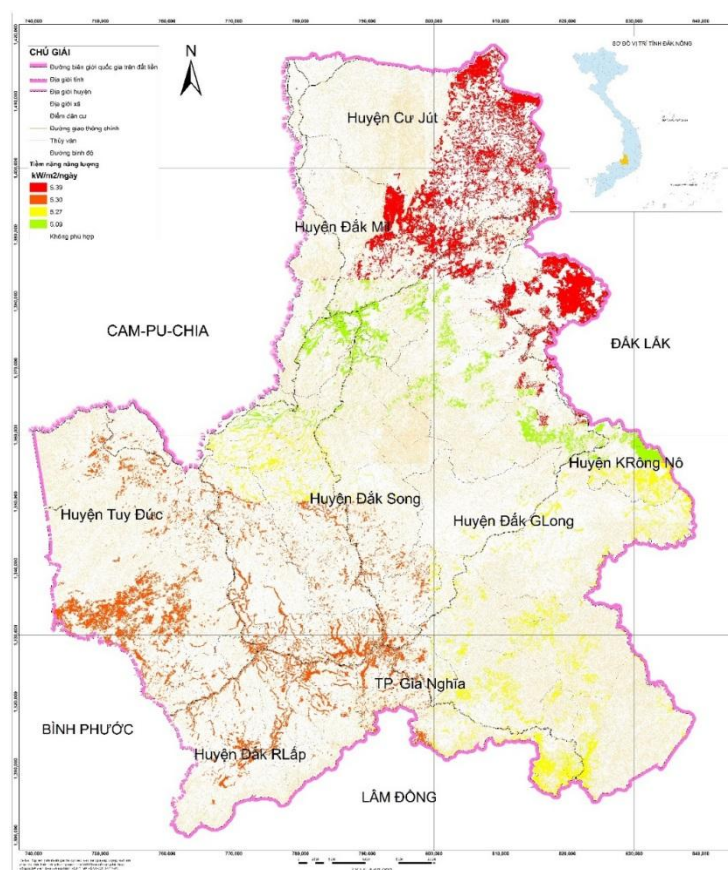
Hình 3.2 trình bày kết quả tính toán tiềm năng năng lượng bức xạ từ vệ tinh Himawari-8 (2016-2021). Nhìn chung, số liệu ước tính từ vệ tinh cũng cho thấy sự phân hóa rõ nét là thấp hơn ở miền Bắc và cao hơn ở miền Nam. Trong đó, trị số tiềm năng năng lượng bức xạ năm ở miền bắc phổ biến là thấp hơn $1700 \text{ kWh/m}^2/\text{năm}$; cao hơn $1700 \text{ kWh/m}^2/\text{năm}$ ở miền Nam và cao nhất ở ven biển Nam Trung Bộ-Bà Rịa Vũng Tàu.

Ưu điểm rõ ràng của phương pháp tính toán theo thông tin viễn thám là kết quả tính toán tiềm năng năng lượng bức xạ được chi tiết hóa theo không gian. Đây là điểm mạnh rõ ràng của thông tin viễn thám khi áp dụng tính toán chi tiết cho các địa phương, đặc biệt là các địa phương khuyết thiếu về số liệu quan trắc.

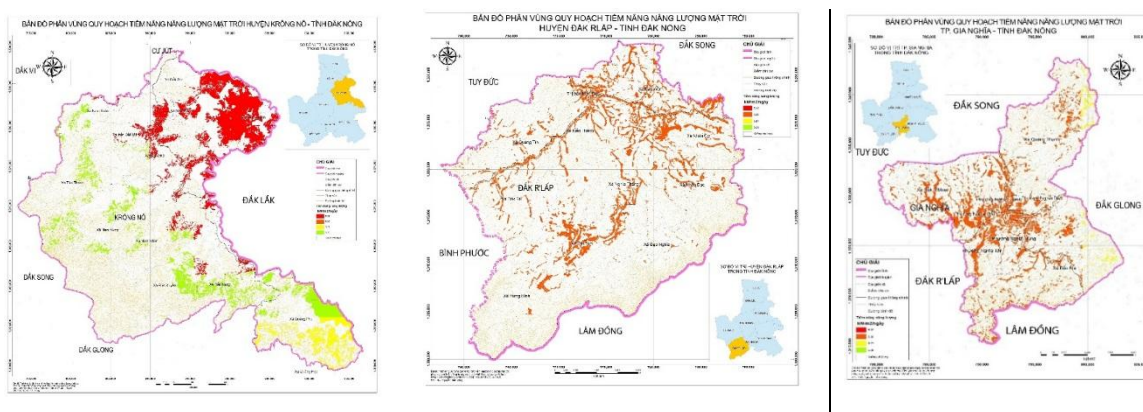
Sử dụng ưu điểm dữ liệu về bức xạ phân giải cao từ vệ tinh, kết hợp với các nhóm tiêu chí địa lý gồm sử dụng đất, địa hình, tai biến thiên nhiên có thể lập các bản đồ phân vùng quy hoạch tiềm năng phát triển NTMT. Phân vùng quy hoạch NLMT thử nghiệm cho tỉnh Đắk Nông (tỷ lệ 1:50.000) và các huyện (1:25.000) được trình bày trên Hình 3.3 và Hình 3.4. Các bản đồ phân vùng tiềm năng năng lượng bức xạ cho toàn tỉnh Đắk Nông và Thành phố Gia Nghĩa, Huyện Cư Jút, Huyện Đắk Glong, Huyện Đắk Mil, Huyện Đắk R'Lấp, Huyện Đắk Song, Huyện Krông Nô, Huyện Tuy Đức đã được thành lập theo đúng các quy chuẩn bản đồ hiện có của Việt Nam. Kết quả phân vùng cho thấy tỉnh Đắk Nông được phân làm bốn vùng tiềm năng NLMT, với các khoảng giá trị bức xạ trung bình từ 5,09 đến 5,39 $\text{kW/m}^2/\text{ngày}$. Việc lựa chọn các khoảng giá trị phân vùng dạng số là để giúp cho người dùng sử dụng được số liệu bức xạ mặt trời trong việc lựa chọn các công nghệ điện mặt trời phù hợp mục đích sử dụng. Tiềm năng phát triển năng lượng mặt trời cao nhất ở đông bắc tỉnh Đắk Nông thuộc các huyện Cư Jút và Đắk Mil, sau đó ở một số khu vực phía Tây Nam của tỉnh thuộc các huyện Tuy Đức, Đắk Song, Đắk RLấp, và thành phố Gia Nghĩa.



Hình 3.2. Kết quả tính tổng lượng bức xạ ngang GHI trung bình ngày theo 4 mùa (Đơn vị kWh/m²)



Hình 3.3. Bản đồ phân vùng quy hoạch tiềm năng phát triển NLMT tỉnh Đắk Nông được thu nhỏ từ tỉ lệ 1:50000



Hình 3.4. Bản đồ phân vùng tiềm năng phát triển NLMT cấp huyện tỉnh Đắk Nông được thu nhỏ từ tỉ lệ 1:25000

3.2. Đánh giá tiềm năng năng lượng gió

3.2.1. Đánh giá tiềm năng năng lượng gió trên đất liền

Các kết quả chính được đưa ra tại Phụ lục 5, các bản đồ về phân bố hướng gió, tốc độ gió và tiềm năng năng lượng gió trung bình từng tháng và trung bình cả năm (Hình 3.5) cho giai đoạn 1990-2020 từ dữ liệu lưới ERA5 kết hợp bổ

sung toàn bộ dữ liệu quan trắc bề mặt của Việt Nam tại các mực khai thác 50 m, 100 m, 150 m và 200 m.

Phân tích chi tiết hơn các đặc điểm về phân bố gió và năng lượng tiềm năng từ gió cho từng vùng tiêu khí hậu được đưa ra trong Bảng 3.3 và Bảng 3.4 tương ứng cho mực 50 m và 100 m. Đối với mực 50 m, về mặt trung bình gồm 2 khu vực trọng tâm. Khu vực I gồm các vùng Đồng Bằng Bắc bộ, ven biển Bắc Trung Bộ và miền Đông Nam Bộ. Tại khu vực Đồng Bằng Bắc Bộ, gió trung bình đạt khoảng 3-5 m/s, riêng đối với khu vực ven biển tỉnh Nam Định và Ninh Bình có thể đạt 5-7 m/s (từ tháng 1-7 và từ tháng 10-12). Có thể thấy tại khu vực Đồng Bằng Bắc Bộ có tiềm năng khai thác nhưng mức độ không liên tục so với các khu vực khác. Đối với khu vực ven biển Bắc Trung Bộ, gió trung bình khu vực thuộc tỉnh Hà Tĩnh giáp tỉnh Quảng Bình đạt 5-7 m/s và tập trung trong các tháng 6, 7, 11, 12. Tại khu vực Hà Tĩnh, các tháng 11 và 12 là thời điểm có khả năng khai thác nhất về tiềm năng năng lượng gió. Đối với khu vực Nam bộ nói chung và riêng cho khu vực Đông Nam Bộ, gió trung bình đạt khoảng 5-7 m/s (tập trung vào các tháng 1-4, 11, 12). Khả năng khai thác tiềm năng năng lượng gió ở khu vực Đông Nam Bộ tập trung vào các tháng 1-3, 11 và 12. Một lưu ý đối về tiềm năng với khu vực phía Bắc là tại các độ cao 100m và 150m, các bản đồ tiềm năng năng lượng gió cho thấy hoàn toàn có những địa điểm khai thác tốt (ví dụ khu vực Lạng sơn với công suất $> 200 \text{ W/m}^2$ ở các độ cao trên 100 m). Do đó cần thiết mở rộng đánh giá chi tiết hơn đối với khu vực miền Bắc để làm căn cứ triển khai các hệ thống Tuốc-bin khai thác tiềm năng năng lượng gió ở độ cao 100 m-120 m.

Khu vực II gồm Trung Trung Bộ, Tây Nguyên và Nam Trung Bộ. Vùng Trung Trung Bộ có gió trung bình đạt 5-7 m/s (tập trung trong các tháng 6, 7, 8, 11 và 12 tại Quảng Bình, Quảng Trị) và tại các tháng 6, 7, 8, 11, 12 (Quảng Bình, Quảng Trị, ven biển tỉnh Quảng Nam) có tiềm năng khai thác mạnh nhất. Khu vực Nam Trung Bộ có gió trung bình đạt 5-7 m/s tập trung ở ven biển và là vùng có tiềm năng khai thác rất lớn. Đối với khu vực Tây Nguyên, gió trung bình đạt 5-7 m/s (phổ biến ở các tháng 1, 2, 6, 7, 8, 11, 12) và có tiềm năng khai thác hầu hết các tháng trong năm. Lưu ý riêng đối với đặc điểm gió mạnh ($> 7 \text{ m/s}$ - 8 m/s) cho khu vực Trung Trung Bộ (tập trung vào phía Tây tiếp giáp với Lào của khu vực Quảng Bình, Quảng Trị, Thừa Thiên Huế) liên quan đến chế độ gió phơn từ Lào đây là khu vực có diện tích hẹp nên có những ảnh hưởng lớn

trực tiếp của gió bão/áp thấp nhiệt đới. Chế độ gió mạnh tại khu vực Tây nguyên (Kon Tum, Gia Lai) liên quan trực tiếp đến độ cao nền lớn tại khu vực này và đặc điểm địa hình phức tạp tại khu vực này.

Xem xét ở mức khai thác hiệu dụng khoảng 100m, các khu vực trọng tâm trên đất liền với chế độ gió dồi dào cho tiềm năng năng lượng gió lớn tập trung vào khu vực Trung Trung bộ (Quảng Bình và Quảng Trị, trung bình khoảng 150-250 W/m²), Nam Trung Bộ (các tỉnh ven biển, 180-280 W/m²), Tây Nguyên (Kon Tum, Gia lai và Đắk Lắk, 200-300 W/m²). Ngoài ra là khu vực ven biển từ Thái Bình đến Thanh Hóa và miền Đông Nam Bộ (100-150 W/m²) nhưng điểm hạn chế là không thực sự có sự liên tục trong năm. Đối với khu vực Bắc Bộ là tại các độ cao trên 100m. Đối với việc khai thác ở các độ cao trên 150m-200m, các bản đồ tiềm năng năng lượng gió trên đất liền cho thấy khả năng khai thác được rất lớn, tuy nhiên cần xem xét về khả năng thi công, mức độ đáp ứng về mặt kỹ thuật và thiết lập các nhà máy khai thác ở những độ cao này.

Một số vị trí có tiềm năng rất lớn (> 500W/m²) như ở khu vực Gia lai, Komtum vào các tháng 7-12 liên quan trực tiếp bởi ảnh hưởng địa hình phức tạp tuy nhiên thực tế việc khai thác ở các khu vực này cần được khảo sát chi tiết hơn. Tham khảo thêm sản phẩm bản đồ dữ liệu tiềm năng khai thác năng lượng gió của Ngân hàng thế giới năm 2011 cũng cho thấy kết quả tương tự ở những khu vực có giá trị tiềm năng rất lớn này. Việc sử dụng thuần túy sản phẩm tái phân tích trên lưới sẽ không phản ánh được những thông tin liên quan đến các khu vực có các giá trị tiềm năng lớn, tuy nhiên việc kết hợp với dữ liệu quan trắc bề mặt bổ sung đã cho phép thể hiện được các khu vực có tiềm năng lớn nêu trên.

Bảng 3.3. Phân tích các đặc điểm về tốc độ, hướng gió và tiềm năng năng lượng ở độ cao 50 m

Khu vực	Tốc độ gió trung bình ở các tháng có tiềm năng cao nhất	Hướng gió trung bình	Các tháng có tiềm năng > 150 W/m ²	Khu vực trọng tâm > 220 W/m ²
Đông Bắc	3-5 m/s	Đông Bắc và Đông Đông Bắc	Từ tháng 1 – tháng 12	Khu vực ven biển tỉnh Quảng Ninh

Khu vực	Tốc độ gió trung bình ở các tháng có tiềm năng cao nhất	Hướng gió trung bình	Các tháng có tiềm năng > 150 W/m²	Khu vực trọng tâm > 220 W/m²
Việt Bắc	2-3 m/s	Đông	Không có	Không có
Tây Bắc	2-3 m/s	Đông Nam	Không có	Không có
Đồng Bằng Bắc Bộ	3-5m/s, riêng khu vực ven biển tỉnh Nam Định, Ninh Bình là 5-7m/s (từ tháng 1-7 và từ tháng 10-12)	Đông Nam (tháng 4-8) Đông Đông Bắc, Đông Bắc (tháng 1, 2 9-12)	Từ tháng 1 – tháng 12, tập trung ở khu vực ven biển tỉnh Nam Định, Ninh Bình	Khu vực ven biển tỉnh Nam Định, Ninh Bình (tháng 5 – 7)
Bắc Trung Bộ	3-5m/s, riêng khu vực thuộc tỉnh Hà Tĩnh giáp tỉnh Quảng Bình là 5-7m/s trong các tháng 6, 7, 11, 12	Tây Nam (tháng 6,7), Đông Bắc và Đông Đông Bắc (tháng 1,2, 9-12)	Tháng 11, 12 (ven biển Hà Tĩnh)	Không có
Trung Trung Bộ	5-7 m/s (tập trung trong các tháng 6-8, 11 và 12 tại Quảng Bình, Quảng Trị)	Tây Nam (tháng 6-8), Đông Bắc (tháng 11-12)	Tháng 6-8, 11, 12 (Quảng Bình, Quảng Trị, ven biển tỉnh Quảng Nam)	Quảng Bình (tháng 6), ven biển khu vực giáp danh giữa Quảng Bình, Quảng Trị và ven biển tỉnh Quảng Nam (tháng 11, 12)
Nam Trung Bộ	5-7 m/s (tháng 11, 12)	Bắc Đông Bắc	Tháng 1, 2, 6, 7, 8, 11, 12 (ven biển Nam Trung Bộ, khu vực giáp danh tỉnh Bình Định và Gia Lai trong tháng 6-8)	- Khu vực giáp danh tỉnh Bình Định và Gia Lai trong tháng 6-8 - Ven biển Nam Trung Bộ trong

Khu vực	Tốc độ gió trung bình ở các tháng có tiềm năng cao nhất	Hướng gió trung bình	Các tháng có tiềm năng > 150 W/m ²	Khu vực trọng tâm > 220 W/m ²
				tháng 1, 2, 11, 12
Tây Nguyên	5-7 m/s (tháng 1, 2, 6, 7, 8, 11, 12)	- Đông, Đông Bắc (tháng 1, 2, 11, 12) - Tây Nam (tháng 6, 7, 8)	Tháng 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12 (tháng 5-9 chỉ có trên khu vực tỉnh Gia Lai)	Phía Tây tỉnh Gia Lai trong các tháng 6, 7, 8
Nam Bộ	5-7 m/s (tháng 1-4, 11, 12 – ven biển Đông Nam Bộ, tháng 6-9 – Phú Quốc và ven biển Tây Nam Bộ)	- Tây Nam (tháng 6-9) - Đông (tháng 1,2) - Đông Đông Nam (tháng 3,4) - Đông Đông Bắc (tháng 11, 12)	Quanh năm, trừ tháng 4. Tháng 1-3, 11, 12: ven biển Đông Nam Bộ. Tháng 5-10: Phú Quốc và ven biển Nam Trung Bộ	Phú Quốc, đạt cực đại vào các tháng từ 7-9

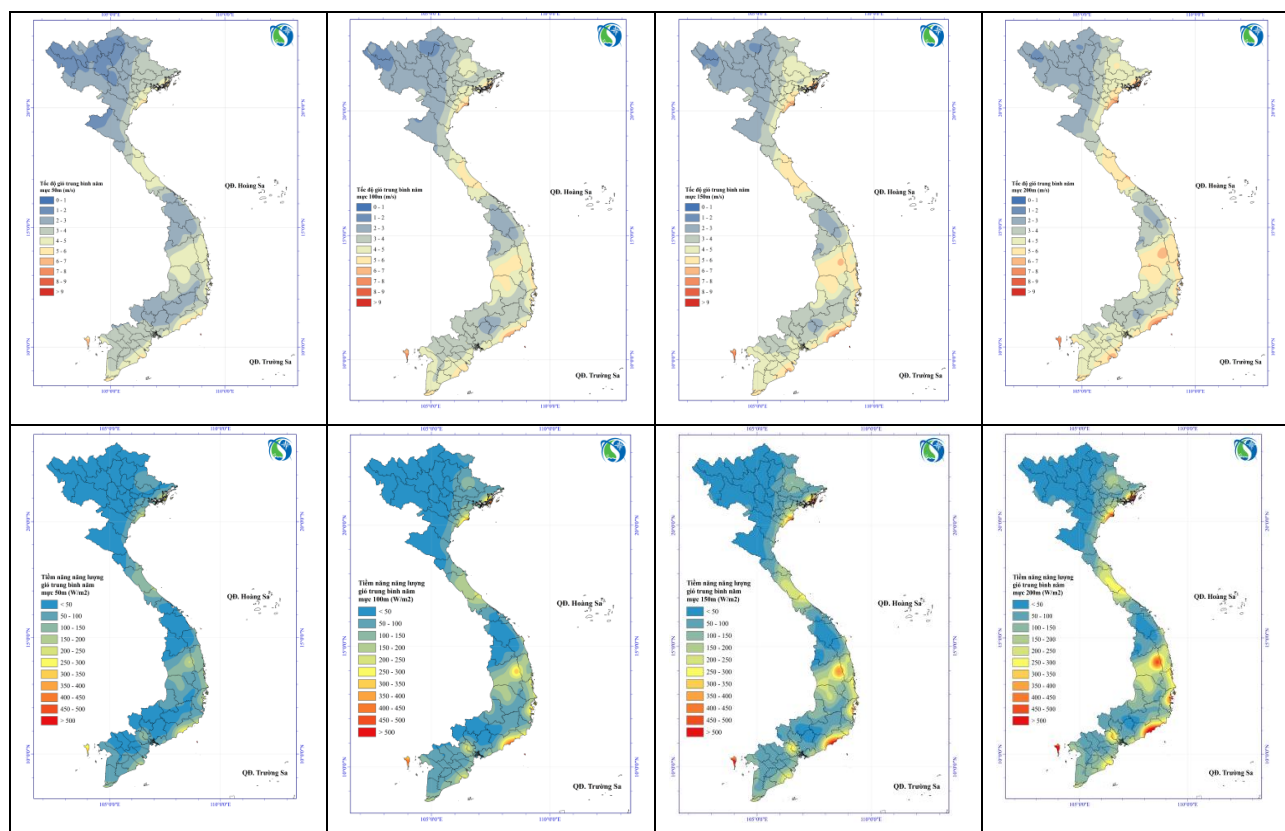
Bảng 3.4. Phân tích các đặc điểm về tốc độ, hướng gió và tiềm năng năng lượng ở độ cao 100 m

Khu vực	Tốc độ gió trung bình ở các tháng có tiềm năng cao nhất	Hướng gió trung bình	Các tháng có tiềm năng > 150 W/m ²	Khu vực trọng tâm > 220 W/m ²
Đông Bắc	5-7 m/s (tháng 3,4: Lạng Sơn; tháng 11, 12 (Lạng Sơn, ven biển Quảng Ninh, Hải Phòng)	- Đông Đông Nam, Đông Nam (tháng 3,4) - Đông Bắc (tháng 11, 12)	Từ tháng 1 – tháng 12	Khu vực ven biển tỉnh Quảng Ninh, Lạng Sơn (tháng 1-4, 11, 12)
Việt Bắc	2-3 m/s	Đông	Không có	Không có

Khu vực	Tốc độ gió trung bình ở các tháng có tiềm năng cao nhất	Hướng gió trung bình	Các tháng có tiềm năng > 150 W/m²	Khu vực trọng tâm > 220 W/m²
Tây Bắc	3-5m/s	Đông, Đông Nam (các tháng trong năm, tại khu vực giáp danh Sơn La và Thanh Hóa, riêng tháng 2 thì tại Sơn La, khu vực giáp danh Điện Biên, Sơn La, giáp Danh Lai Châu, Lào Cai và Trung Quốc.)	Không có	Không có
Đồng Bằng Bắc Bộ	3-5m/s, riêng khu vực ven biển tỉnh Nam Định, Ninh Bình là 5-7m/s (từ tháng 1-7 và từ tháng 10-12)	Đông Nam (tháng 4-8) Đông Đông Bắc, Đông Bắc (tháng 1, 2 9-12)	Từ tháng 1 – tháng 12, tập trung ở khu vực ven biển tỉnh Thái Bình, Nam Định, Ninh Bình	khu vực ven biển tỉnh Nam Định, Ninh Bình (mạnh nhất trong tháng 5 – 7; tháng 1-4,8,10-12 yếu hơn và chỉ tồn tại ở ven biển Nam Định)
Bắc Trung Bộ	3-5m/s, đều năm ở ven biển; riêng khu vực thuộc tỉnh Hà Tĩnh giáp tỉnh Quảng Bình là 5-7m/s trong các tháng 6, 7,8, 11, 12	Tây Nam (tháng 6,7), Đông Bắc và Đông Đông Bắc (tháng 1,2, 9-12)	Tháng 7, 8, 10, 11, 12 (ven biển Hà Tĩnh)	Không có

Khu vực	Tốc độ gió trung bình ở các tháng có tiềm năng cao nhất	Hướng gió trung bình	Các tháng có tiềm năng > 150 W/m²	Khu vực trọng tâm > 220 W/m²
Trung Trung Bộ	7-10 m/s (tập trung trong các tháng 6, 7 tại Quảng Bình)	Tây Nam	- Tháng 1-3, 9, 10 (ven biển Quảng Bình, Quảng Trị, ven biển Quảng Nam) - Tháng 6-8, 11, 12 (Quảng Bình, Quảng Trị, ven biển tỉnh Quảng Nam)	Quảng Bình (tháng 6-8), ven biển khu vực giáp danh giữa Quảng Bình, Quảng Trị và ven biển tỉnh Quảng Nam (tháng 11, 12)
Nam Trung Bộ	7-10 m/s (tháng 11, 12)	Bắc Đông Bắc	Tháng 1, 2, 6, 7, 8, 11, 12 (ven biển Nam Trung Bộ, khu vực giáp danh tỉnh Bình Định và Gia Lai trong tháng 6-8)	- khu vực giáp danh tỉnh Bình Định và Gia Lai trong tháng 6-8 - ven biển Nam Trung Bộ trong tháng 1, 2, 11, 12
Tây Nguyên	5-7 m/s (tháng 1, 2, 6, 7, 8, 11, 12) 7-10 m/s (tại giáp danh Gia Lai, Bình Định trong tháng 7, 8; giáp danh Gia Lai, Đắk Lắk trong tháng 1, 12)	- Đông, Đông Bắc (tháng 1, 2, 11, 12) - Tây Nam (tháng 6, 7, 8)	Tháng 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, tập trung chủ yếu tại Gia Lai, Đắk Lắk, tháng 1 và tháng 12 thêm Đắk Nông, khu vực giáp danh Lâm Đồng, Đắk Nông và Đắk Lắk (tháng 5-9 chỉ có trên khu vực tỉnh Gia Lai)	- Tháng 1, 2 tại Gia Lai, Đắk Lắk, tháng 12 có thêm tỉnh Đắk Nông. - Phía Tây tỉnh Gia Lai trong các tháng 6, 7, 8
Nam Bộ	5-7 m/s (tháng 1-4, 11, 12 –	- Tây Nam (tháng 6-9)	Quanh năm - Tháng 1-3, 11, 12:	Phú Quốc, đạt cực đại

Khu vực	Tốc độ gió trung bình ở các tháng có tiềm năng cao nhất	Hướng gió trung bình	Các tháng có tiềm năng > 150 W/m ²	Khu vực trọng tâm > 220 W/m ²
	ven biển Đông Nam Bộ, 6-9 – Phú Quốc và ven biển Tây Nam Bộ) 7-10 m/s (ven biển Trà Vinh, Sóc Trăng trong tháng 1, 2)	- Đông (tháng 1,2) - Đông Đông Nam (tháng 3,4) - Đông Đông Bắc (tháng 11, 12)	ven biển Đông Nam Bộ, Tp. Hồ Chí Minh, Long An. - Tháng 5-10: Phú Quốc, Tp. Hồ Chí Minh, Long An, ven biển Kiên Giang với vịnh Thái Lan (tháng 6,7,8,9). - Tháng 4: ven biển Trà Vinh, Sóc Trăng	vào các tháng từ 6-9. - Tháng 10-12: Phú Quốc - Tháng 1, 2, 3, 12 ven biển Trà Vinh, Sóc Trăng.



Hình 3.5. Bản đồ phân bố gió (hàng 1) và năng lượng tiềm năng từ gió (hàng 2) tại các mực 50, 100, 150 và 200m trung bình năm cho giai đoạn 1990-2020

3.2.2. Đánh giá tiềm năng năng lượng gió trên khu vực Biển Đông

3.2.2.1. Phân bố tiềm năng năng lượng gió

a) Phân bố mật độ năng lượng gió

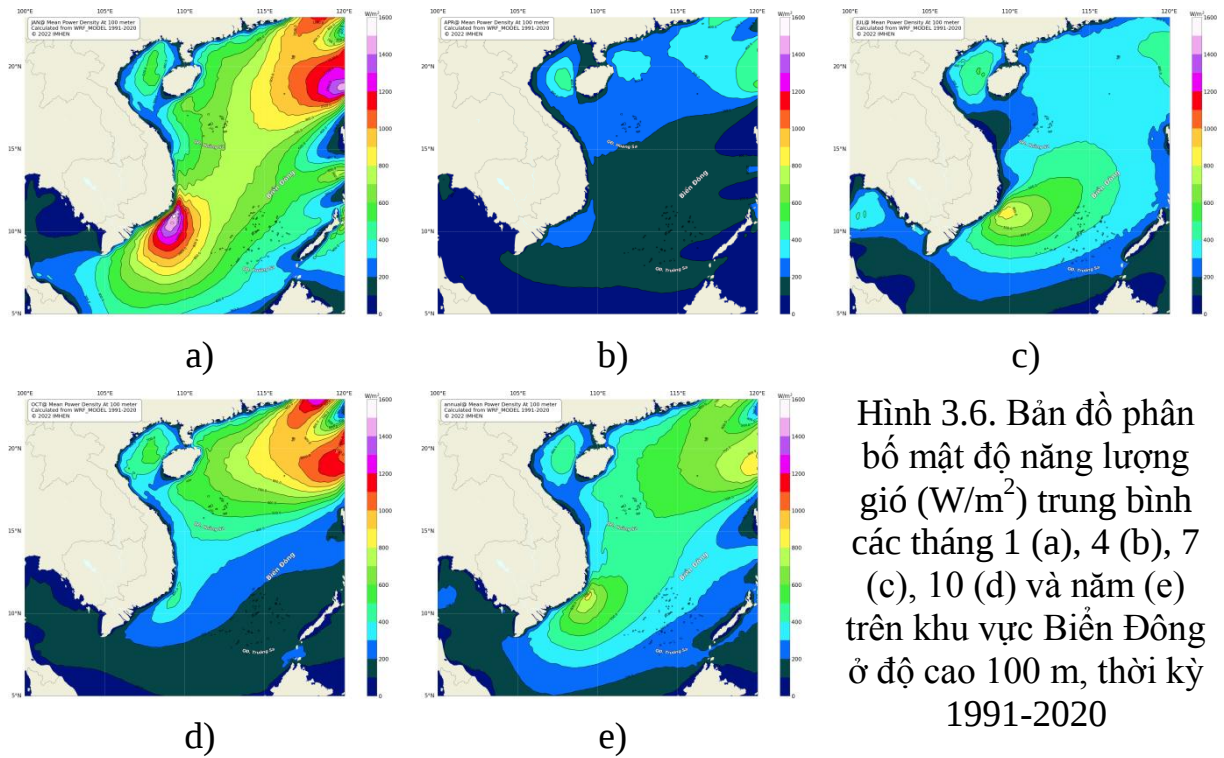
Mật độ năng lượng gió trung bình năm (E) ở độ cao 100 m (Hình 3.6) phổ biến từ 200 đến 900 W/m² ở ngoài khơi, trong đó lớn nhất ở Bắc Biển Đông (400-900 W/m²). Ở ven bờ, phân bố E cao nhất có xu hướng lệch hơn về phía nam, ở vùng biển Bình Định-Ninh Thuận (phổ biến từ 300-600 W/m²) và Bình Thuận-Cà Mau (phổ biến từ 300-700 W/m²); trong đó tập trung cao nhất ở khu vực ven bờ Ninh Thuận đến Bà Rịa-Vũng Tàu với E phổ biến từ 600-800 W/m².

Về quy mô mùa, mật độ năng lượng (NL) gió trên toàn Biển Đông ở độ cao 100 m (Hình 3.6) lớn nhất trong tháng 1 (300-1300W/m²) và thấp nhất trong tháng 4 (dưới 100-500W/m²). 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, 10 với giá trị lần lượt là 300-1500W/m² và 300-1200W/m²; thấp nhất trong các tháng 4, 7 với giá trị lần lượt là dưới 100-500W/m² và 100-400W/m². Ở các vùng biển ven bờ phía nam (Bình Định trở vào, Giữa và Nam Biển Đông), mật độ năng lượng gió lớn nhất trong tháng chính đông và thấp hơn trong các tháng chính hè, chuyển tiếp với mật độ năng lượng gió trung bình các tháng 1, 4, 7, 10 lần lượt là: từ 300-1500W/m², dưới 100-300W/m², 200-900W/m² và 100-400W/m².

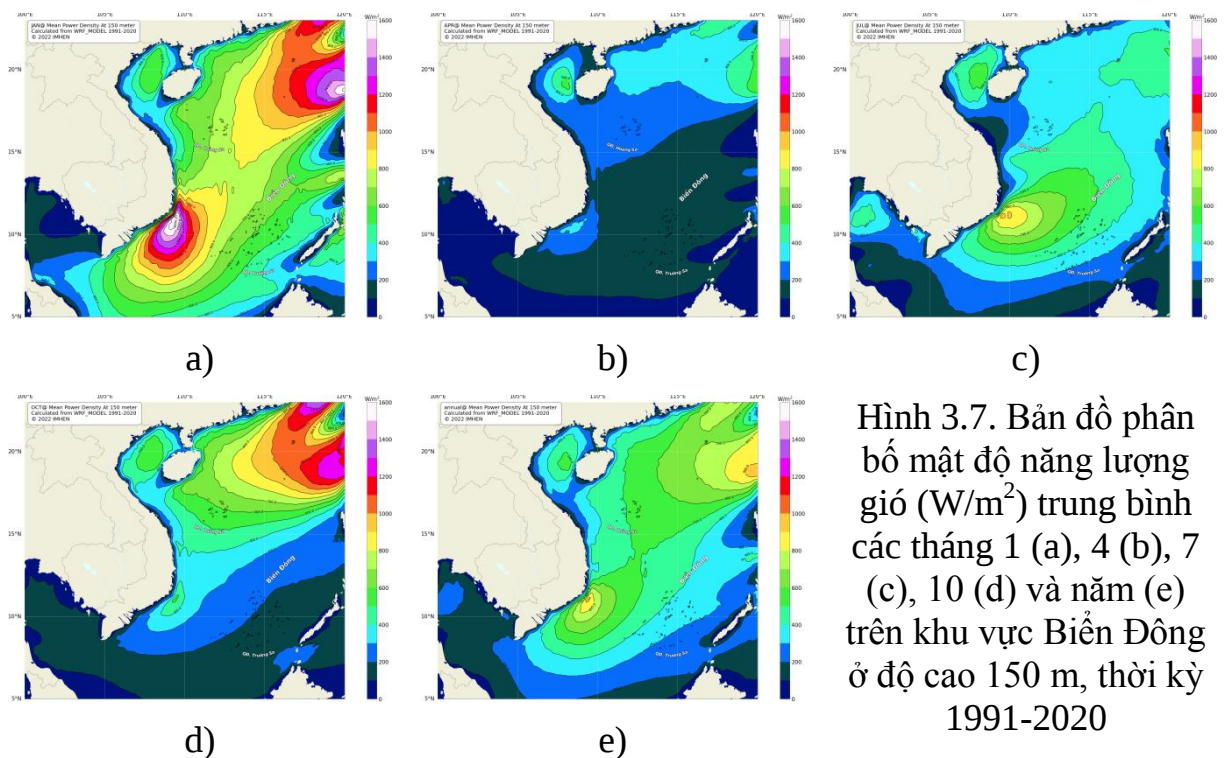
Ở độ cao 150 m, mật độ NL gió trung bình năm dao động từ 200-900 W/m²; trong đó phổ biến từ 500-900 W/m² ở Bắc Biển Đông, từ 300-900W/m² ở vùng biển Bình Định- Ninh Thuận, 300-800 W/m² ở vùng biển Bình Thuận-Cà Mau và từ 500-900 W/m² ở vùng giao Ninh Thuận đến Bà Rịa-Vũng Tàu (Hình 3.7e). Đây cũng là các vùng biển thể hiện rõ quy luật mật độ NL gió tăng theo độ cao. Ở quy mô mùa, mật độ NL gió trong các tháng ở độ cao 150m xấp xỉ 100m trên hầu hết Biển Đông (Hình 3.7). Sự chênh lệch giá trị trong các tháng khoảng 100 W/m² so với 100 m chỉ xuất hiện ở vùng biển Ninh Thuận đến Bà Rịa-Vũng Tàu trong các tháng 1, 7 và Bắc Biển Đông trong các tháng 1, 10.

Ở độ cao 200 m, mật độ NL gió trung bình năm xấp xỉ mức 150m trên hầu hết các vùng biển. Điểm khác biệt rõ nhất là vùng biển Bắc Biển Đông xuất hiện khoảng giá trị 1000-1100 W/m² nhưng cũng chỉ ở phần biển rất nhỏ (Hình 3.8e). Ở quy mô tháng (Hình 3.8), mật độ NL gió ở độ cao 200 m cao hơn so với

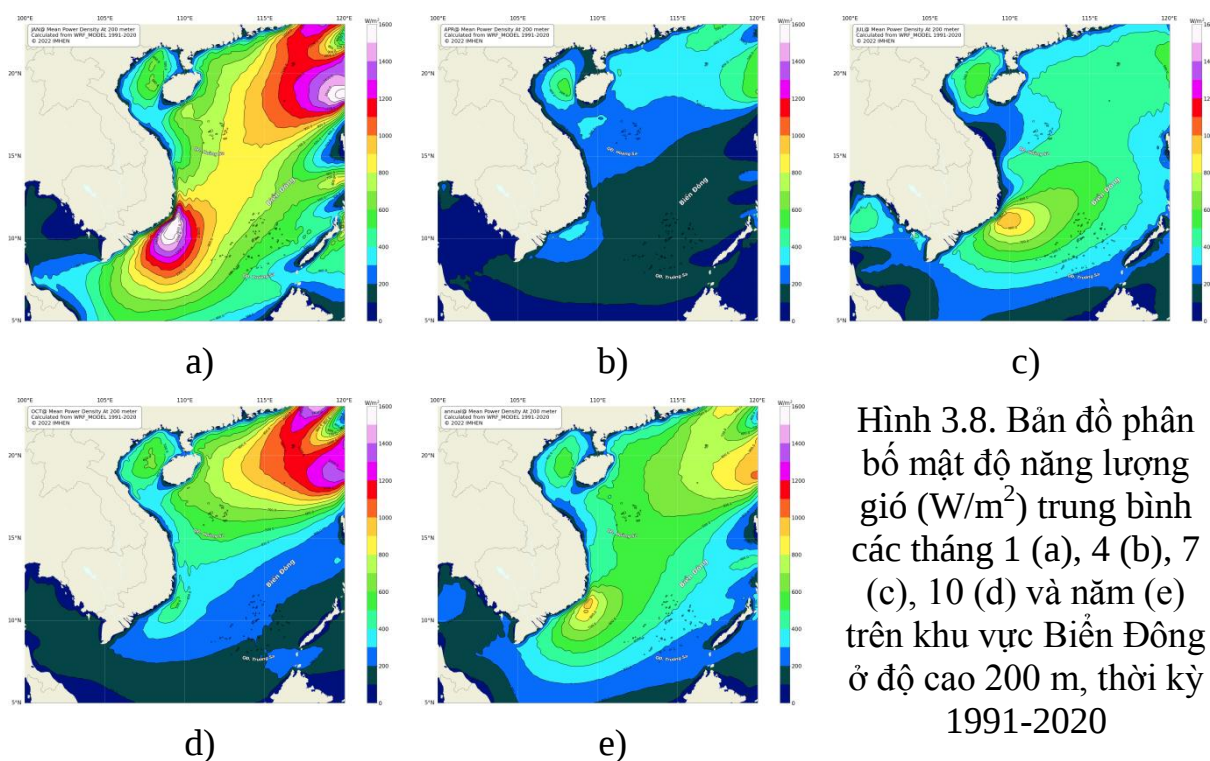
mức 150 m khoảng 100 W/m^2 ở các vùng biển vịnh Bắc Bộ trong tất cả các tháng, Bắc Biển Đông trong tháng 1, 10; Giữa Biển Đông trong tháng 1 và Ninh Thuận đến Bà Rịa-Vũng Tàu trong tháng 1, 7.



Hình 3.6. Bản đồ phân bố mật độ năng lượng gió (W/m^2) trung bình các tháng 1 (a), 4 (b), 7 (c), 10 (d) và năm (e) trên khu vực Biển Đông ở độ cao 100 m, thời kỳ 1991-2020



Hình 3.7. Bản đồ phân bố mật độ năng lượng gió (W/m^2) trung bình các tháng 1 (a), 4 (b), 7 (c), 10 (d) và năm (e) trên khu vực Biển Đông ở độ cao 150 m, thời kỳ 1991-2020

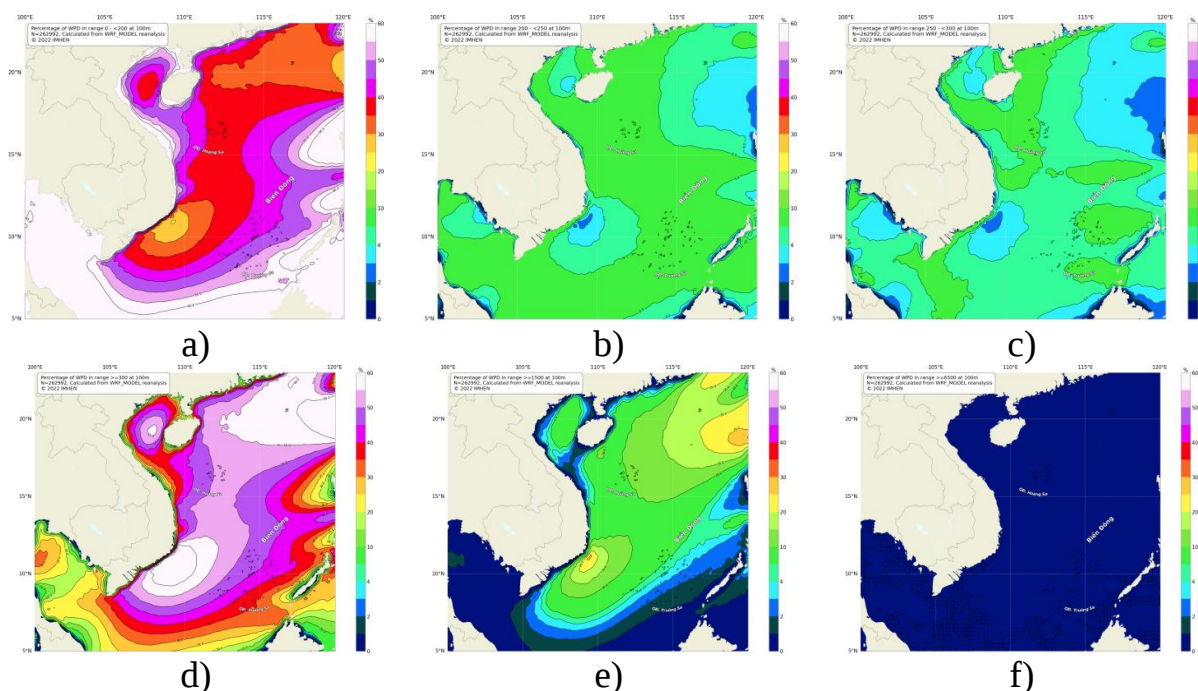


Hình 3.8. Bản đồ phân bố mật độ năng lượng gió (W/m^2) trung bình các tháng 1 (a), 4 (b), 7 (c), 10 (d) và năm (e) trên khu vực Biển Đông ở độ cao 200 m, thời kỳ 1991-2020

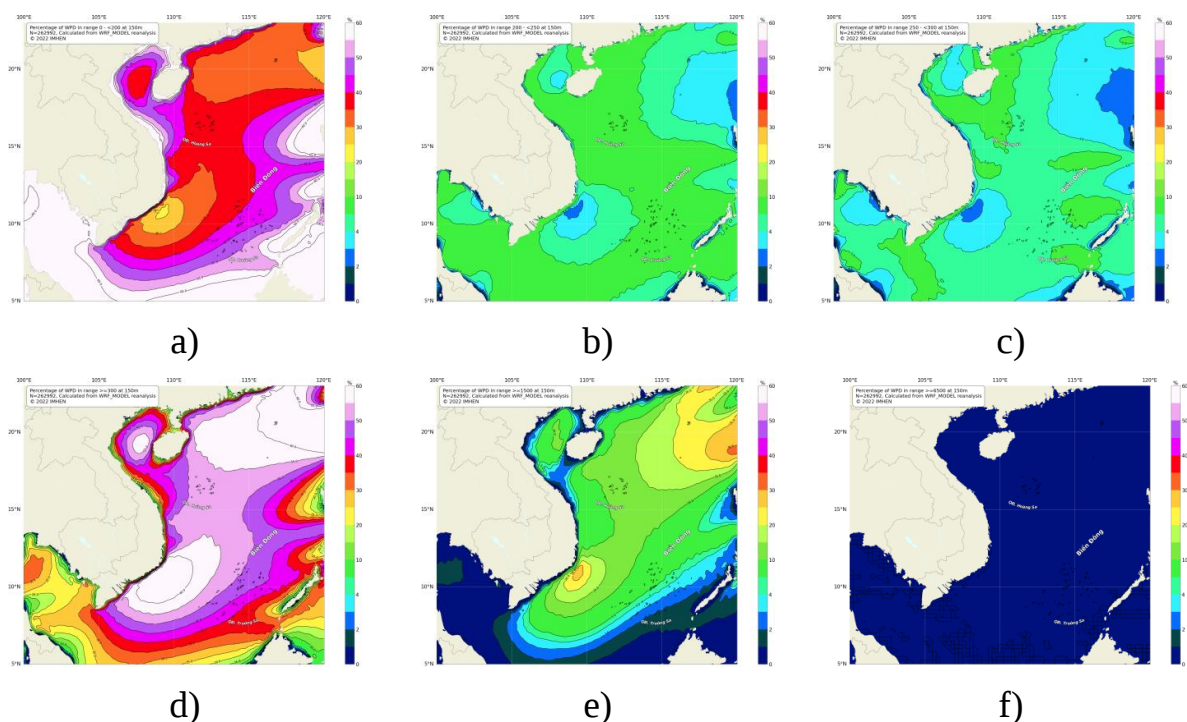
b) Phân bố tần suất các ngưỡng mật độ năng lượng gió

Ở độ cao 100 m (Hình 3.9), trên khu vực Biển Đông, tần suất xuất hiện thấp nhất đối với các ngưỡng mật độ năng lượng gió từ $200\text{--}300 \text{ W/m}^2$ (dưới 10%); cao hơn đối với ngưỡng dưới 200 W/m^2 (25-60%) và từ 300 W/m^2 trở lên (20-60%). Tần suất xuất hiện ngưỡng mật độ năng lượng từ 1500 W/m^2 trở lên từ 1 đến 25%; trong đó mật độ năng lượng từ 6500 W/m^2 xảy ra với tần suất rất thấp dưới 1%. Có thể thấy, tần suất xuất hiện các ngưỡng mật độ năng lượng từ 300 W/m^2 và từ 1500 W/m^2 trở lên cao nhất ở Bắc Biển Đông và vùng biển ven bờ từ Bình Định-Cà Mau; ngược lại tần suất xuất hiện ngưỡng mật độ dưới 200 W/m^2 thấp nhất ở các vùng biển này.

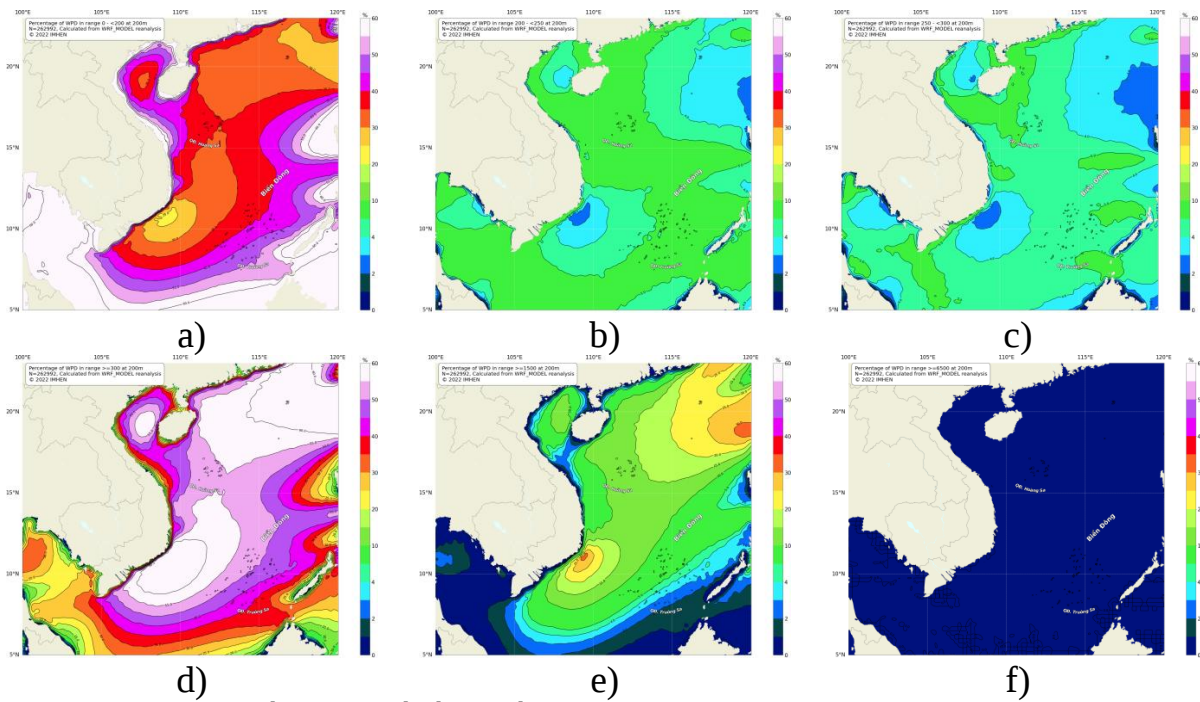
Ở độ cao 150 m (Hình 3.10), phân bố không gian và giá trị tần suất ở các ngưỡng mật độ năng lượng gió tương tự và xấp xỉ mức 100 m. Điểm khác biệt rõ nhất chỉ được nhìn thấy ở khu vực Bắc Biển Đông và vùng biển ven bờ từ Bình Thuận-Cà Mau với ngưỡng mật độ từ 1500 W/m^2 trở lên, giá trị tần suất cao hơn không nhiều (khoảng 5%) so với mức 100 m.



Hình 3.9. Bản đồ phân bố tần suất các ngưỡng mật độ năng lượng gió nhỏ hơn 200 W/m^2 (a), $200\text{-}250 \text{ W/m}^2$ (b), $250\text{-}300 \text{ W/m}^2$ (c), $\geq 300 \text{ W/m}^2$ (d), $\geq 1500 \text{ W/m}^2$ (e) và $\geq 6500 \text{ W/m}^2$ (f) trên khu vực Biển Đông ở độ cao 100 m, thời kỳ 1991-2020



Hình 3.10. Bản đồ phân bố tần suất các ngưỡng mật độ năng lượng gió nhỏ hơn 200 W/m^2 (a), $200\text{-}250 \text{ W/m}^2$ (b), $250\text{-}300 \text{ W/m}^2$ (c), $\geq 300 \text{ W/m}^2$ (d), $\geq 1500 \text{ W/m}^2$ (e) và $\geq 6500 \text{ W/m}^2$ (f) trên khu vực Biển Đông ở độ cao 150 m, thời kỳ 1991-2020



Hình 3.11. Bản đồ phân bố tần suất các ngưỡng mật độ năng lượng gió nhỏ hơn 200 W/m^2 (a), $200\text{-}250 \text{ W/m}^2$ (b), $250\text{-}300 \text{ W/m}^2$ (c), $\geq 300 \text{ W/m}^2$ (d), $\geq 1500 \text{ W/m}^2$ (e) và $\geq 6500 \text{ W/m}^2$ (f) trên khu vực Biển Đông ở độ cao 200 m, thời kỳ 1991-2020

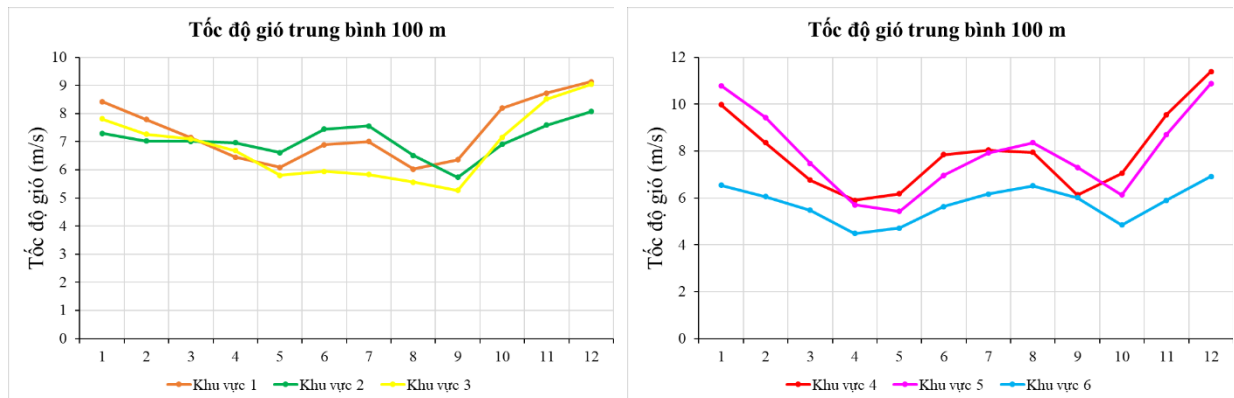
Ở độ cao 200 m (Hình 3.11), tần suất các ngưỡng mật độ năng lượng gió có phân bố không gian cũng như sự tập trung mật độ cao nhất, thấp nhất tương tự các mực 10, 100, 150 m. Tuy nhiên, về giá trị tần suất các ngưỡng trên các vùng biển xấp xỉ mực 150 m.

3.2.2.2. Mật độ năng lượng gió trên các vùng biển Việt Nam

Biến trình tốc độ gió trung bình gió các vùng ven bờ Việt Nam ở độ cao 100 m cho trên Hình 3.12. Ở các vùng biển ven bờ phía Bắc (Bắc vịnh Bắc Bộ, Nam vịnh Bắc Bộ, Quảng Trị- Quảng Ngãi), tốc độ gió lớn nhất trong các tháng mùa lạnh (từ tháng 10 đến tháng 2) với tốc độ gió đạt ở mức xấp xỉ 7 đến 9 m/s, cũng là ngưỡng tương ứng với tiềm năng gió đạt mức khá đến rất tốt. Từ tháng 3 đến tháng 9, tốc độ gió giữa các tháng không có sự chênh lệch nhiều, dao động ở mức thấp ($< 6 \text{ m/s}$) đến trung bình (6- 7 m/s), thấp nhất ở vùng biển từ Quảng Trị- Quảng Ngãi. Ở các vùng biển ven bờ phía Nam (Bình Định- Ninh Thuận, Bình Thuận- Cà Mau, Cà Mau- Kiên Giang), tốc độ gió phân hoá theo mùa, biến trình gió có 2 đỉnh và 2 đáy nhưng chỉ có đỉnh tháng 12-1 đặc biệt rõ và đáy tháng 4-5 tương đối rõ. Tốc độ gió trong các tháng chính mùa hoạt động của gió mùa đông bắc cũng như tây nam lớn hơn rõ rệt so với các tháng chuyển tiếp; trong đó gió mùa đông mạnh hơn so với gió mùa hè. Ở các vùng biển Bình Định-Ninh Thuận và Bình Thuận- Cà Mau, tốc độ gió lớn nhất trong các tháng

11 đến tháng 2 với giá trị dao động từ trên 8m/s đến xấp xỉ trên dưới 11 m/s (tương ứng với ngưỡng tiềm năng gió đạt ở mức tốt đến rất tốt), tiếp theo là từ tháng 6- 8 đối với vùng biển Bình Định-Ninh Thuận (từ trên 7 đến dưới 8 m/s) và từ tháng 6-9 đối với vùng biển Bình Thuận-Cà Mau (từ dưới 7 đến 8m/s); trong các tháng 4-5, tốc độ gió dưới ngưỡng 6 m/s. Ở vùng biển Cà Mau đến Kiên Giang, tốc độ gió trong hầu hết các tháng (trừ tháng 12) dưới ngưỡng 7 m/s, cho thấy khu vực này tiềm năng gió khá thấp, chỉ đạt ở mức thấp đến trung bình. Phân bố của biến trình gió ở vùng biển này tương tự vùng biển Bình Thuận – Cà Mau, lớn nhất trong các tháng 11-2 và tháng 6-9, thấp nhất vào các tháng chuyển tiếp (tháng 4-5 và 10); tuy nhiên không có sự chênh lệch nhiều về giá trị giữa 2 mùa gió mang năng lượng nhiều nhất.

So sánh biến trình tốc độ gió giữa 6 vùng biển ven bờ Việt Nam có thể thấy, tiềm năng gió lớn nhất ở các vùng biển Bình Định-Ninh Thuận, Bình Thuận-Cà Mau, trong đó thời gian khai thác năng lượng gió tốt nhất là từ tháng 11-2 với tốc độ gió trung bình đều trên 8m/s. Tiềm năng gió khá thấp ở vùng biển Cà Mau-Kiên Giang với tốc độ gió trong hầu hết các tháng chỉ đạt ở mức thấp đến trung bình (< 7 m/s). Ở các vùng biển phía Bắc, tốc độ gió trên 8m/s chỉ xảy ra trong tháng 10 đến tháng 1 ở vùng biển Bắc vịnh Bắc Bộ và tháng 11-12 ở vùng biển Nam vịnh Bắc Bộ và Quảng Trị-Quảng Ngãi.

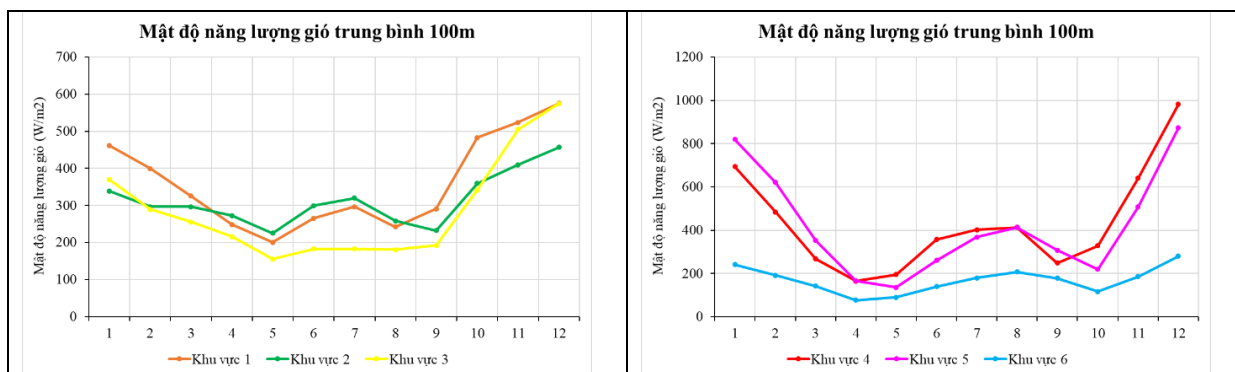


Hình 3.12. Biến trình tốc độ gió (m/s) ở độ cao 100 m trên các vùng biển ven bờ Việt Nam: Bắc vịnh Bắc Bộ (khu vực 1), Nam vịnh Bắc Bộ (khu vực 2), vùng biển từ Quảng Trị đến Quảng Ngãi (khu vực 3), vùng biển từ Bình Định đến Ninh Thuận (khu vực 4), vùng biển từ Bình Thuận đến Cà Mau (khu vực 5), vùng biển từ Cà Mau đến Kiên Giang (khu vực 6)

Biến trình mật độ năng lượng gió ở độ cao 100 m (Hình 3.13) có sự phù hợp với biến trình tốc độ gió, thời điểm tốc độ gió lớn thì cũng cho mật độ năng lượng gió lớn. Mật độ năng lượng gió trung bình năm lớn nhất ở các vùng Bình Định-Ninh Thuận, Bình Thuận-Cà Mau, thấp nhất ở vùng biển từ Cà Mau-Kiên Giang.

Ở các vùng biển ven bờ phía Bắc, mật độ năng lượng gió từ xấp xỉ 300 đến xấp xỉ 600 W/m^2 từ tháng 2 đến tháng 10 và phổ biến dưới 300 W/m^2 từ tháng 3 đến tháng 9.

Ở các vùng biển ven bờ phía Nam, mật độ năng lượng gió cũng có sự phân hoá theo mùa. Mật độ năng lượng trong các tháng chính mùa lớn hơn rõ rệt so với các tháng chuyển tiếp; trong đó mật độ năng lượng trong mùa đông lớn hơn nhiều so với trong mùa hè ở các vùng biển Bình Định- Ninh Thuận, Bình Thuận-Cà Mau và không có sự chênh lệch nhiều giữa 2 mùa ở vùng biển Cà Mau- Kiên Giang. Ở các vùng biển Bình Định-Ninh Thuận và Bình Thuận- Cà Mau, mật độ năng lượng gió lớn nhất trong các tháng 11 đến tháng 2 với giá trị phổ biến trên 700 W/m^2 ; trong đó có thể đạt xấp xỉ 800 đến trên 1000 W/m^2 trong tháng 12- 2 ở vùng biển Bình Định-Ninh Thuận và từ trên 800 đến gần xấp xỉ 900 W/m^2 ở vùng biển Bình Thuận-Cà Mau. Mật độ năng lượng từ $200-400 \text{ W/m}^2$ từ tháng 6- 10 và dưới 200 W/m^2 trong tháng 3-4. Ở vùng biển Cà Mau đến Kiên Giang, mật độ năng lượng trong hầu hết các tháng (trừ tháng 12) dưới ngưỡng 300 W/m^2 , thậm chí dưới 100 W/m^2 trong các tháng chuyển tiếp (tháng 4-5). Tương tự vùng biển, Bình Thuận- Cà Mau, mật độ năng lượng lớn nhất trong các tháng 11-2 và tháng 6-9, nhưng không có sự chênh lệch nhiều về giá trị giữa 2 mùa gió mang năng lượng nhiều nhất này.



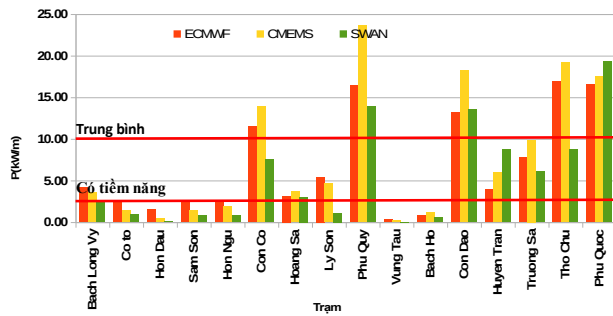
Hình 3.13. Biểu trình mật độ năng lượng gió (W/m^2) ở độ cao 100 m trên các vùng biển ven bờ Việt Nam: Bắc vịnh Bắc Bộ (khu vực 1), Nam vịnh Bắc Bộ (khu vực 2), vùng biển từ Quảng Trị đến Quảng Ngãi (khu vực 3), vùng biển từ Bình Định đến Ninh Thuận (khu vực 4), vùng biển từ Bình Thuận đến Cà Mau (khu vực 5), vùng biển từ Cà Mau đến Kiên Giang (khu vực 6)

3.3. Kết quả đánh giá tiềm năng năng lượng sóng

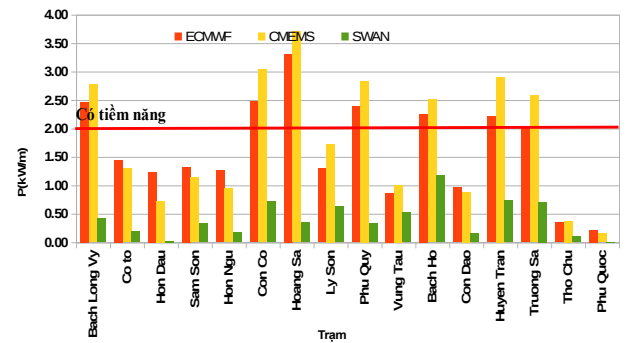
a) Tiềm năng năng lượng sóng từ các nguồn số liệu khác nhau

Trên hình 3.14 so sánh kết quả tính toán tiềm năng năng lượng sóng tại một số trạm hải văn ven bờ, đảo của Việt Nam từ nguồn số liệu tái phân tích của ECMWF, CMEMS và kết quả mô phỏng từ mô hình SWAN theo trường gió tái phân tích của ECMWF. Kết quả cho thấy có sự chênh lệch tương đối lớn của trị số tiềm năng năng lượng sóng giữa các nguồn số liệu khác nhau. Kết quả tính từ mô hình SWAN tại một số trạm ven bờ thấp hơn có thể do độ phân giải của mô

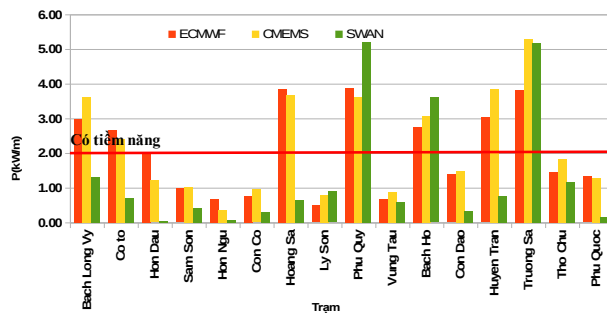
hình cao (4 km), trong khi đó các nguồn số liệu tái phân tích có độ phân giải thô nên vị trí trích xuất có thể xa tọa độ của trạm. Ngoài ra, mô hình SWAN sử dụng trường gió trung bình tái phân tích của ECMWF, thường thấp hơn so với thực tế dẫn tới kết quả tính độ cao sóng thấp hơn so với thực tế. Chính vì vậy, trong Báo cáo này sẽ sử dụng số liệu tái phân tích của ECMWF với độ phân giải 0,125 độ để đánh giá tiềm năng năng lượng sóng do bởi đây là nguồn số liệu đủ dài và có độ phân giải tốt hơn so với số liệu của CMEMS (0,2 độ). Các kết quả tính toán từ nguồn số liệu khác được sử dụng để so sánh, tham khảo.



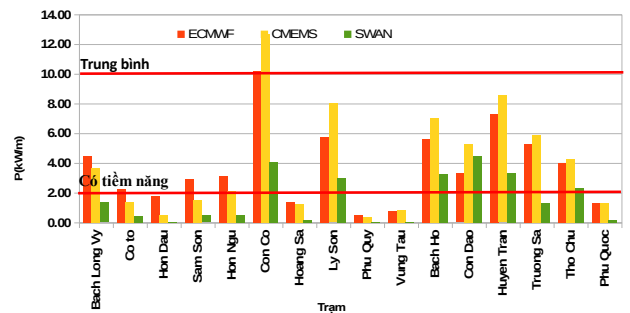
(a) Tháng 1



(c) Tháng 4



(c) Tháng 7



(c) Tháng 10

Hình 3.14. Mật độ năng lượng sóng trung bình tháng tại các trạm hải văn

b) Tiềm năng năng lượng sóng trung bình tại các vùng biển

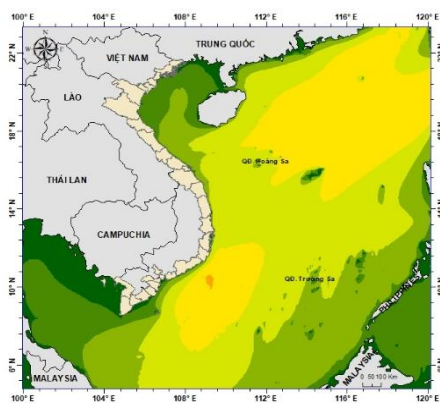
Những kết quả phân tích đánh giá tiềm năng năng lượng sóng trên Biển Đông và một số vị trí dưới đây sử dụng chuỗi số liệu sóng tái phân tích của ECMWF trong 20 năm.

- Phân bố tiềm năng năng lượng sóng

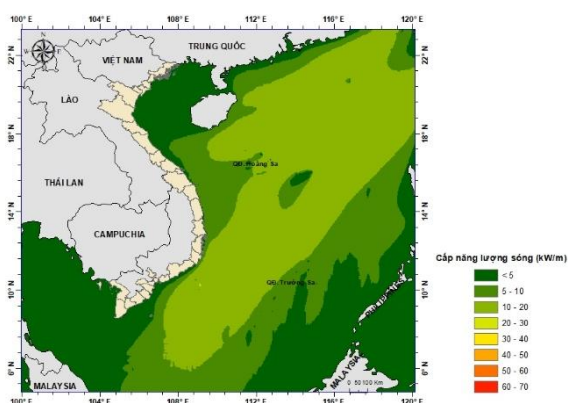
Trên Hình 3.15 a-i là phân bố trường sóng trung bình và năng lượng sóng trung bình nhiều năm trong các tháng đặc trưng theo mùa tính từ chuỗi số liệu 20 năm tại các tháng 1, 4, 7, 10, 12 và trung bình trong các mùa Xuân, Hạ, Thu, Đông và trung bình nhiều năm. Kết quả cho thấy trong các tháng đặc trưng theo mùa (tháng 1, 4, 7, 10), tháng 1 và tháng 10 có tiềm năng năng lượng sóng cao

nhất. Trong tháng 1, do tác động của gió mùa Đông Bắc, trên khu vực Bắc Biển Đông trường sóng trung bình cao phổ biến 2,0-2,5 m. vùng biển ngoài khơi ven biển Nam Trung Bộ độ cao sóng trung bình phổ biến 2,0-2,5 m, có khu vực tới 3,0 m. Vùng có năng lượng sóng lớn kéo dài từ khu vực Đông Bắc Biển Đông tới ngoài khơi Nam Trung Bộ với năng lượng sóng dao động 20-30 kW/m. Trong tháng 7, do ảnh hưởng của gió mùa Tây Nam, vùng sóng lớn tập trung trên khu vực biển ngoài khơi Nam Trung Bộ với độ cao phổ biến 1,5-2,5 m, năng lượng sóng trung bình 15-25 kW/m. Trong tháng 4, gần như toàn bộ các khu vực trên Biển Đông độ cao sóng trung bình nhỏ dưới 1,0 m nên tiềm năng năng lượng sóng trong tháng này thấp nhất trong năm. Đáng lưu ý tháng 12 là tháng có tiềm năng năng lượng sóng trung bình lớn nhất trong năm do có nhiều đợt không khí lạnh hoạt động nhất, năng lượng sóng tại một số vị trí trên khu vực ngoài khơi Nam Trung Bộ trong tháng này lên tới 60 kW/m. Nếu xét theo trung bình mùa, năng lượng sóng trung bình mùa Đông cao nhất và vùng có năng lượng sóng lớn tập trung theo dải từ khu vực Đông Bắc Biển Đông kéo dài tới khu vực biển ngoài khơi Nam Trung Bộ với độ lớn trung bình khoảng 30 kW/m. Mùa hạ và mùa thu có tiềm năng năng lượng sóng thấp hơn mùa xuân. Với trung bình năm, ngoại trừ khu vực ngoài khơi vịnh Thái Lan, khu vực ven biển từ Cà Mau tới Kiên Giang và khu vực Quảng Ninh đến Hà Tĩnh, các khu vực khác đều có tiềm năng năng lượng sóng ở mức “có tiềm năng”.

Như vậy, có thể thấy trong mùa Đông, gió mùa Đông Bắc tạo ra vùng năng lượng sóng khá mạnh trên vùng Bắc và Giữa Biển Đông, nhất là trong tháng 12 với tiềm năng năng lượng lớn nhất tới 70 kW/m. Vùng bờ biển miền Trung Việt Nam từ Đà Nẵng đến Ninh Thuận năng lượng sóng lớn nhất khoảng 50-60 kW, do vậy đây sẽ là khoảng thời gian khai thác năng lượng sóng thuận lợi nhất trong năm. Trong mùa gió Tây Nam, do tốc độ gió không mạnh bằng gió mùa Đông Bắc và khu vực ảnh hưởng cũng hạn chế ở vùng phía nam Biển Đông nên tiềm năng năng lượng sóng về cơ bản không lớn. Năng lượng sóng cực đại trong mùa này chỉ đạt khoảng 25 kW/m xảy ra vào các tháng 7 và tập trung tại khu vực ngoài khơi phía đông nam Biển Đông.

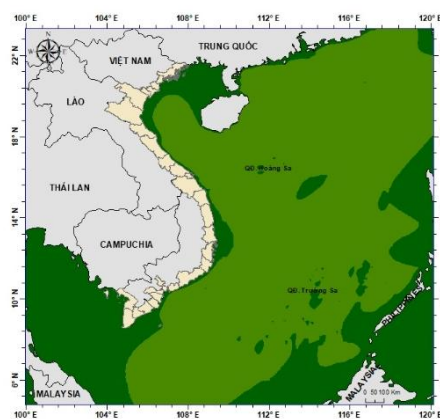


(a) Độ cao sóng

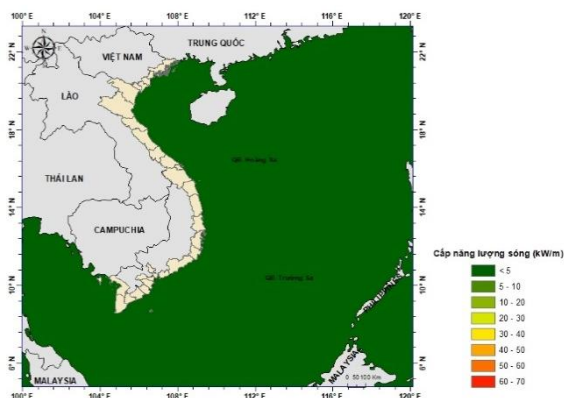


(b) Năng lượng sóng

(1) Tháng 1

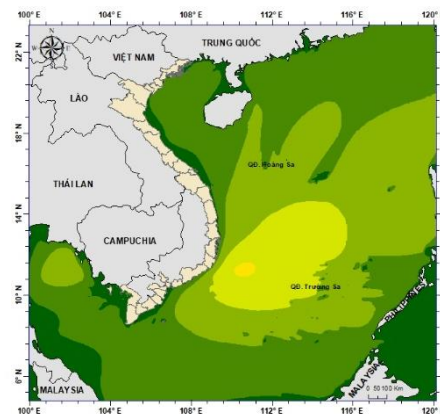


(a) Độ cao sóng

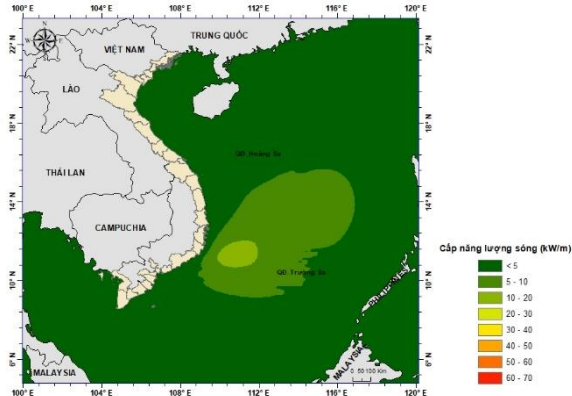


(b) Năng lượng sóng

(2) Tháng 4

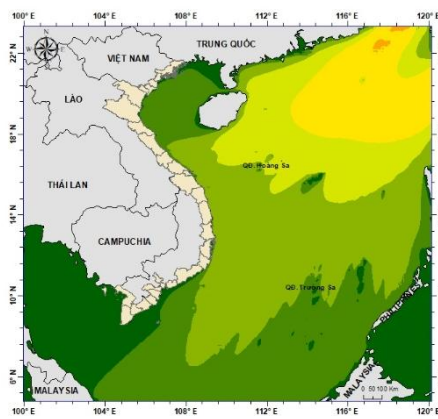


(a) Độ cao sóng

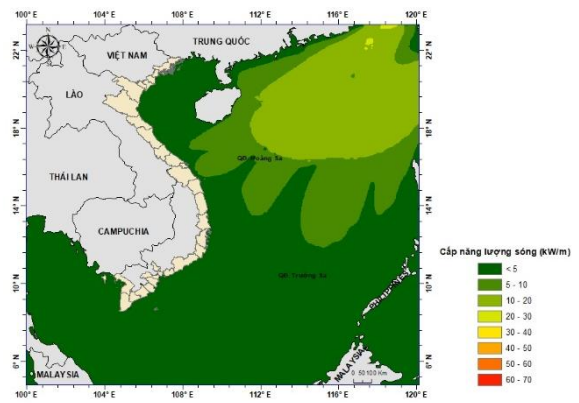


(b) Năng lượng sóng

(3) Tháng 7



(a) Độ cao sóng



(b) Năng lượng sóng

(4) Tháng 10

Hình 3.15. Phân bố trường độ cao sóng trung bình (a) và mật độ sóng trung bình (b) trên Biển Đông và ven bờ Việt Nam

Từ kết quả tính toán, phân tích ở trên, phân bố tiềm năng năng lượng sóng cho từng khu vực được định lượng như sau:

- *Bắc vịnh Bắc Bộ:*

Vùng biển Bắc vịnh Bắc Bộ có mức tiềm năng năng lượng sóng tương đối thấp. Xét giá trị trung bình năm mật độ năng lượng sóng chỉ đạt cao nhất dưới 4 kW/m. Mật độ năng lượng sóng lớn nhất trong tháng 12 đạt 7 kW/m.

- *Nam vịnh Bắc Bộ:*

Vùng biển Nam vịnh Bắc Bộ có mức tiềm năng năng lượng sóng lớn hơn so với khu vực Bắc vịnh Bắc Bộ, nhưng vẫn thuộc những vùng có mật độ năng lượng sóng thấp, trung bình năm là dưới 6 kW/m và đạt ở mức có tiềm năng. Trong tháng 12 mật độ năng lượng sóng lớn nhất đến 15 kW/m.

- *Vùng biển từ Quảng Trị đến Quảng Ngãi:*

Ở vùng biển này, mật độ năng lượng sóng trung bình năm đạt giá trị khoảng 6-8 kW/m, đây là mức có tiềm năng. Riêng tháng 12, mật độ năng lượng sóng đạt khoảng 12-20 kW/m, đây là ngưỡng có tiềm năng mức trung bình.

- *Vùng biển từ Bình Định đến Ninh Thuận:*

Ở vùng biển Nam Trung Bộ này có mức tiềm năng năng lượng sóng mức xấp xỉ trung bình, giá trị trung bình năm trong khoảng 8-10 kW/m. Trong đó dải mật độ năng lượng 8 kW/m trải dài dọc bờ biển, còn khu vực có mức tiềm năng

lớn hơn 10 kW/m nằm ở ngoài khơi. Trong tháng 12 dải năng lượng có tiềm năng cao từ 10-30 kW/m, trong đó vùng có mức cao nhất trên 30 kW/m nằm ngoài khơi các tỉnh Ninh Thuận - Bình Thuận.

- Vùng biển từ Bình Thuận đến Cà Mau:

Vùng biển này có mật độ năng lượng sóng trung bình năm thấp khoảng từ 2-6 kW/m tương đương với khu vực vịnh Bắc Bộ. Trong tháng 12, mật độ năng lượng từ 5 - 20 kW/m và có xu thế tăng từ bờ ra khơi.

- Vùng biển từ Cà Mau đến Kiên Giang:

Đây là vùng biển có tiềm năng năng lượng sóng thấp nhất, với mật độ năng lượng sóng trung bình năm đạt dưới 2 kW/m. Mật độ năng lượng sóng cao nhất trong tháng 12 cũng chỉ đạt mức dưới 5 kW/m.

- Khu vực Bắc Biển Đông:

Khu vực này luôn có tiềm năng năng lượng sóng lớn nhất Biển Đông, với mật độ năng lượng sóng trung bình năm đạt khoảng 12-20 kW/m và đạt lớn nhất trong tháng 12 là khoảng 25-50 kW/m. Khu vực lớn nhất nằm ở eo Luzon.

- Khu vực Giữa Biển Đông:

Khu vực này có mức tiềm năng năng lượng sóng ở mức trung bình, với giá trị trung bình năm của mật độ năng lượng sóng khoảng 8-12 kW/m, trong đó vùng giá trị 10 kW/m chiếm ưu thế ở khu vực này. Trong tháng 12, mật độ năng lượng sóng lớn nhất khoảng 15-30 kW/m.

- Khu vực Nam Biển Đông:

Khu vực này có tiềm năng năng lượng sóng thấp nhất so với các khu vực Bắc và Giữa Biển Đông, mật độ năng lượng sóng trung bình năm trong khoảng 4-8 kW/m. Trong tháng 12 trường gió Đông Bắc tạo nên vùng có năng lượng sóng cao kéo dài xuống tận Nam Biển Đông nên khu vực này có mật độ năng lượng sóng trong khoảng 10 - 30 kW/m. Vùng có tiềm năng năng lượng sóng lớn nhất nằm ở gần bờ Việt Nam hơn.

- Khu vực vịnh Thái Lan:

Đây là khu vực có tiềm năng năng lượng sóng thấp nhất so với các khu vực Bắc, Giữa Biển và Nam Đông, mật độ năng lượng sóng trung bình năm trong ở dưới mức “có tiềm năng”, tháng 1 và tháng 7 có tiềm năng cao nhất cũng chỉ khoảng 1 kW/m. Do vậy, đây là khu vực không nên đầu tư khai thác.

- *Tiềm năng năng lượng sóng tại các vị trí ven biển, đảo Việt Nam và khu vực ngoài khơi Biển Đông*

Kết quả tính toán tiềm năng năng lượng sóng tại các vị trí dọc ven bờ biển Việt Nam và ngoài khơi Biển Đông trong các tháng 1, 4, 7, 10 và theo trung bình các mùa và nhiều năm trên Hình 3.16 và Hình 3.17 cho thấy tại dải ven biển Trung Bộ từ Đà Nẵng tới Ninh Thuận đều ở trên mức “có tiềm năng”. Trong tháng 1, mùa đông và cả năm ngoại trừ khu vực ven biển Quảng Ninh và từ Cà Mau - Kiên Giang, các khu vực khác đều ở mức có tiềm năng, trong đó khu vực từ Đà Nẵng tới Ninh Thuận có tiềm năng ở mức trung bình. Trong tháng 7, dải ven biển phía bắc có tiềm năng sóng trung bình thấp nhất. Ở khu vực biển ngoài khơi, các khu vực Bắc, Giữa và Nam Biển Đông đều có tiềm năng năng lượng sóng cao trong các tháng 1, 4 và 7, và mùa Đông trừ khu vực vịnh Thái Lan có tiềm năng năng lượng sóng thấp trong cả 4 tháng đặc trưng cũng như các mùa trong năm.

Phân bố tiềm năng năng lượng sóng trung bình theo tháng tại các trạm đảo ngoài khơi Bạch Long Vĩ, Lý Sơn, Cồn Cỏ, Phú Quý, Thổ Chu, Phú Quốc thể hiện trên hình 3.14 cho thấy trong các tháng mùa Đông (tháng 10 đến tháng 1) ngoại trừ Thổ Chu và Phú Quốc, các trạm đảo còn lại đều có tiềm năng năng lượng sóng trên ngưỡng “có tiềm năng”. Đảo Phú Quý là nơi có tiềm năng năng lượng sóng lớn nhất, cao nhất vào tháng 1 tới 14 kW/m. Ngoài Phú Quý, các đảo có tiềm năng lớn tiếp theo là Cồn Cỏ, Lý Sơn.

c) Mức có tiềm năng trung bình (MLO):

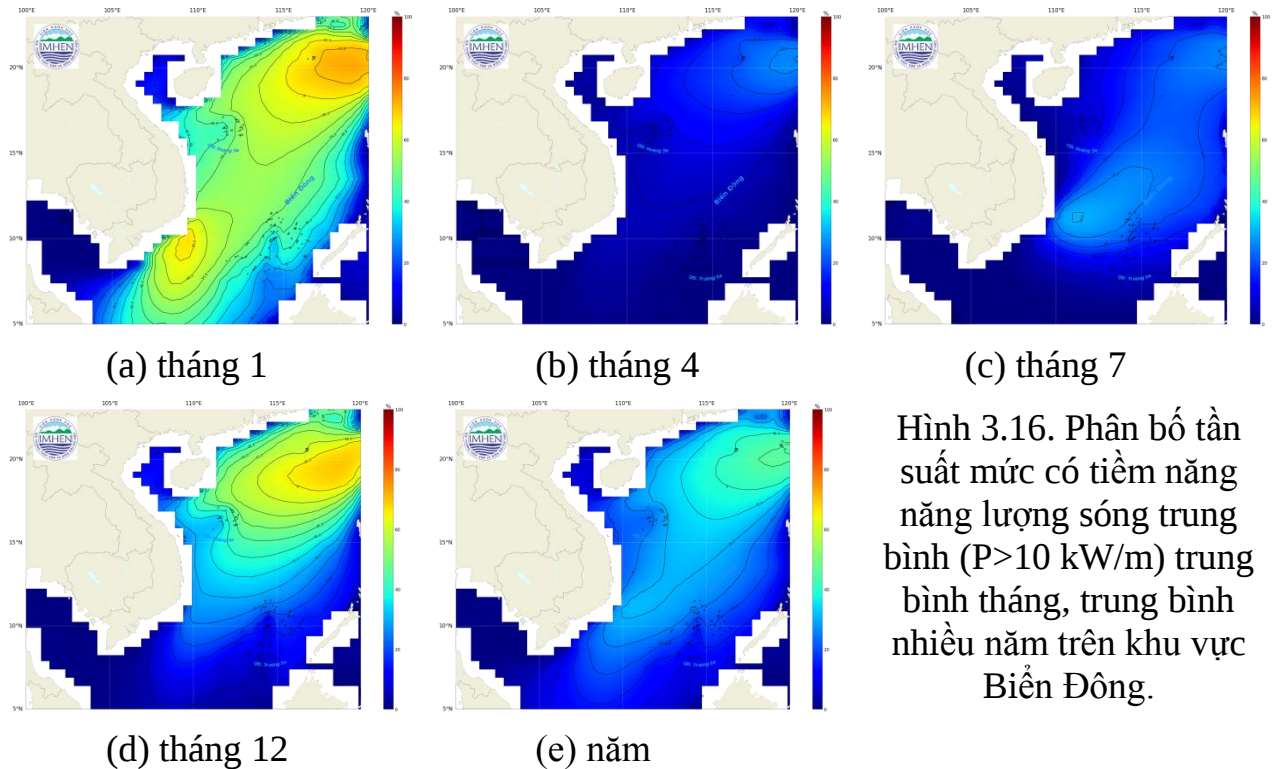
+ Trong tháng 1, MLO ở phần lớn Biển Đông hơn 40%. Hai khu vực có MLO lớn nhất Biển Đông là khu vực eo Luzon trên 70% và khu vực biển Nam Trung Bộ của Việt Nam trên 60%. Vịnh Bắc Bộ MLO dưới 30%. Vịnh Thái Lan MLO dưới 10%.

+ Trong tháng 4, MLO ở phần lớn Biển Đông nhỏ khoảng 2-25%, lớn nhất là khu vực eo Luzon trên 24%. Vịnh Bắc Bộ MLO khoảng 1-4%. Vịnh Thái Lan MLO dưới 1%.

+ Trong tháng 7, MLO ở phần lớn Biển Đông nhỏ, khu vực có MLO lớn nhất là biển Nam Trung Bộ của Việt Nam 20%. Vịnh Bắc Bộ MLO dưới 2%. Vịnh Thái Lan MLO dưới 1%.

+ Trong tháng 10, MLO ở phần lớn Biển Đông đều lớn hơn 20%. Khu vực Đông Bắc Biển Đông có MLO trên 50%. Khu vực biển Nam Trung Bộ của Việt Nam có MLO 10-30%. Vịnh Bắc Bộ MLO khoảng 10-20%. Vịnh Thái Lan ALO dưới 5%.

+ Trong cả năm, MLO ở phần lớn Biển Đông chỉ đạt hơn 15%. Khu vực eo biển Luzon có MLO lớn nhất trên 45%. Vịnh Bắc Bộ MLO dưới 15%. Vịnh Thái Lan MLO dưới 5%.



Hình 3.16. Phân bố tần suất mức có tiềm năng năng lượng sóng trung bình ($P > 10 \text{ kW/m}$) trung bình tháng, trung bình nhiều năm trên khu vực Biển Đông.

d) Mức có tiềm năng cao (RLO):

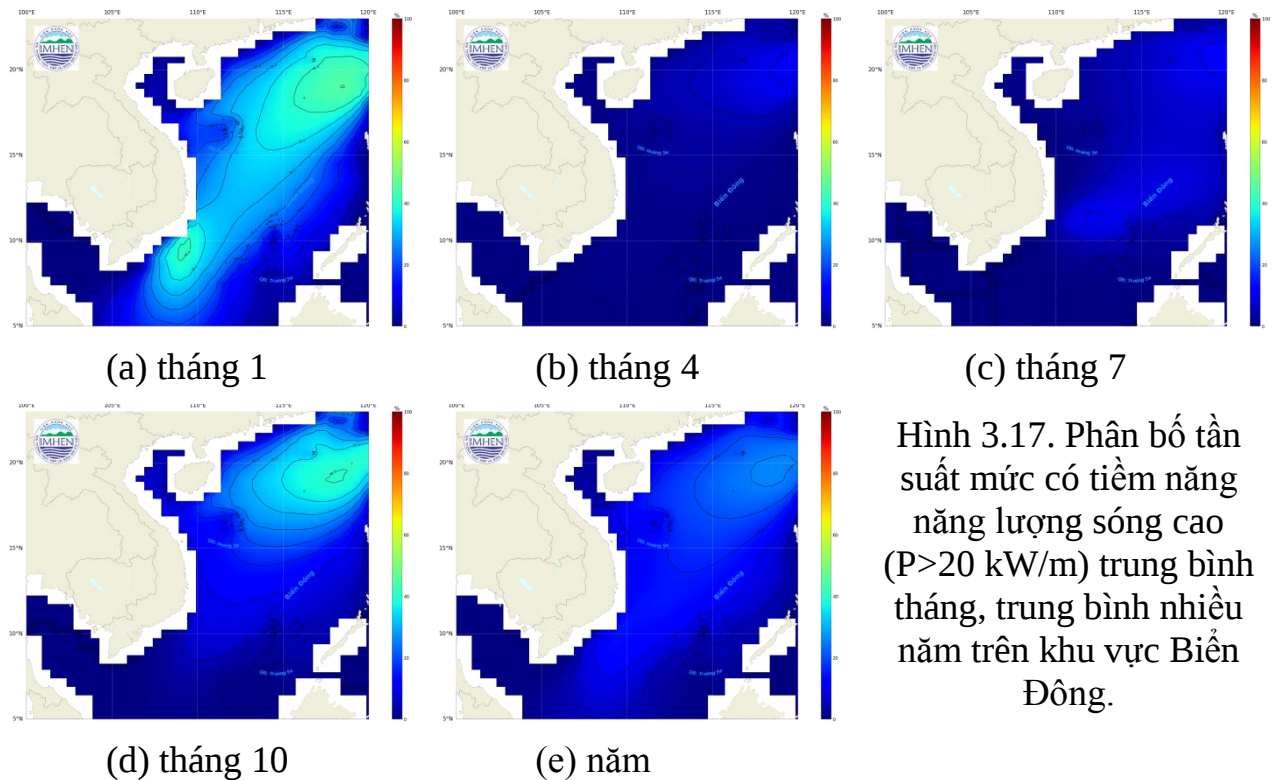
+ Trong tháng 1, RLO ở phần lớn Biển Đông khoảng 10-45%. Hai khu vực có RLO lớn nhất Biển Đông là khu vực eo Luzon 40-45% và khu vực biển Nam Trung Bộ của Việt Nam trên 35-40%. Vịnh Bắc Bộ RLO dưới 10%. Vịnh Thái Lan RLO dưới 5%.

+ Trong tháng 4, RLO ở phần lớn Biển Đông nhỏ, nửa phía Bắc Biển Đông lớn hơn 1%, lớn nhất là khu vực eo Luzon trên 10%. Vịnh Bắc Bộ RLO và Vịnh Thái Lan RLO dưới 1%.

+ Trong tháng 7, RLO ở phần lớn Biển Đông nhỏ, khu vực phía Tây (bao gồm cả Vịnh Bắc Bộ và Vịnh Thái Lan) và Nam Biển Đông nhỏ hơn 1%. Khu vực có RLO lớn nhất là biển Nam Trung Bộ của Việt Nam khoảng 10%.

+ Trong tháng 10, RLO ở phần lớn Biển Đông hơn 10%. Hai khu vực có RLO lớn nhất Biển Đông là khu vực eo Luzon trên 40% và khu vực biển Nam Trung Bộ của Việt Nam 5-20%. Vịnh Bắc Bộ RLO dưới 10%. Vịnh Thái Lan RLO dưới 2%.

+ Trong cả năm, RLO ở phần lớn Biển Đông khoảng 6-26%, trong đó khu vực eo biển Luzon có RLO lớn nhất. Vịnh Bắc Bộ RLO dưới 6%. Vịnh Thái Lan RLO dưới 2%.



CHƯƠNG IV

CÁC NHÂN TỐ TÁC ĐỘNG ĐẾN KHAI THÁC NĂNG LƯỢNG BỨC XẠ, GIÓ VÀ SÓNG TẠI VIỆT NAM

4.1. Thiên tai khí tượng thủy văn

Nằm trọn trong khu vực nhiệt đới gió mùa, với đường bờ biển dài, địa hình trũng tại ven biển Đồng Bằng Bắc Bộ và Nam Bộ, dốc tại Trung Bộ, nên có nhiều loại hình thiên tai ảnh hưởng tới các hoạt động kinh tế xã hội nói chung và tới khai thác tiềm năng tái tạo nói riêng như: bão, gió mạnh, sóng lớn trên biển, ven biển các tỉnh Bắc và Trung Bộ; triều cường; xâm nhập mặn ở các tỉnh Nam Trung Bộ và Nam Bộ; lũ quét, sạt lở đất tại vùng núi; ngập lụt tại các đô thị và các tỉnh ven biển, rét đậm tại vùng núi phía bắc; nắng nóng, khô hạn ở các tỉnh Nam Trung Bộ. Ngoài ra, đông, xét trong các tháng chuyển mùa, mùa hè, nhất là tại vùng núi Bắc Bộ cũng là nhân tố ảnh hưởng tới công trình khai thác điện gió và điện mặt trời. Các thiên tai có tác động chính tới xây dựng và khai thác tiềm năng năng lượng gió và bức xạ mặt trời cụ thể cho từng khu vực trên biển và đất liền được tóm tắt như sau:

4.1.1. Trên đất liền

(1) Khu vực Đông Bắc (Lào Cai, Yên Bái, Lạng Sơn, Thái Nguyên, Hà Giang, Cao Bằng, Tuyên Quang, Bắc Kạn)

Theo số liệu thống kê nhiều năm, trung bình một năm có từ 1,0 - 1,5 cơn bão, áp thấp nhiệt đới ảnh hưởng, trong đó, ba tháng có tần suất xuất hiện nhiều nhất là các tháng 7, 8 và 9 với cấp gió bão mạnh nhất đã xảy ra cấp 10, giật cấp 12--13, với tổng lượng mưa trung bình một đợt bão đã xảy ra 100-150 mm và lượng mưa một ngày lớn nhất được ghi nhận tới 546 mm. Theo kết quả kết quả cập nhật phân vùng bão, xác định nguy cơ bão, nước dâng do bão và phân vùng gió cho các vùng ở sâu trong đất liền khi bão mạnh, siêu bão đổ bộ được Bộ Tài nguyên và Môi trường công bố ngày 16 tháng 12 năm 2016 (Hình 1) [31], nguy cơ gió mạnh trong bão có thể đạt cấp 11-12, giật trên cấp 13 với mưa một ngày lớn nhất trong bão có thể đạt từ 550-600 mm. Ngoài gió mạnh và mưa lớn, trong các tháng chuyển mùa và mùa hè, thiên tai lốc, sét cũng thường xuyên xuất hiện tại khu vực. Với thiên tai thủy văn, khu vực Đông Bắc gồm nhiều loại hình gồm: lũ, ngập lụt, lũ quét, sạt lở đất, hạn hán. Mùa mưa lũ bắt đầu từ tháng 6 và đến hết tháng 10. Nguyên nhân mưa lũ lớn, ngập lụt khu vực Đông Bắc chủ yếu do

các hình thể thời tiết như: bão, áp thấp nhiệt đới, dải hội tụ nhiệt đới. Lũ quét sạt lở đất phổ biến xuất hiện nhiều tại các tỉnh như Hà Giang, Tuyên Quang, Lạng Sơn, Cao Bằng, Lào Cai và Yên Bái (Hình 2) [31]. Cường suất lũ trên các sông ở khu vực Đông Bắc thay đổi khác biệt, lên khá nhanh đạt 9-12m/ngày trên thượng lưu sông Lục Nam, 5-7 m/ngày ở thượng lưu sông Lô, sông Kỳ Cùng, Lạng Sơn và các sông suối nhỏ ở Quảng Ninh, 3-5m/ngày ở thượng lưu sông Thao và ở hạ lưu là 2-3m/ngày. Trong những năm gần đây, ngập lụt xuất hiện nhiều hơn ở khu vực Đông Bắc, đặc biệt tại các thành phố lớn, tập trung nhiều tại các tỉnh như Lạng Sơn, Cao Bằng, Thái Nguyên. Hạn hán xuất hiện tại khu vực Đông Bắc nhưng ở quy mô nhỏ, thường tập trung tại một số huyện thuộc tỉnh Hà Giang, Cao Bằng, Lạng Sơn.

(2) Khu vực Tây Bắc (Lai Châu, Điện Biên, Sơn La)

Số liệu thống kê nhiều năm cho thấy số lượng bão ảnh hưởng tới khu vực Tây Bắc ít hơn so với khu vực Đông Bắc với trung bình năm dưới 0,5 cơn, tập trung vào 3 tháng chính 7-9, cấp gió bão mạnh nhất đã xảy ra tới cấp 9, giật cấp 12 - 13. Lượng mưa một ngày lớn nhất đã ghi nhận 336 mm. Tổng lượng mưa trung bình một đợt bão đã xảy ra 50 - 100 mm. Về nguy cơ, tại khu vực này gió trong bão có thể đạt cấp 10-11, giật trên cấp 13 và lượng mưa một ngày lớn nhất trong bão có thể đạt từ 350-400 mm [30]. Ngoài ra, khu vực vùng núi Tây Bắc cũng thường xuyên xuất hiện lở, sạt trong các tháng chuyển mùa và mùa hè. Tại khu vực này, mạng lưới sông suối ngoài dòng chính sông Đà còn có nhiều sông suối nhỏ khác với mật độ dày đặc. Với đặc thù địa hình dốc, cắt xẻ mạnh, lũ, lũ quét, sạt lở đất là loại hình thiên tai phổ biến trong mùa mưa lũ ở khu vực này (Hình 2) [31]. Lũ, lũ quét và sạt lở đất trên khu vực thường do mưa lớn gây ra chủ yếu bởi các hình thể thời tiết có thể gây mưa lớn như: front, dải hội tụ nhiệt đới... Mùa mưa lũ trên lưu vực thường bắt đầu từ khá sớm, từ cuối tháng 5 đến tháng 9. Các trận lũ lớn thường tập trung trong tháng 7, 8. Lũ trên các sông suối nhỏ, lũ quét và sạt lở đất có thể hình thành nhanh chóng sau mỗi đợt mưa lớn, trong khoảng 6 giờ hoặc nhỏ hơn từ 1-3 giờ. Khi có mưa lớn, mực nước trên các sông suối nhỏ lên rất nhanh di chuyển nhanh từ địa hình cao xuống thấp, dòng chảy xiết có hàm lượng chất rắn cao và có sức tàn phá lớn tại những nơi dòng lũ tràn qua.

(3) Khu vực Quảng Ninh đến Thanh Hóa (các tỉnh thuộc đồng bằng, trung du Bắc Bộ và các tỉnh ven biển từ Quảng Ninh đến Thanh Hóa).

Khu vực này bao gồm các tỉnh Đồng bằng và ven biển nên có tần suất bão cao nhất trên cả nước, từ 2,0 - 2,5 cơn/năm, tập trung vào các tháng 7-9. Cấp gió bão mạnh nhất đã ghi nhận tới cấp 14, giật cấp 15-16. Riêng dải ven biển Quảng Ninh - Hải Phòng, cấp gió mạnh nhất đã xảy ra cấp 15, giật cấp 17. Tổng lượng mưa quan trắc trung bình một đợt bão từ 150 - 200mm, lượng mưa một ngày lớn nhất trong bão 502mm. Lượng mưa một ngày kỷ lục đã ghi nhận tới 701 mm (đợt mưa tháng 7/2015) gây bởi vùng áp thấp nằm trọn trong vịnh Bắc Bộ. Về nguy cơ, tại khu vực này gió trong bão có thể đạt cấp 15-16, giật trên cấp 17 và lượng mưa một ngày lớn nhất trong bão có thể đạt từ 700-750 mm. (Hình 1) [30]. Trong các tháng chuyển mùa và những ngày mùa hè lốc, xét cũng thường xuyên xuất hiện trong khu vực. Tại khu vực này, lũ quét sạt lở đất phổ biến xuất hiện tại một số huyện vùng núi thuộc tỉnh Quảng Ninh và Thanh Hóa (Hình 2) [31]. Là khu vực hạ lưu hệ thống sông Hồng- Thái Bình, hằng năm, vùng đồng bằng sông Hồng- Thái Bình thường xuyên bị ảnh hưởng bởi mưa lớn, lũ từ thượng nguồn và ngập lụt. Ngoài ra, triều cường cũng là nguyên nhân gây ra lũ, ngập lụt tại các sông suối vùng cửa sông, cửa biển thuộc các tỉnh Quảng Ninh và thành phố Hải Phòng. Trong khoảng 1 thập niên gần đây, hệ thống hồ chứa lớn trên lưu vực sông Hồng đã hoàn thành và tăng khả năng cắt giảm lũ tối đa, bảo vệ thủ đô Hà Nội và vùng đồng bằng sông Hồng. Độ lớn của đỉnh lũ lũ khu vực đồng bằng sông Hồng- Thái Bình có xu thế giảm từ 2-4m do có sự điều tiết cắt giảm lũ. Tuy nhiên, tình trạng ngập úng do mưa lớn, đặc biệt là các khu đô thị vùng đồng bằng sông Hồng- Thái Bình như thành phố Hà Nội, Nam Định, Thái Bình, Quảng Ninh và Hải Phòng lại có xu hướng gia tăng. Với tỉnh Thanh Hoá, thiên tai thủy văn phức tạp hơn do vị trí địa lý và địa hình phức tạp. Trong những năm gần đây, trên hệ thống sông Mã, các hồ chứa lớn đã hoàn thành và đi vào hoạt động, tăng khả năng cắt giảm lũ cho vùng hạ lưu, tuy nhiên dưới tác động của biến đổi khí hậu các hiện tượng lũ quét, sạt lở đất ở các huyện trung du, miền núi của tỉnh có xu thế tăng.

(4) Khu vực Nghệ An đến Thừa Thiên Huế (Nghệ An, Hà Tĩnh, Quảng Bình, Quảng Trị, Thừa Thiên Huế)

Số lượng bão ảnh hưởng đến vùng này trung bình từ 1,5 - 2,0 cơn/năm, mùa bão kéo dài từ tháng 8-12. Cấp gió bão mạnh nhất đã xảy ra tới cấp 14, giật cấp 15 - 16. Lượng mưa một ngày lớn nhất đã xảy ra 978 mm. Tổng lượng mưa trung bình một đợt bão lớn nhất đã ghi nhận 200 - 300 mm. Theo kết quả phân tích, nguy cơ gió trong bão lớn nhất tại khu vực có thể đạt cấp 15-16, giật trên cấp 17 và lượng mưa một ngày lớn nhất trong bão có thể đạt từ 1000-1050 mm (Hình 1) [30]. Tại các đảo ven bờ như Cồn Cỏ, Hòn Ngư, gió trong bão mạnh nhất có thể cao hơn trong đất liền từ 1-2 cấp. Tại khu vực vùng núi phía Tây của Nghệ An, Hà Tĩnh, gió bão thấp hơn khu vực ven biển do cường độ bão đã suy yếu sau khi di chuyển vào sâu trong đất liền. Ngoài ra, khu vực này cũng thường xuyên xuất hiện lốc, sét, nhất là tại vùng núi và ven biển trong các tháng mùa hè. Mùa lũ trên các sông từ Nghệ An đến Thừa Thiên Huế kéo dài tháng 7 đến tháng 12. Ngoài hệ thống sông Cả (Nghệ An, Hà Tĩnh), các sông từ Quảng Bình đến Thừa Thiên Huế thường ngắn, rất dốc, rừng đầu nguồn bị huỷ hoại nặng, làm giảm đáng kể khả năng điều tiết dòng chảy mặt, nên khu vực này là nơi có tần suất cao về lũ lụt lớn, lũ quét với sức tàn phá ghê gớm. Trung bình một năm có khoảng 4-7 trận lũ. Lũ lên nhanh, xuống nhanh, dòng chảy biến động rất lớn theo thời gian. Các sông từ Quảng Bình đến Thừa Thiên Huế chảy thẳng từ thượng nguồn xuống đồng bằng vì thế nước tập trung rất nhanh. Có 3 hình thái ngập lụt chính tại khu vực: Lũ các sông miền Trung gắn chặt với bão và các hình thể thời tiết khác gây mưa lớn. Ngập lụt do mưa úng trong nội đồng (các tỉnh Nghệ An, Hà Tĩnh); ngập lụt do lũ lớn tràn bờ và do nước của nhiều sông suối nhỏ đổ trực tiếp vào đồng bằng (đồng bằng hệ thống sông Gianh, sông Thạch Hãn, sông Hương) và ngập lụt do xả lũ của các hồ chứa hoặc có tác động kết hợp của thủy triều, nước biển dâng.

(5) Khu vực Đà Nẵng đến Bình Định (Đà Nẵng, Quảng Nam, Quảng Ngãi, Bình Định)

So với các khu vực các tỉnh ven biển Bắc Bộ và Bắc Trung Bộ, khu vực này có tần suất bão ảnh hưởng ít hơn, trung bình từ 1,0 - 1,5 cơn/năm, ba tháng nhiều bão nhất là tháng 9, 10 và 11, cấp gió bão mạnh nhất đã xảy ra cấp 13, giật cấp 14- 15. Lượng mưa một ngày lớn nhất và tổng lượng mưa trung bình một đợt bão lớn nhất đã ghi nhận tương ứng là 593 mm và 200 mm. Tại khu vực này nguy cơ gió mạnh trong bão có thể đạt cấp 14-15, giật trên cấp 16 và mưa một ngày lớn nhất trong bão có thể đạt từ 650 - 700 mm (Hình 1) [30]. Tại vùng núi

và ven biển lốc, xét cũng là loại thiên tai cần lưu ý trong các tháng mùa hè. Khu vực từ Đà Nẵng đến Bình Định có diện tích hẹp và phần lớn diện tích nằm ở sườn phía đông, dốc đứng của dãy Trường Sơn. Khu vực đồng bằng ven biển bị chia cắt bởi những dãy núi ngang nhô ra sát biển. Địa hình rất phức tạp, bị chia cắt mạnh, khí hậu bị phân hoá mạnh. Mùa mưa, lũ thường từ tháng 9 đến tháng 12. Với mạng lưới sông khá dày, đa số các lưu vực sông đều nhỏ, ngắn, dốc nên có nguy cơ cao về lũ lớn, lũ quét với sức tàn phá ghê gớm (Hình 2) [31]. Lũ lên nhanh, xuống nhanh, dòng chảy biến động rất lớn theo thời gian. Vùng ngập lụt thường do sông Vu Gia Thu Bồn và sông Kôn tạo nên. Ngoài mưa lũ, ngập lụt còn có thể do xả lũ của các hồ chứa hoặc có tác động kết hợp của thủy triều, nước biển dâng.

(6) Khu vực Phú Yên đến Ninh Thuận (Phú Yên, Khánh Hòa, Ninh Thuận)

Tại khu vực này mùa bão đến muộn và số lượng bão ít hơn với so với khu vực Đà Nẵng đến Bình Định với trung bình năm từ 0,5-1,0 cơn, ba tháng nhiều bão nhất là các tháng 10, 11, 12. Cấp gió bão mạnh nhất đã xảy ra cấp 13, giạt cấp 14--15. Lượng mưa một ngày lớn nhất đã ghi nhận được 628 mm. Tổng lượng mưa trung bình một đợt bão đã xảy ra 150- 200 mm. Về nguy cơ, gió trong bão lớn nhất có thể đạt cấp 14-15, giạt trên cấp 16 và mưa một ngày lớn nhất trong bão có thể đạt từ 650-700 mm (Hình 1) [30]. Tại những khu vực vùng núi và ven biển lốc, xét cũng là loại thiên tai cần lưu ý trong các tháng mùa hè. Tại khu vực này thiên tai thủy văn có đặc điểm tương đối giống khu vực Đà Nẵng đến Bình Định. Các tỉnh từ Phú Yên đến Bình Thuận có diện tích hẹp, địa hình rất phức tạp, bị chia cắt mạnh, mạng lưới sông khá dày với đa số các lưu vực sông đều nhỏ, ngắn, dốc nên có tần suất cao về lũ lớn, lũ quét với sức tàn phá ghê gớm (Hình 2) [31]. Mùa lũ thường từ tháng 9 đến tháng 12. Dòng chảy lũ trên các sông có biên độ và cường suất lớn, một năm có khoảng 4-6 trận lũ. Lũ lên nhanh, xuống nhanh, dòng chảy biến động rất lớn theo thời gian. Vùng ngập lụt thường do sông Ba, sông Kỳ Lộ, sông Cái Nha Trang và sông Dinh gây nên. Ngoài mưa lũ, ngập lụt còn có thể do xả lũ của các hồ chứa hoặc có tác động kết hợp của thủy triều, nước biển dâng cũng cần phải đề phòng.

(7) Khu vực Tây Nguyên (Kon Tum, Gia Lai, Đắk Lắk, Đắk Nông, Lâm Đồng)

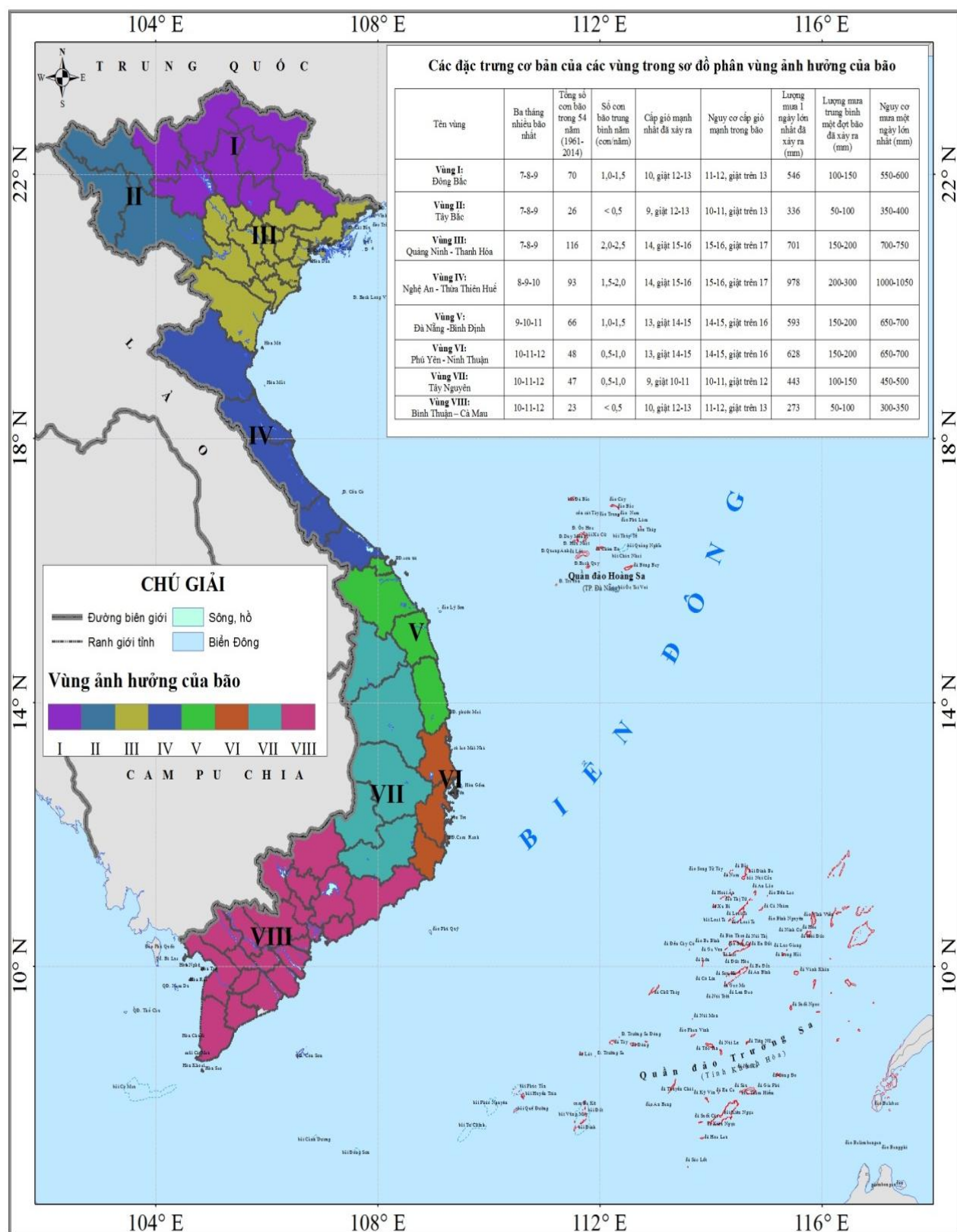
Số lượng bão ảnh hưởng đến vùng Tây Nguyên trung bình dao động 1,0 - 1,5 cơn/năm, ba tháng nhiều bão nhất là 10, 11, 12. Cấp gió bão mạnh nhất đã

xảy ra cấp 9, giạt cấp 10-11. Lượng mưa một ngày lớn nhất đã ghi nhận 443 mm. Tổng lượng mưa trung bình một đợt bão đã xảy khoảng 100-150 mm. Nguy cơ cấp gió mạnh nhất trong bão tại khu vực có thể đạt cấp 10-11, giạt trên cấp 12 và lượng mưa một ngày lớn nhất trong bão có thể đạt từ 450-500 mm [30]. Ngoài ra, đây cũng là khu vực hay có lốc, xét vào buổi chiều tối trong những tháng mùa mưa. Lũ lụt ở Tây Nguyên có những nét khác biệt so với các vùng đồng bằng. Với đặc điểm chiều dài dòng sông ngắn, độ dốc lòng sông lớn, diện tích lưu vực nhỏ, khả năng tập trung dòng chảy nhanh nên lũ lụt trên các sông suối trong khu vực thường xảy ra nhanh, với tốc độ dòng chảy và cường suất lũ rất lớn. Các vùng trũng thấp ở Tây Nguyên thường hẹp, có độ sâu ngập lụt lớn. Mặt khác, diễn biến lũ thường lên nhanh, xuống nhanh và sườn lũ rất dốc nên hay tạo ra những trận lũ quét đột ngột, gây ra những tác hại nhất định, ảnh hưởng trực tiếp đến đời sống của con người (Hình 2) [31]. Với các sông chính ở Tây Nguyên mùa lũ thường trùng với mùa có các nhiễu động khí quyển mạnh như bão, áp thấp nhiệt đới trên biển Đông hoặc đổ bộ vào vùng bờ biển từ Trung Trung Bộ đến Nam Trung Bộ, kết hợp với gió mùa Tây Nam hoạt động mạnh trong thời kỳ tháng 8, tháng 9 và không khí lạnh tăng cường trong thời kỳ tháng 10, tháng 11. Phần nhiều những cơn bão, áp thấp nhiệt đới này tạo nên dải hội tụ có trục đi ngang qua Trung Bộ. Do vậy, đa phần Tây Nguyên nằm ở phần phía Nam dải hội tụ này nên mưa lũ thường xuất hiện trong thời gian này. Đặc biệt, nếu bão hoặc áp thấp đổ bộ vào vùng bờ biển từ Bình Định đến Nha Trang thì hoàn lưu của nó thường gây mưa lũ lớn ở Tây Nguyên.

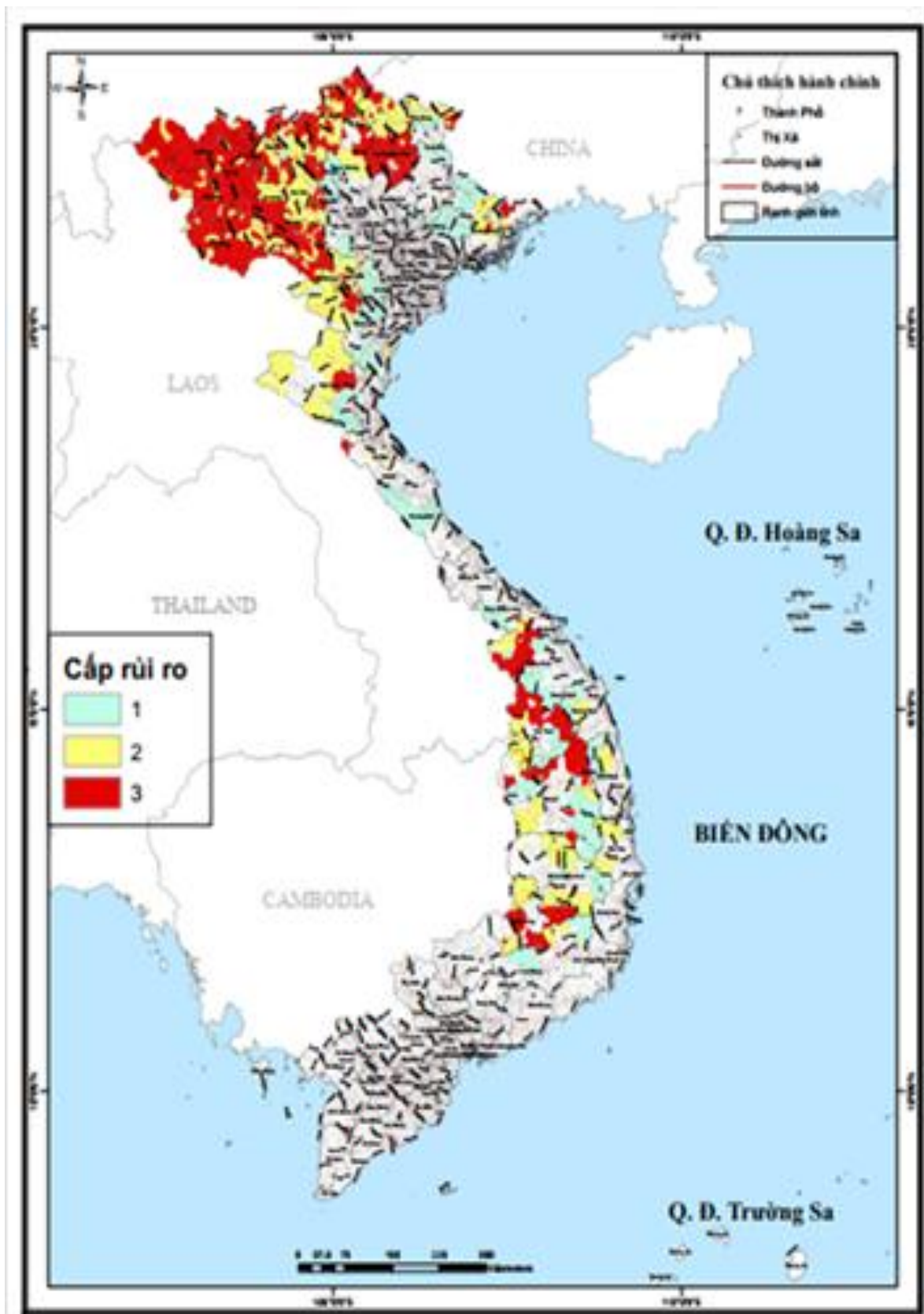
(8) Khu vực Bình Thuận đến Cà Mau - Kiên Giang (bao gồm các tỉnh Nam Bộ và các tỉnh ven biển từ Bình Thuận đến Cà Mau - Kiên Giang)

Đây là khu vực có số lượng bão ảnh hưởng ít nhất trong cả nước với trung bình dưới 0,5 cơn/năm, tập trung vào 3 tháng cuối năm (10, 11, 12), cấp gió bão mạnh nhất đã ghi nhận cấp 10, giạt cấp 12 – 13, lượng mưa một ngày lớn nhất đã xảy ra 273 mm và tổng lượng mưa trung bình một đợt bão đã quan trắc được từ 50 - 100 mm. Về nguy cơ, tại khu vực này gió trong bão lớn nhất có thể đạt cấp 11 - 12, giạt trên cấp 13 và lượng mưa một ngày lớn nhất có thể đạt từ 300 - 350 mm [30]. Mùa mưa trên khu vực thường từ tháng 5-10, mưa lớn nhất tập trung từ tháng 7-9. Lũ ở Đồng bằng sông Cửu long (ĐBSCL) có đặc điểm lên xuống từ từ với cường suất nhỏ với tổng lượng dòng chảy mùa lũ chiếm 70-80% tổng lượng dòng chảy năm. Những năm gần đây, lũ đã khổng chế bởi hệ thống

đê và bờ bao làm thay đổi hướng truyền lũ và diễn biến lũ trong nội đồng. Nếu đỉnh lũ gặp mưa lớn nội đồng lại trùng kỳ triều cao thì mức độ ngập lụt sẽ lớn và kéo dài hơn, đặc biệt là ở vùng chịu tác động của lũ - triều. Ngập lụt ở ĐBSCL do nhiều nguyên nhân và yếu tố tác động khác nhau. Diện ngập, độ sâu và thời gian ngập ở từng vùng cũng rất khác nhau và tùy thuộc vào lũ thượng nguồn, các yếu tố tác động khác, trước hết là tác động điều tiết của Biển Hồ, của cơ sở hạ tầng, của thủy triều và các biện pháp phòng tránh lũ. Ngoài mưa lớn và ngập lụt, lở, xói cũng là thiên tai nguy hiểm tại khu vực thường xuất hiện vào buổi chiều tối các ngày trong mùa mưa khi có gió mùa Tây Nam hoạt động mạnh.



Hình 4.1. Sơ đồ phân vùng ảnh hưởng của bão [30]



Hình 4.2. Phân vùng hiện trạng rủi ro thiên tai lũ quét, sạt lở đất ở Việt Nam [31]

4.1.2. Trên biển

Theo số liệu thống kê nhiều năm, trên khu vực Biển Đông có khoảng 9-10 cơn bão (trong số này chỉ có 3-4 cơn bão mạnh chiếm tỷ lệ khoảng 40%) và 3-4 áp thấp nhiệt đới (ATNĐ) hoạt động. Trong số ATNĐ, bão hoạt động trên Biển Đông thì có khoảng 5-6 cơn bão và 2-3 ATNĐ ảnh hưởng đến Việt Nam. Trong hơn 20 năm qua, năm có số lượng bão hoạt động nhiều nhất là 14 cơn (năm 2013) và năm có số lượng bão hoạt động ít nhất là 4 cơn (năm 2002), các năm 2004, năm 2014 và năm 2015 cũng là những năm ít bão với số lượng bão hoạt động trên Biển Đông là 5 cơn. Trong khoảng 30 năm qua, trên Biển Đông đã ghi nhận được 2 cơn bão có cường độ mạnh nhất đạt đến giữa cấp 15, đó là cơn bão số 1 (ChanChu, 2006) và cơn bão số 6 (Megi, 2010); trong bão số 9 (RAI, 2021) tại trạm khí tượng hải văn Song Tử Tây đã quan trắc được gió mạnh cấp 14, giật cấp 17. Đây là trị số tốc độ gió đo được trực tiếp lớn nhất trong vòng khoảng 40 năm qua trên hệ thống các trạm quan trắc của Việt Nam.

Thời kỳ nửa đầu mùa bão, quỹ đạo bão có hướng Tây Bắc, Bắc và Đông Bắc, và thường đổ bộ vào Đông Nam Trung Quốc, Nhật Bản. Thời kỳ sau quỹ đạo thiên hướng Tây về phía Việt Nam. Về trung bình, từ tháng 1 đến tháng 5, bão ít có khả năng ảnh hưởng đến Việt Nam. Từ tháng 6 đến tháng 8, bão có nhiều khả năng ảnh hưởng đến Bắc Bộ. Từ tháng 9 đến tháng 11, bão có nhiều khả năng ảnh hưởng đến Trung Bộ và Nam Bộ. Ở nửa đầu mùa bão, quỹ đạo của bão ít phức tạp, và ngược lại, bão thường di chuyển phức tạp trong nửa cuối mùa bão. Bão ảnh hưởng tới khu vực Biển Đông chủ yếu là bão có cường độ từ cấp 8-11, chiếm tỷ lệ lên tới 84%. Tiếp theo là cường độ bão mạnh từ cấp 12-13 chiếm tỷ lệ 13%; trong đó, tỷ lệ bão mạnh trên cấp 13 trở lên chỉ chiếm một phần nhỏ là 3% và tháng 10 là tháng có tần suất bão ảnh hưởng nhiều nhất.

Bão, gió mùa mạnh là nguyên nhân gây sóng lớn trên biển, vùng ven bờ, là nhân tố tác động chính tới sức chịu đựng của công trình và trong quá trình thi công, lắp ráp công trình. Kết quả tính toán trường sóng lớn nhất trên Biển Đông cho các tháng đại diện theo mùa thể hiện trên hình 4.3a-d. Thời kỳ gió mùa Đông Bắc thịnh hành (điển hình tháng 1), độ cao sóng cực đại trong khu vực ngoài khơi Biển Đông có giá trị lớn nhất lên tới 6-7 m. Độ cao sóng lớn nhất khu vực vịnh Bắc Bộ là 3-4 m trong khi độ cao sóng cực đại tại vịnh Thái Lan có giá trị là 2-3 m. Giá trị sóng cực đại giảm dần từ bắc xuống nam. Thời kỳ chuyển tiếp giữa gió mùa Đông Bắc sang gió mùa Tây Nam (tháng 4) giá trị sóng cực đại trên toàn Biển Đông giảm so với thời kỳ gió mùa Đông Bắc. Khu

vực đông bắc Biển Đông có giá trị sóng cực đại lớn nhất 4-5m. Độ cao sóng lớn nhất tại vịnh Bắc Bộ có giá trị 3-4 m. Tại vịnh Thái Lan độ cao sóng cực đại nhỏ, 2- 3 m. Giá trị sóng cực đại có xu hướng giảm dần từ bắc xuống nam của Biển Đông. Thời kỳ gió mùa Tây Nam thịnh hành (tháng 7), đây cũng là thời gian các cơn bão từ Thái Bình Dương tiến vào Biển Đông và có xu thế đi lên phía bắc của Biển Đông khiến cho độ cao sóng cực đại tại khu vực này có giá trị cao tới 10-12m. Giá trị sóng cực đại giảm dần từ bắc xuống nam. Khu vực vịnh Bắc Bộ sóng lớn nhất đạt độ cao 6-7m trong khi khu vực vịnh Thái Lan sóng cực đại có giá trị 3-4 m. Thời kỳ chuyển tiếp từ gió mùa Tây Nam sang gió mùa Đông Bắc (tháng 10), đây cũng là thời gian các cơn bão có xu hướng dịch chuyển xuống phía nam. Độ cao sóng cực đại có giá trị tới 5-10 m mở rộng hầu hết toàn khu vực Biển Đông. Đây là thời kỳ các cơn bão mạnh ảnh hưởng với tần suất đáng kể. Tại vịnh Bắc Bộ độ cao sóng cực đại đạt tới 6-7 m.

Các thiên tai khí tượng thủy văn (bão, nước dâng, sóng lớn) trên khu vực biển Việt Nam được đánh giá theo 9 vùng khác nhau, gồm khu vực phía Bắc vịnh Bắc Bộ, Nam vịnh Bắc Bộ, vùng biển từ Quảng Trị đến Quảng Ngãi, vùng biển từ Bình Định đến Ninh Thuận, vùng biển từ Ninh Thuận đến Cà Mau, khu vực Bắc Biển Đông, Giữa Biển Đông, khu vực Nam Biển Đông.

(1) Khu vực phía Bắc vịnh Bắc Bộ

Là khu vực từ Quảng Ninh tới Thanh Hóa, tại khu vực biển này tháng 6-8 là 3 tháng nhiều bão nhất trong năm, trung bình mỗi năm có khoảng từ 1,0-1,5 cơn bão/ATNĐ ảnh hưởng, cấp gió mạnh nhất đã xảy ra cấp 15, giạt cấp 17, nước dâng và sóng cao nhất đã ghi nhận 3,5m và 6m. Ngoài tác động của bão/ATNĐ trên khu vực phía Bắc của vịnh Bắc Bộ còn chịu tác động của hiện tượng gió Đông Nam mạnh (do sự phát triển và mở rộng của hoàn lưu vùng áp thấp nóng phía Tây) với cường độ gió Nam đến Đông Nam mạnh nhất có thể lên tới cấp 6-7, giạt cấp 8, sóng cao từ 2-3m; trong giai đoạn mùa Đông trên khu vực phía Bắc của vịnh Bắc Bộ thường xuyên chịu tác động của các đợt không khí lạnh, cường độ của các đợt không khí lạnh mạnh có thể lên tới cấp 8, giạt cấp 10. Theo tính toán khả năng xuất hiện bão mạnh, siêu bão thì khu vực phía Bắc của vịnh Bắc Bộ có khả năng xuất hiện bão mạnh cấp 15-16, nước dâng do bão có thể cao tới 4,9m, độ cao sóng vùng ven bờ 5-7m [32].

(2) Khu vực Nam vịnh Bắc Bộ

Là khu vực từ phía nam Thanh Hóa trở vào đến vùng biển tỉnh Quảng Bình, tại khu vực biển này tháng 7-9 là 3 tháng nhiều bão nhất trong năm, trung bình mỗi năm có khoảng từ 1,0-1,5 cơn bão/ATNĐ ảnh hưởng, cường độ bão mạnh nhất ghi nhận trên khu vực biển này lên tới cấp 13, nước dâng do bão 4,5m, độ cao sóng lớn nhất tại ven biển 5-6m. Ngoài tác động của bão/ATNĐ trên khu vực phía Bắc của vịnh Bắc Bộ còn chịu tác động của hiện tượng gió Đông Nam mạnh (do sự phát triển và mở rộng của hoàn lưu vùng áp thấp nóng phía Tây) với cường độ gió Nam đến Đông Nam, tuy nhiên cường độ không mạnh như phần phía Bắc của vịnh Bắc Bộ, cường độ gió Nam đến Đông Nam trên khu vực này mạnh nhất có thể lên tới cấp 6, giật cấp 8. Trong giai đoạn mùa Đông, trên khu vực phía Nam vịnh Bắc Bộ thường xuyên chịu tác động của các đợt không khí lạnh, cường độ của các đợt không khí lạnh mạnh có thể lên tới cấp 7, có lúc cấp 8, giật cấp 10. Theo tính toán khả năng xuất hiện bão mạnh, siêu bão thì khu vực Nam vịnh Bắc Bộ có khả năng xuất hiện bão mạnh cấp 15-16 gây nước dâng tới 5m, độ cao sóng vùng ven bờ 7-8m [32].

(3) Vùng biển từ Quảng Trị đến Quảng Ngãi

Với khu vực biển từ Quảng Trị trở vào đến Quảng Ngãi các hình thế gây thời tiết xấu là bão/ATNĐ và không khí lạnh; bão/ATNĐ tác động chính đến khu vực này trong các tháng 8, 9 và tháng 10, trung bình mỗi năm có khoảng từ 0,7-1,0 cơn bão/ATNĐ ảnh hưởng, cường độ bão mạnh nhất ghi nhận trên khu vực biển này lên tới cấp 13, nước dâng do bão 4,2m. Trong giai đoạn mùa Đông, trên khu vực biển từ Quảng Trị đến Quảng Ngãi cũng thường xuyên chịu tác động của các đợt không khí lạnh, cường độ của các đợt không khí lạnh mạnh có thể lên tới cấp 7, có lúc cấp 8, giật cấp 10. Theo tính toán khả năng xuất hiện bão mạnh, siêu bão thì khu vực Quảng Trị đến Quảng Ngãi có khả năng xuất hiện bão mạnh cấp 15-16, nước dâng do bão đến 4,2m, độ cao sóng vùng ven bờ 8-9m [32].

(4) Vùng biển từ Bình Định đến Ninh Thuận

Với khu vực biển từ Bình Định đến Ninh Thuận các hình thế gây thời tiết xấu là bão/ATNĐ và không khí lạnh; bão/ATNĐ tác động chính đến khu vực này trong các tháng 9, 11 và tháng 12, cường độ bão mạnh nhất ghi nhận trên khu vực biển này lên tới cấp 13, nước dâng do bão ghi nhận 1,7m. Trong giai đoạn mùa Đông, trên khu vực biển từ Bình Định đến Ninh Thuận cũng thường xuyên chịu tác động của các đợt không khí lạnh, cường độ của các đợt không

khí lạnh mạnh có thể lên tới cấp 7, có lúc cấp 8, giạt cấp 10. Nước dâng do bão lớn nhất vùng ven bờ đã ghi nhận tới 1,8m. Theo tính toán khả năng xuất hiện bão mạnh, siêu bão thì khu vực Bình Định-Ninh Thuận có khả năng xuất hiện bão mạnh cấp 14-15, nước dâng do bão tới 2,2m, độ cao sóng vùng ven bờ 8-9m [32].

(5) Vùng biển từ Bình Thuận đến Cà Mau

Với khu vực biển từ Bình Định đến Ninh Thuận các hình thế gây thời tiết xấu là gió mùa Tây Nam, với cường độ mạnh nhất của gió Tây Nam trên khu vực này có thể đạt ở mức cấp 6-7, giạt cấp 8. Ngoài ra bão/ATNĐ và không khí lạnh cũng là những hình thế gây thời tiết xấu trên khu vực này; bão/ATNĐ tác động chính đến khu vực này trong các tháng 11, 12 và tháng 01, cường độ bão mạnh nhất ghi nhận trên khu vực biển này lên tới cấp 10, nước dâng do bão lớn nhất 2,0m. Trong giai đoạn mùa Đông trên khu vực biển từ Bình Thuận đến Cà Mau cũng thường xuyên chịu tác động của các đợt không khí lạnh, cường độ của các đợt không khí lạnh mạnh có thể lên tới cấp 7. Theo tính toán khả năng xuất hiện bão mạnh, siêu bão thì khu vực Bình Thuận đến Cà Mau có khả năng xuất hiện bão mạnh cấp 12-13, nước dâng do bão tới 2,7m, độ cao sóng vùng ven bờ 5-6m [32].

(6) Vùng biển từ Cà Mau đến Kiên Giang

Với khu vực biển từ Cà Mau đến Kiên Giang các hình thế gây thời tiết xấu là gió mùa Tây Nam, với cường độ mạnh nhất của gió Tây Nam trên khu vực này có thể đạt ở mức cấp 6-7, giạt cấp 8, thời gian gió Tây Nam hoạt động mạnh thường bắt đầu vào nửa cuối tháng 4 và kéo dài đến khoảng tháng 10. Ngoài ra bão/ATNĐ cũng tác động (con bão Linda năm 1997) tuy nhiên khu vực này là vùng ít chịu tác động của bão/ATNĐ nhất. Nước dâng do bão vùng ven bờ nhỏ, cao nhất chỉ khoảng 1,2 m, độ cao sóng vùng ven bờ 3-4m [32].

(7) Khu vực Bắc Biển Đông

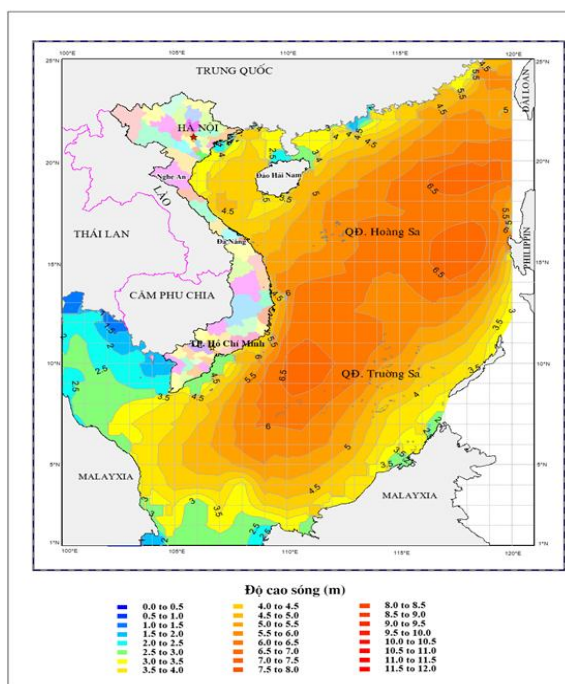
Khu vực Bắc Biển Đông từ 15 đến 23 độ vĩ Bắc, các hình thế gây thời tiết xấu gồm bão/ATNĐ, không khí lạnh mạnh, bão/ATNĐ ảnh hưởng đến khu vực này trong giai đoạn đầu của mùa bão, từ tháng 5-9 với cường độ bão mạnh nhất trên khu vực này ở mức cấp 15-16, sóng cao nhất 9-10m. Theo tính toán khả năng xuất hiện bão mạnh siêu bão trên khu vực phía Bắc của Biển Đông có thể mạnh tới cấp 17, sóng có thể cao 13-14m [32]. Trong giai đoạn mùa Đông trên khu vực phía Bắc Biển Đông thường xuyên chịu tác động của các đợt không khí lạnh, cường độ của các đợt không khí lạnh mạnh có thể lên tới cấp 8-9, giạt cấp 11.

(8) Khu vực Giữa Biển Đông

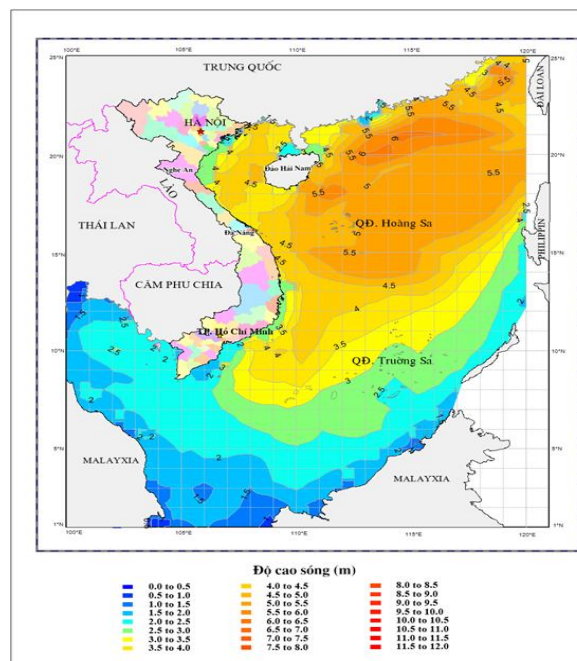
Khu vực Giữa Biển Đông từ 10-15 độ vĩ Bắc, các hình thế gây thời tiết xấu gồm bão/ATNĐ, không khí lạnh mạnh, bão/ATNĐ ảnh hưởng đến khu vực này trong giai đoạn đầu của mùa bão, từ tháng 6-11 với cường độ bão mạnh nhất trên khu vực này ở mức cấp 15-16, sóng cao nhất 9-10m. Theo tính toán khả năng xuất hiện bão mạnh siêu bão trên khu vực giữa Biển Đông có thể mạnh tới cấp 16-17, sóng lớn có thể cao tới 15-16m [32]. Trong giai đoạn mùa Đông trên khu vực phía giữa Biển Đông thường xuyên chịu tác động của các đợt không khí lạnh, cường độ của các đợt không khí lạnh mạnh có thể lên tới cấp 8, giạt cấp 13.

(9) Khu vực Nam Biển Đông

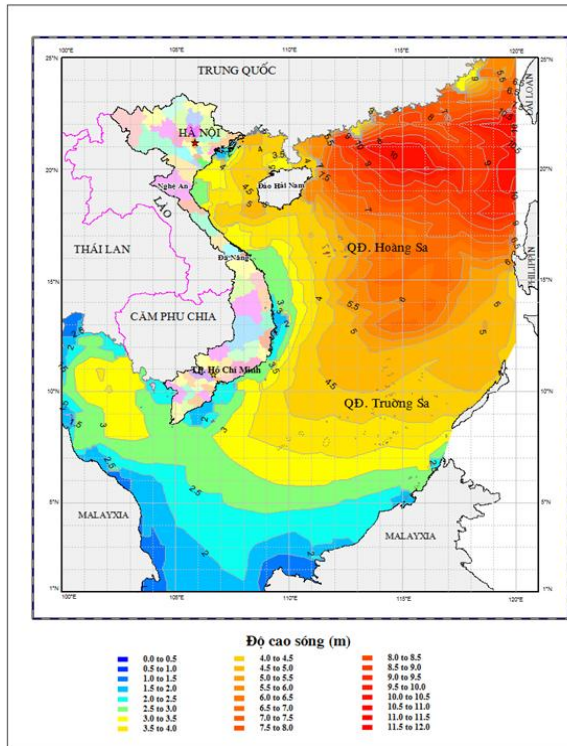
Khu vực phía Nam Biển Đông từ 5 đến 10 độ vĩ Bắc, các hình thế gây thời tiết xấu gồm bão/ATNĐ, không khí lạnh mạnh, bão/ATNĐ ảnh hưởng đến khu vực này trong giai đoạn đầu của mùa bão, từ tháng 6-11; với cường độ bão mạnh nhất trên khu vực này ở mức cấp 15-16, sóng cao nhất 8-9m. Theo tính toán khả năng xuất hiện bão mạnh siêu bão trên khu vực phía Nam Biển Đông có thể mạnh tới cấp 16-17, sóng có thể cao 12-13m [32]. Trong giai đoạn mùa Đông trên khu vực Nam Biển Đông thường xuyên chịu tác động của các đợt không khí lạnh, cường độ của các đợt không khí lạnh mạnh có thể lên tới cấp 8, giạt cấp 13.



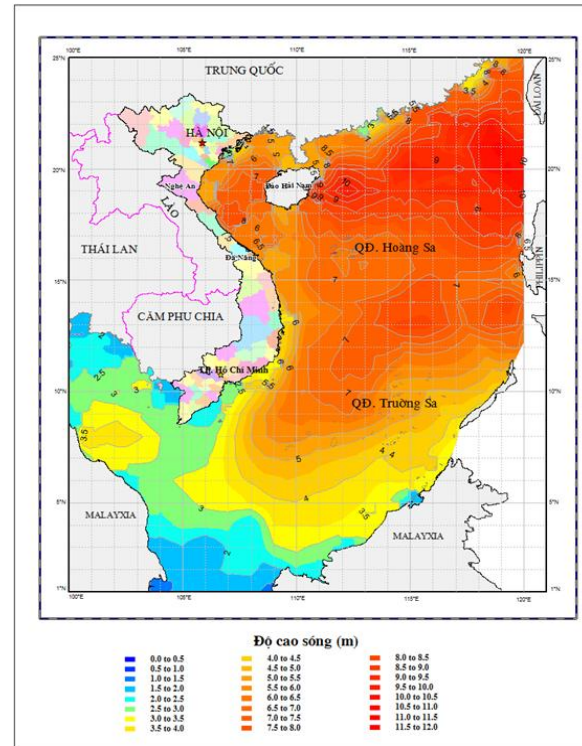
(a) Tháng 1



(b) Tháng 4



(b) Tháng 7



(d) Tháng 10

Hình 4.3. Trường sóng cực đại trên Biển Đông

4.2. Nguy cơ động đất

Theo các kết quả nghiên cứu về động đất của Viện Vật lý Địa cầu trong nhiều thập kỷ qua [33], nguy cơ động đất tại các vùng khác nhau trên đất liền và biển Việt Nam được đánh giá như sau:

4.2.1. Trên biển

(1) Vùng động đất vịnh Bắc Bộ

Đây là vùng động đất có cường độ lớn nhất (M_{max}) tới cấp 6 do có tần suất động đất cao, mặc dù ở đây chỉ mới xuất hiện động đất với cường độ (M) cấp 5,5 (động đất tháng 10/1984). Vùng động đất phía bắc đảo Hoàng Sa có phương Đông - Đông bắc. Trong vùng có nhiều động đất tập trung tại rìa đông bắc, cường độ lớn nhất có thể lên tới 7,0M.

(2) Vùng động đất ven bờ Trung và Nam Bộ Việt Nam

Dải động đất từ Hà Tĩnh - ven biển Nam Bộ là vùng động đất có dạng dải hẹp theo ven bờ từ Hà Tĩnh đến Bình Thuận, sau đó tỏa ra hình quạt với nhánh trái theo ven bờ vùng biển Nam Bộ. Trong số 23 trận động đất ghi nhận được trong vùng có đến 9 trận với chiều sâu chấn tiêu khoảng 10 km, 6 trận có độ sâu

khoảng 30 km. Ngoài ra còn phải kể đến những hoạt động núi lửa trẻ hoặc mới hoạt động ở trong bờ hoặc ngoài khơi như hoạt động của núi lửa Hòn Tro năm 1923 với cường độ cấp 5,5.

Vùng động đất rất yếu thuộc trũng Kainozoi vịnh Bắc Bộ nằm kẹp giữa 2 đứt gãy thuộc nhánh trái của đứt gãy chạc ba Nam Hải Nam, sự hình thành của vùng trũng này theo cơ chế tách giãn và sụt lún với độ sâu tới 6000 m. Đặc điểm của vùng này là mặc dù nằm ngay cạnh đới động đất mạnh nhất biển đông nam Trung Hoa - Bắc Hải Nam, nhưng tại đây không hề xảy ra động đất dù với chấn cấp rất nhỏ, cũng có thể do quá trình tách giãn là điều kiện để năng lượng được giải toả.

Dải động đất yếu tây nam nằm dọc theo đứt gãy phương Tây Bắc - Đông Nam, kéo dài từ tây nam Biển Đông Việt Nam đến vịnh Thái Lan với những chấn tiêu động đất nhỏ, có chấn cấp nhỏ hơn 3. Tại đây vùng động đất được đánh giá có cường độ cấp 3-4.

(3) Các vùng động đất Trung tâm Biển Đông

Nằm tại phía nam của nhánh phải đứt gãy chạc ba, vùng động đất này được chia làm 2 phần gần như đối xứng nhau: phần các đới tách giãn đông Biển Đông và phần rìa chuyển tiếp tây và tây nam Biển Đông.

Vùng động đất thuộc các đới tách giãn đông Biển Đông. Tại các đới tách giãn phía đông Biển Đông, các tâm động đất mạnh tập trung tại phần đông bắc ở vùng tách giãn á kinh tuyến với các động đất có cường độ lớn hơn 5,5. Tại rìa phía tây và nam, các động đất mạnh thưa hơn, nhưng mật độ các trận yếu lại tăng lên.

Vùng động đất thuộc rìa chuyển tiếp tây và tây nam Biển Đông là vùng có độ hoạt động động đất rất thấp, tại đây mật độ chấn tâm rất nhỏ, các động đất ở đây có giá trị chấn cấp lớn hơn cấp 4 với tần suất rất nhỏ.

Với vùng động đất đông nam Biển Đông, đây là vùng động đất khá mạnh thuộc góc đông nam của khu vực nghiên cứu (phía đông nam đảo Sumatra và đông bắc đảo Borneo). Vùng này có mật độ chấn tâm khá dày với $M > 6$ và phần nào đó có liên hệ với dải động đất Địa Trung Hải - Xuyên Á chạy qua rìa phía đông Biển Đông. Tại đây cơ chế nén ép là chủ yếu do hậu quả của sự tách giãn tại trung tâm Biển Đông.

4.2.1. Trên đất liền

(1) *Vùng Tây Bắc*: Có độ nguy hiểm động đất cao nhất. Trong khoảng thời gian từ năm 1903 đến nay, trên khu vực này đã ghi nhận được 545 trận động đất. Hai trận động đất mạnh nhất ghi nhận được trên khu vực này có độ lớn đạt tới 6,8 độ.

(2) *Vùng Đông Bắc*: Có độ nguy hiểm động đất cao thứ ba, với động đất cực đại ghi nhận được có độ lớn 5,6 độ.

(3) *Vùng Đồng bằng sông Hồng*: Có độ nguy hiểm động đất cao thứ năm, với động đất cực đại ghi nhận được có độ lớn 5,1 độ.

(4) *Vùng Bắc Trung Bộ*: Có độ nguy hiểm động đất cao thứ hai. Trong khoảng thời gian từ năm 1903 đến nay, trên khu vực này đã ghi nhận được 129 trận động đất. Động đất mạnh nhất ghi nhận được có độ lớn 5,7 độ.

(5) *Vùng Tây Nguyên, Nam Trung Bộ và Đông Nam Bộ*: Có độ nguy hiểm động đất cao thứ tư, với động đất cực đại ghi nhận được có độ lớn 5,3 độ cả trên đất liền và ngoài khơi.

(6) *Vùng Miền Tây Nam Bộ*: Là khu vực có độ nguy hiểm thấp nhất trên cả nước. Động đất xảy ra ở đây khá thưa thớt và đều là động đất yếu. Độ lớn động đất cực đại có thể đạt 4,6 độ.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. Kết luận

a. Kết quả đạt được

Báo cáo đã tổng quan được các nghiên cứu về tiềm năng năng lượng bức xạ, gió và sóng cũng như việc khai thác và phát triển nguồn năng này trên thế giới và ở Việt Nam. Theo đó, đầu tư phát triển NLTT đã tăng mạnh trong những năm gần đây, trên toàn cầu đã tăng khoảng 14,1% trong năm 2016, tăng lên 29% vào năm 2020. Dự báo của Cơ quan quốc tế năng lượng tái tạo có thể tăng 28% vào năm 2030, 66% vào năm 2050; tỷ trọng đóng góp của năng lượng tái tạo đối với lĩnh vực năng lượng toàn cầu có thể đạt 57% vào năm 2030, 86% vào năm 2050. Trong khi đó, Việt Nam được đánh giá là quốc gia có tài nguyên năng lượng gió tương đối dồi dào, đặc biệt là khu vực Biển Đông; năng lượng bức xạ được đánh giá dồi dào hơn ở phía Nam, cao nhất ở khu vực ven biển Nam Trung Bộ; năng lượng sóng vùng ven biển tập trung ở khu vực Trung Bộ (từ Đà Nẵng đến Ninh Thuận).

Báo cáo được xây dựng dựa trên nguồn số liệu tại 186 trạm quan trắc khí tượng (tốc độ gió mực 10m, nhiệt độ tối cao, nhiệt độ tối thấp, số giờ nắng) cập nhật cho giai đoạn từ năm 1960-2020; số liệu quan trắc ngày đối với bức xạ tại 13 trạm trên cả nước cũng được thu thập trong giai đoạn 2012-2020; số liệu quan trắc sóng tại 17 trạm hải văn thời kỳ 2011-2020 và 01 điểm đo gió ở độ cao 50 m, sóng (Mỏ Bạch Hổ) thời kỳ 4 năm 2017-2020, cùng với số liệu tái phân tích ERA5, số liệu vệ tinh Himawari, số liệu đặc trưng bề mặt và số liệu mô phỏng từ các mô hình số trị độ phân giải cao.

Phương pháp nghiên cứu tính toán tiềm năng năng lượng bức xạ, gió và sóng được kết hợp cả 2 phương pháp tính theo công thức thực nghiệm và sử dụng mô hình số độ phân giải cao (lưới tính cho trường gió trên đất liền ở mực độ cao 10m là 1km x 1km), sử dụng kỹ thuật đồng hóa các số liệu nhằm tăng độ chính xác trong quá trình mô phỏng và số liệu đặc trưng bề mặt tính toán ngoại suy cho các mực độ cao khai thác gió từ 50 m, 100 m, 150 m và 200 m.

Kết quả đánh giá về tiềm năng năng lượng bức xạ, gió và sóng ở Việt Nam như sau:

Về tiềm năng năng lượng bức xạ:

Theo số liệu tính toán cho thấy, Việt Nam có tiềm năng năng lượng bức xạ dồi dào; phân hóa theo không gian: thấp hơn ở miền Bắc và cao hơn ở miền

Nam, cao nhất ở ven biển Nam Trung Bộ-Bà Rịa Vũng Tàu; theo thời gian: thấp hơn vào các tháng mùa đông và cao hơn vào các tháng mùa hè. Trung bình cả nước, tổng tiềm năng năng lượng bức xạ đạt giá trị khoảng 1.500-1.600 kWh/m²/năm (tương ứng khoảng 4,0-4,5 kWh/m²/ngày), được đánh giá ở mức có tiềm năng khai thác từ hiệu quả đến hiệu quả cao.

i) Khu vực Tây Bắc: tổng tiềm năng trung bình khu vực đạt giá trị khoảng 1.600 kWh/m²/năm, cao hơn so với các vùng khí hậu thuộc Bắc Bộ. Tiềm năng năng lượng bức xạ của các tháng trong năm đều ở mức từ khả năng khai thác hiệu quả đến hiệu quả cao. Trong đó, tiềm năng cao nhất là từ tháng III đến tháng X, đặc biệt là vào thời kỳ từ tháng IV đến tháng VII. Theo số liệu viễn thám độ phân giải cao, nhiều điểm thuộc khu vực Tây Bắc có tiềm năng năng lượng bức xạ trên 1.500 kWh/m²/năm.

ii) Khu vực Đông Bắc: tổng tiềm năng trung bình khu vực đạt giá trị phổ biến khoảng 1.400 đến 1.500 kWh/m²/năm; có sự phân hóa khá rõ ràng theo không gian. Hầu hết các tháng trong năm đều có tài nguyên năng lượng bức xạ ở mức dồi dào, ở mức khả năng khai thác là hiệu quả cao; riêng vào các tháng mùa đông (tháng XII, I, II), tiềm năng năng lượng bức xạ ở mức thấp (dưới 3,2 Wh/m²/ngày).

iii) Khu vực Đồng Bằng Bắc Bộ: tiềm năng năng lượng bức xạ ở khu vực này tương đương với khu vực Đông Bắc. Tuy nhiên, phân hóa theo không gian là tương đồng hơn so với khu vực Đông Bắc. Trung bình khu vực, tổng tiềm năng năng lượng bức xạ đạt giá trị phổ biến khoảng 1.400-1.500 kWh/m²/năm. Trong đó, hầu hết các tháng trong năm đều có tiềm năng năng lượng dồi dào, ở mức khả năng khai thác là hiệu quả cao; riêng vào các tháng mùa đông (tháng XII, I, II), tiềm năng năng lượng bức xạ ở mức thấp (dưới 3,2 Wh/m²/ngày).

iv) Khu vực Bắc Trung Bộ: tài nguyên năng lượng bức xạ ở khu vực này là khá dồi dào, tiềm năng năng lượng trung bình khu vực đạt giá trị khoảng 1.500 kWh/m²/năm; thấp hơn ở các tỉnh phía Bắc và cao hơn ở các tỉnh phía Nam; cao nhất ở tỉnh Quảng Trị và Thừa Thiên Huế. Tại các tỉnh phía Bắc, tiềm năng năng lượng bức xạ cao đáng chú ý từ tháng III đến tháng XI (ở mức có tiềm năng khai thác hiệu quả đến hiệu quả cao), cao nhất vào tháng V-VIII; thấp nhất vào các tháng mùa đông (tháng XII, I-II). Tại các tỉnh phía Nam khu vực, tiềm năng năng lượng bức xạ dồi dào ở hầu hết các tháng, ở mức tiềm năng khai thác từ hiệu quả đến hiệu quả cao; riêng tháng XII, tiềm năng năng lượng bức xạ ở các địa phương này là tương đối thấp.

v) Khu vực Nam Trung Bộ: là khu vực có tiềm năng năng lượng bức xạ dồi dào nhất cả nước, với tiềm năng năng lượng bức xạ trung bình phổ biến trong khoảng 1.900 kWh/m²/năm đến 2.000 kWh/m²/năm, thậm chí theo số liệu viễn thám cho thấy nhiều điểm có tiềm năng trên 2.000 kWh/m²/năm. Đối với Hoàng Sa tiềm năng bức xạ dao động 1877 kWh/m²/năm và Trường Sa dao động 2000 kWh/m²/năm. Như vậy, tại khu vực Nam Trung Bộ, tiềm năng năng lượng bức xạ trong các tháng đều cao, có tiềm năng khai thác ở mức hiệu quả cao.

vi) Khu vực Tây Nguyên: có tiềm năng năng lượng bức xạ thấp hơn so với khu vực Nam Trung Bộ, phổ biến khoảng 1800 kWh/m²/năm đến 1900 kWh/m²/năm. Tại các tháng trong năm, tiềm năng năng lượng bức xạ đều ở mức dồi dào và có thể khai thác ở mức hiệu quả cao. Theo số liệu viễn thám cho thấy nhiều điểm có tiềm năng trên 1.900 kWh/m²/năm.

vii) Khu vực Nam Bộ: có tiềm năng năng lượng bức xạ tương đương khu vực Tây Nguyên, phổ biến khoảng 1800 kWh/m²/năm. Tại các tháng trong năm, tiềm năng năng lượng bức xạ đều ở mức dồi dào và có thể khai thác ở mức hiệu quả cao. Theo số liệu viễn thám cho thấy nhiều điểm có tiềm năng lớn hơn số liệu quan trắc.

Bên cạnh các kết quả tính toán tiềm năng năng lượng bức xạ từ số liệu thực đo tại các trạm quan trắc, thông tin tiềm năng năng lượng bức xạ từ số liệu viễn thám có ý nghĩa quan trọng cho các đánh giá ở quy mô nhỏ (tỉnh, huyện) phục vụ lập bản đồ quy hoạch và phát triển năng lượng bức xạ ở Việt Nam. Đặc biệt, thông tin viễn thám có độ phân giải cao có thể cung cấp thông tin chi tiết các khu vực có tiềm năng cao và đầu tư hiệu quả trong phát triển năng lượng tái tạo cũng như cung cấp dữ liệu đầu vào cho việc khai thác năng lượng khi vận hành.

Về tiềm năng năng lượng gió:

Tiềm năng năng lượng gió trên đất liền:

Trên đất liền, tài nguyên năng lượng gió tương đối dồi dào và có sự phân hóa mạnh theo không gian và thời gian; cao nhất ở vùng ven biển từ Bắc vào Nam, phía Nam của Bắc Trung Bộ và một số địa phương thuộc khu vực Tây Nguyên (Gia Lai, Đắk Lắk, Đắk Nông). Phân bố theo không gian về tiềm năng năng lượng gió là khá tương đồng nhau, càng lên cao tiềm năng năng lượng gió càng lớn và vùng tiềm năng lớn được mở rộng hơn. Cụ thể:

i) Khu vực Đông Bắc chỉ có tiềm năng khai thác tại các độ cao trên 100 m tập trung ở tỉnh Quảng Ninh, Lạng Sơn.

ii) Khu vực Đồng bằng Bắc Bộ gió trung bình đạt khoảng 3-5 m/s nhưng đối với khu vực ven biển tỉnh Nam Định và Ninh Bình có thể đạt 5-7 m/s (từ tháng 1 đến tháng 7 và từ tháng 10 đến tháng 12). Tại khu vực Đồng bằng Bắc Bộ, tiềm năng khai thác không liên tục quanh năm và cần xem xét khai thác ở các độ cao trên 100m như khu vực Đông Bắc.

iii) Khu vực ven biển Bắc Trung Bộ, gió trung bình thuộc tỉnh Hà Tĩnh giáp tỉnh Quảng Bình đạt 5-7 m/s và tập trung trong các tháng 6, 7, 11, 12. Tại khu vực Hà Tĩnh, các tháng 11 và tháng 12 là thời điểm có khả năng khai thác nhất về tiềm năng năng lượng gió.

iv) Khu vực Trung Trung Bộ có gió trung bình đạt 5-7 m/s (tập trung trong các tháng 6 đến tháng 8, tháng 11 và tháng 12 tại Quảng Bình, Quảng Trị, ven biển tỉnh Quảng Nam) có tiềm năng khai thác mạnh nhất. Lưu ý riêng đối với đặc điểm gió mạnh ($> 7 \text{ m/s}$ - 8 m/s) ở khu vực Trung Trung Bộ tập trung vào phía Tây tiếp giáp với Lào của khu vực Quảng Bình, Quảng Trị, Thừa Thiên Huế.

v) Khu vực Nam Trung Bộ có gió trung bình đạt 5-7 m/s tập trung ở ven biển và có tiềm năng khai thác rất lớn.

vi) Khu vực Tây Nguyên, gió trung bình đạt 5-7 m/s (phổ biến ở các tháng 1, 2, 6, 7, 8, 11, 12) và có tiềm năng khai thác hầu hết các tháng trong năm. Lưu ý, riêng đối với đặc điểm gió mạnh ($> 7 \text{ m/s}$ - 8 m/s) tập trung ở các tỉnh Kon Tum, Gia Lai.

vii) Khu vực Nam Bộ nói chung và riêng cho khu vực Đông Nam Bộ, gió trung bình đạt khoảng 5-7 m/s (tập trung vào các tháng 1 đến tháng 4, tháng 11, tháng 12). Khả năng khai thác tiềm năng năng lượng gió ở khu vực Đông Nam Bộ tập trung vào các tháng 1 đến tháng 3, tháng 11 và tháng 12.

Đánh giá tổng thể có thể thấy khu vực Trung Trung Bộ (Quảng Bình và Quảng Trị, trung bình khoảng $150\text{-}250 \text{ W/m}^2$), Nam Trung Bộ (các tỉnh ven biển, $180\text{-}280 \text{ W/m}^2$) và khu vực Tây Nguyên (Kon Tum, Gia lai và Đắk Lắk, $200\text{-}300 \text{ W/m}^2$) là những khu vực trọng tâm để khai thác tiềm năng gió trên đất liền. Ngoài ra là khu vực ven biển từ Thái Bình đến Thanh Hóa và miền Đông Nam Bộ ($100\text{-}150 \text{ W/m}^2$) nhưng điểm hạn chế là không thực sự có sự liên tục trong năm. Đối với việc khai thác ở các độ cao trên 150 m-200 m, đặc biệt phù hợp với việc triển khai ở phía Bắc, các bản đồ tiềm năng năng lượng gió trên đất

liên cho thấy khả năng khai thác được rất lớn và cần xem xét về khả năng thi công, mức độ đáp ứng về mặt kỹ thuật và thiết lập các nhà máy khai thác ở những độ cao này.

Tiềm năng năng lượng gió ngoài khơi:

Ở các độ cao 100 m các vùng biển có tiềm năng năng lượng gió tốt nhất là 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, tiềm năng gió đạt ở mức tốt đến rất tốt ở khu vực biển Ninh Thuận đến Bà Rịa-Vũng Tàu, với tốc độ gió trung bình năm từ 8 đến 10 m/s, mật độ năng lượng trung bình năm phổ biến từ 500 đến trên 700 W/m². Cụ thể:

i) Vùng biển Bắc vịnh Bắc Bộ: Hướng gió chủ đạo là hướng Đông đến Đông Bắc. Trung bình năm, tốc độ gió từ 6-8 m/s, mật độ năng lượng gió khoảng 200-500 W/m².

ii) Vùng biển Nam vịnh Bắc Bộ: Hướng gió chủ đạo là hướng Đông và Đông Đông Nam. Trung bình năm, tốc độ gió từ 6-8 m/s, mật độ năng lượng gió khoảng 200-500 W/m².

iii) Vùng biển Quảng Trị đến Quảng Ngãi: Hướng gió chủ đạo là hướng Đông. Trung bình năm, tốc độ gió từ 6-8 m/s, mật độ năng lượng gió phổ biến từ 200-400 W/m².

iv) Vùng biển Bình Định đến Ninh Thuận: Hướng gió chủ đạo là hướng Bắc đến Đông Đông Bắc. Trung bình năm, tốc độ gió từ 7-9 m/s, mật độ năng lượng gió phổ biến từ 300-600 W/m².

v) Vùng biển Bình Thuận đến Cà Mau: Hướng gió chủ đạo là hướng Bắc Đông Bắc đến Đông. Trung bình năm, tốc độ gió từ 7-10 m/s và mật độ năng lượng gió khoảng 300-700 W/m².

vi) Vùng biển Cà Mau đến Kiên Giang: Hướng gió chủ đạo là hướng Đông đến Đông Đông Nam. Trung bình năm, tốc độ gió từ 5-7 m/s, mật độ năng lượng từ 100-300 W/m².

Ở các vùng biển phía Bắc, thời gian có thể khai thác tiềm năng năng lượng gió tốt nhất (tốc độ gió trung bình ≥ 8 m/s) là từ tháng 10 đến tháng 2 ở vùng biển Bắc vịnh Bắc Bộ; từ tháng 11 đến tháng 1 ở các vùng biển Nam vịnh Bắc Bộ, Quảng Trị đến Quảng Ngãi. Ở các vùng biển phía Nam, tốc độ gió cũng như mật độ năng lượng gió có sự phân hoá theo mùa. Tốc độ gió/mật độ năng lượng gió trong các tháng chính mùa hoạt động của gió mùa đông và mùa hè lớn

hơn các tháng chuyển tiếp; trong đó trị số trong mùa đông lớn hơn nhiều so với mùa hè ở các vùng biển Bình Định đến Ninh Thuận, Bình Thuận đến Cà Mau và không có sự chênh lệch nhiều giữa hai mùa ở vùng biển Cà Mau đến Kiên Giang. Thời gian nên khai thác tiềm năng năng lượng gió tốt nhất ở các vùng biển Bình Định đến Ninh Thuận, Bình Thuận đến Cà Mau là từ tháng 11 đến tháng 2, với tốc độ gió trung bình trên 8 m/s và mật độ năng lượng gió phổ biến trên 500 W/m².

Ở các mực độ cao 150 và 200 m, phân bố không gian mật độ năng lượng gió trên các vùng biển ven bờ tương tự mực 100 m, trị số cao có xu hướng lệch về phía nam hơn. Mật độ năng lượng gió tại các mực 150 m, 200 m xấp xỉ mực 100 m ở các vùng biển Bắc vịnh Bắc Bộ, Nam vịnh Bắc Bộ, Quảng Trị đến Quảng Ngãi, Cà Mau đến Kiên Giang; và cao hơn không nhiều ở các vùng biển Bình Định đến Ninh Thuận (300-700 W/m²), Bình Thuận đến Cà Mau (300-800 W/m²).

Về tiềm năng năng lượng sóng

Kết quả tính toán năng lượng sóng trung bình nhiều năm cho thấy khu vực có tiềm năng năng lượng sóng > 2 kW/m bao phủ toàn bộ vùng Biển Đông, ngoại trừ khu vực vịnh Thái Lan; khu vực có tiềm năng năng lượng > 10 kW/m trải rộng từ phía Bắc đến giữa Biển Đông và kéo dài đến ngoài khơi khu vực Nam Trung Bộ; khu vực có tiềm năng năng lượng cao nằm ở eo Luzon.

Trong mùa Đông, gió mùa Đông Bắc tạo ra vùng năng lượng sóng khá mạnh trên vùng bắc và giữa Biển Đông, nhất là trong tháng 12 với tiềm năng năng lượng lớn nhất tới 70 kW/m. Vùng bờ biển miền Trung Việt Nam từ Đà Nẵng đến Ninh Thuận năng lượng sóng lớn nhất khoảng 50-60 kW, với tần suất xuất hiện ngưỡng “tiềm năng trung bình” tới trên 60% và ngưỡng “tiềm năng cao” tới 40%, do vậy đây sẽ là khoảng thời gian khai thác năng lượng sóng thuận lợi nhất trong năm. Trong mùa gió Tây Nam, do tốc độ gió không mạnh bằng gió mùa đông bắc và khu vực ảnh hưởng cũng hạn chế ở vùng phía nam Biển Đông nên tiềm năng năng lượng sóng về cơ bản không lớn. Năng lượng sóng cực đại trong mùa này chỉ đạt khoảng 25 kW/m xảy ra vào các tháng 7 và tập trung tại khu vực ngoài khơi phía đông nam Biển Đông.

Tiềm năng năng lượng sóng vùng ven biển Việt Nam thông qua số liệu trích xuất tại 20 điểm ven bờ và các trạm hải văn cũng cho thấy vùng có năng lượng sóng lớn nhất tập trung ở khu vực Trung Bộ (từ Đà Nẵng đến Ninh Thuận); ven biển Bắc Bộ và Nam Bộ có tiềm năng thấp hơn; bắc vịnh Bắc Bộ và

vùng biển từ Cà Mau đến Kiên Giang là hai khu vực có tiềm năng năng lượng sóng thấp nhất.

b. Tồn tại, hạn chế

Nguồn số liệu sử dụng trong Báo cáo đã được kiểm nghiệm thống kê, trong khi đó các phương pháp sử dụng là những phương pháp thực nghiệm đã được công bố trên các tạp chí trong nước và quốc tế, do đó kết quả của Báo cáo có thể đảm bảo được độ tin cậy nhất định. Tuy nhiên, số liệu quan trắc còn hạn chế và các kết quả sử dụng trong Báo cáo mới chỉ được tính toán dưới dạng tiềm năng lý thuyết. Để tính toán tiềm năng kỹ thuật hoặc tiềm năng khai thác (dạng tài nguyên) cần thiết phải tiến hành điều tra, khảo sát, bổ sung nguồn số liệu về năng lượng bức xạ, gió, sóng tại một khu vực cụ thể.

3. Kiến nghị

Trong bối cảnh BĐKH hiện nay, đặc biệt là sau thỏa thuận Paris về BĐKH và thỏa thuận Net-ZERO tại Hội nghị COP26, năng lượng tái tạo nói chung và năng lượng gió nói riêng được xem là một trong những giải pháp quan trọng nhất nhằm giảm BĐKH toàn cầu. Quán triệt quan điểm và chỉ đạo thống nhất của Đảng, của Bộ Chính trị về ứng phó với BĐKH, hướng tới sử dụng năng lượng tái tạo thay thế nguồn năng lượng hiện có đang cạn kiệt, Ngành Khí tượng Thủy văn sẽ tiếp tục nỗ lực không ngừng để nghiên cứu, mang lại những sản phẩm thiết thực, phục vụ trực tiếp xã hội.

Báo cáo tiềm năng năng lượng gió, sóng ngoài khơi lần thứ nhất được công bố vào tháng 4/2022 đã bước đầu cung cấp các thông tin về phân bố tiềm năng năng lượng gió, sóng chi tiết tại các vùng biển của Việt Nam và trên khu vực biển Đông. Báo cáo tiềm năng năng lượng bức xạ, gió và sóng tại Việt Nam lần này được xây dựng trên cơ sở kế thừa các kết quả của Báo cáo lần thứ nhất, bổ sung thông tin chi tiết hơn về tiềm năng gió ngoài khơi và cung cấp thêm các thông tin về phân bố tiềm năng gió và bức xạ trên đất liền tại Việt Nam. Báo cáo là tài liệu hữu ích để các bộ, ngành, địa phương tham khảo và sử dụng trong xây dựng quy hoạch, định hướng phát triển kinh tế - xã hội và các hoạt động có liên quan.

Tuy nhiên, việc tính toán chi tiết bức xạ, gió và sóng tại từng địa phương hoặc từng khu vực cụ thể đòi hỏi cần có nhiều thông tin đầu vào hơn nữa, đặc biệt là các thông tin về số liệu quan trắc gió trên cao và số liệu đặc trưng bề mặt địa hình. Trong khi đó, hệ thống quan trắc của ngành Khí tượng Thủy văn thường tập trung vào chế độ gió sát bề mặt (mức 10 m), do đó những quan trắc

gió ở các mực khai thác năng lượng gió (50 m, 100 m, 200 m, ...) cần có những bổ sung bao gồm các quan trắc mang tính chất chuyên đề và quan trắc liên tục.

Trong thời gian tới, để kết quả tính toán tiềm năng năng lượng gió và bức xạ mặt trời có thể sử dụng hiệu quả hơn nữa cho các quy hoạch, dự án phát triển kinh tế tại từng khu vực cụ thể cần thiết phải triển khai các nhiệm vụ và giải pháp như sau:

(1) Tận dụng tối đa các nguồn dữ liệu quan trắc, phân tích chi tiết của Việt Nam bao gồm các quan trắc khí tượng mật độ cao, các dữ liệu cập nhật-phân giải cao về lớp thảm phủ thực vật và lớp đất sử dụng (land-use), qua đó phản ánh tối đa được thông tin bề mặt trong quá trình mô phỏng và xây dựng bản đồ tiềm năng gió phân giải cao cho toàn bộ lãnh thổ Việt Nam.

(2) Thực hiện khảo sát, quan trắc bổ sung nhất là tại những khu vực có tiềm năng lớn về khai thác năng lượng gió, bức xạ mặt trời nhưng số liệu quan trắc còn hạn chế.

(3) Xây dựng mô hình độ số trị phân giải cao cùng với áp dụng kỹ thuật đồng hóa dữ liệu, cập nhật số liệu mới (địa hình, khí quyển), kiểm chứng và hiệu chỉnh với các nguồn số liệu (quan trắc truyền thống và phi truyền thống), qua đó thực hiện mô phỏng nhiều năm gió và tiềm năng gió, chế độ bức xạ và tiềm năng khai thác năng lượng bức xạ.

(4) Xây dựng cơ sở dữ liệu số và thành lập các bản đồ số tiềm năng chi tiết cho từng khu vực. Các sản phẩm được công bố, cập nhật trên Trang thông tin điện tử phục vụ các đối tượng có nhu cầu sử dụng.

(5) Xác định tiềm năng tối đa và hữu dụng năng lượng gió, mặt trời chi tiết cho từng khu vực và thời kỳ trong năm.

(6) Đánh giá ảnh hưởng của thiên tai, sử dụng đất (bão, gió mạnh, lốc, sét, sóng, nước biển dâng, dòng chảy nguy hiểm, lũ quét, sạt lở đất và môi trường) đối với các khu vực có tiềm năng khai thác năng lượng gió, mặt trời.

(7) Về lâu dài, nhằm phục vụ phát triển bền vững và vận hành hiệu quả cho các dự án phát triển năng lượng tái tạo, cần phát triển các công cụ tích hợp sản phẩm dự báo mô hình, quan trắc vệ tinh, radar để thiết lập các sản phẩm chuyên về cảnh báo thiên tai, dự báo tác động phục vụ công tác sản xuất năng lượng tái tạo; phát triển sản phẩm dự báo năng lượng gió, sóng thời gian thực dựa trên công nghệ mô hình số trị phục vụ công tác sản xuất năng lượng tái tạo.

Ngành Khí tượng Thủy văn nhận thấy cần thiết phải có các chế tài để quản lý nguồn tài nguyên năng lượng tái, tạo, đặc biệt đối với các nguồn tài nguyên năng lượng như bức xạ, gió và sóng đã được kiểm chứng là có khả năng khai thác, hữu dụng đối với sự phát triển kinh tế của đất nước và coi đây là cơ hội cho phát triển công nghệ và công nghiệp năng lượng mới, góp phần thực hiện cam kết của Việt Nam tại Hội nghị COP6 với mục tiêu phát thải ròng bằng “0” đến năm 2050./.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tiếng Việt

1. Bộ Kế hoạch và Đầu tư, Vụ Khoa học, Giáo dục, Tài nguyên và Môi trường, 2021. Hỗ trợ chương trình Phát triển bền vững về Môi trường tại Việt Nam, Tiềm năng và phương hướng khai thác các dạng năng lượng tái tạo ở Việt Nam. BCTK Dự án.
2. Bùi Thị Tân, 1998. Áp dụng phần mềm WA^SP để tính toán năng lượng gió cho các điều kiện địa hình phức tạp ở Việt Nam. Hà Nội, 1998.
3. Bùi Thị Tân, 2002. Kiểm chứng mô hình WA^SP tính năng lượng gió theo số liệu quan trắc gió trên tháp khí tượng Láng, Hà Nội, 2002.
4. CỤC THÔNG TIN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ QUỐC GIA, Tổng luận: Tiềm năng phát triển năng lượng tái tạo ở Việt Nam. 2015.
5. Dương Văn Khảm, Nguyễn Văn Viết, 2012. Giáo trình Khí hậu nông nghiệp phục vụ sản xuất nông nghiệp Việt Nam, NXB Khoa học tự nhiên và công nghệ.
6. Lê Văn Lưu và nnk, 1998. Báo cáo tổng kết đề tài “Điều tra cơ bản phân bố tốc độ gió theo chiều cao tại Quy Nhơn Bình Định và đề xuất các giải pháp ứng dụng”. Đề tài Nhà nước, 1998 – 2000. Lưu trữ tại Viện Vật Lý Địa Cầu.
7. Lê Văn Lưu và nnk, 2002, Profile tốc độ gió theo chiều cao, trong lớp khí quyển sát đất, khu vực Phước Hoà- Bình Định, Tạp chí các khoa học về trái đất, 24(2), 233-238.
8. Lê Văn Lưu và nnk, 2006. Nghiên cứu và đánh giá khả năng phát điện bằng sức gió tại Phước Hoà (Bình Định), Tạp chí các khoa học về trái đất, 28(3), 376-381.
9. Mai Văn Khiêm, Nguyễn Đăng Mậu và nnk, 2015. Atlas khí hậu và biến đổi khí hậu Việt Nam. Báo cáo TK đề tài KHCN cấp Nhà nước, mã số: BĐKH.17.
10. Nguyễn Đức Ngữ, Nguyễn Trọng Hiệu, 2004. Khí hậu và tài nguyên khí hậu Việt Nam. NXB Nông nghiệp, 2004.
11. Nguyễn Mạnh Đức, 1987. Ứng dụng năng lượng gió. NXB TP. Hồ Chí Minh.
12. Nguyễn Mạnh Hùng và nnk, 2010. Nghiên cứu đánh giá tiềm năng các nguồn năng lượng biển chủ yếu và đề xuất các giải pháp khai thác. Đề tài KC.09.19/06-10. Bộ Khoa học và Công nghệ.
13. Nguyễn Quốc Khánh, 2011. Thông tin về Năng lượng gió tại Việt Nam, Dự án Năng lượng Gió GIZ/MoIT, Hà Nội.

14. Nguyễn Văn Bản, 2010. Tiềm năng năng lượng gió, hiện trạng ứng dụng, cơ hội và thách thức trong phát triển khai thác tại Việt Nam. Tài liệu Hội nghị ENEREXPRO Việt Nam, 2010.
15. Nguyễn Trọng Hiệu và nnk, 1989. Xây dựng tập số liệu Atlas khí hậu Việt Nam. Số liệu Khí tượng thủy văn Việt Nam (1989), Chương trình tiến bộ khoa học kỹ thuật cấp nhà nước 42A.
16. Phan Mỹ Tiên, 1994. Phân bố tiềm năng năng lượng gió trên lãnh thổ Việt Nam. Luận án PTS. Khoa học Địa lý – Địa chất, Hà Nội.
17. Phan Mỹ Tiên, 2001. Một số đặc điểm trong chế độ gió ở Việt Nam đối với việc khai thác năng lượng gió, Hà Nội, 2001.
18. Phan Thanh Tùng, Vũ Chi Mai và Angelika Wasielke 2012. Tình hình phát triển điện gió và khả năng cung ứng tài chính cho các dự án ở Việt Nam, Bản nghiên cứu Dự án Năng lượng Gió GIZ, Hà Nội, 03/2012
19. Tạ Văn Đa và nnk, 2006. Đánh giá tài nguyên và khả năng khai thác năng lượng gió trên lãnh thổ Việt Nam. Báo cáo tổng kết đề tài KHCN cấp Bộ. Hà Nội, 10-2006.
20. Trần Thục, Tạ Văn Đa, Nguyễn Văn Thắng, 2012. Năng lượng gió ở Việt Nam: Tiềm năng và khả năng khai thác. NXB Khoa học Kỹ thuật, 2012.
21. Trần Việt Liễn, 2007. Tiềm năng năng lượng gió ở Việt Nam. Hội thảo Quốc gia về KTTV và MT, 2007.
22. Trần Việt Liễn, Bùi Thị Tân, 1998. Tiềm năng năng lượng gió huyện đảo Lý Sơn. Hà Nội, 1998.
23. Nguyễn Tiến Công, Phạm Thị Thanh Ngà và nnk, 2021. Nghiên cứu đánh giá và dự báo tiềm năng năng lượng mặt trời phục vụ phát triển năng lượng sạch cho Việt Nam sử dụng kết hợp công nghệ viễn thám và mô hình số trị. BCTK đề tài KHCN cấp Nhà nước, mã số VT-CB.14/18-20, thuộc Chương trình Khoa học và Công nghệ độc lập cấp Quốc gia về công nghệ vũ trụ giai đoạn 2016-2020 (Gọi tắt là Chương trình Khoa học Công nghệ vũ trụ - CNVT/16-20).
24. Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu, 2019. Xây dựng hệ thống phân tích dự báo và cung cấp các sản phẩm khí hậu, bộ công cụ hỗ trợ ra quyết định cảnh báo một số loại thiên tai khí hậu chính phục vụ phát triển kinh tế-xã hội và phòng chống thiên tai. BCTK Dự án cấp Bộ TNMT.
25. Tổng cục Khí tượng Thủy văn, 2022. Báo cáo tiềm năng năng lượng gió, sóng ngoài khơi tại các vùng biển Việt Nam.
26. Nguyễn Đức Ngữ, 1976: *Khí hậu Tây Nguyên*. Viện Khí tượng Thủy văn xuất bản.

27. Nguyễn Duy Chinh và nnk, 2002: *Kiểm kê, đánh giá tài nguyên khí hậu Việt Nam*. Báo cáo tổng kết đề tài cấp Bộ.
28. Nha Khí tượng, 1971: Bản đồ khí hậu Việt Nam (miền Bắc). In tại Cục Đo đạc và Bản đồ, Phủ Thủ tướng.
29. Phạm Ngọc Toàn, Phan Tất Đắc. Khí hậu Việt Nam. NXB khoa học và kỹ thuật, Hà Nội, 1993.
30. Báo cáo kết quả cập nhật phân vùng bão, xác định nguy cơ bão, nước dâng do bão và phân vùng gió cho các vùng ở sâu trong đất liền khi bão mạnh, siêu bão đổ bộ (2016). Bộ Tài nguyên và Môi trường tháng 12/2016 (Quyết định số 2901/QĐ – BTNMT) .
31. Báo cáo Tổng hợp Dự án Xây dựng hệ thống công cụ hỗ trợ dự báo thiên tai khí tượng thủy văn nhằm thực hiện luật phòng, chống thiên tai giai đoạn 2016-2019 (2022). Tổng cục Khí tượng thủy văn.
32. Nguyễn Văn Hưởng (2017). Nghiên cứu khả năng xuất hiện bão mạnh, biểu bão trên các khu vực khác nhau của Việt Nam và hệ quả mưa, gió mạnh, nước biển dâng phục vụ phương án ứng phó. Báo cáo Tổng kết Đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ Tài nguyên và Môi trường.
33. Nguyễn Ngọc Thuỷ và nnk (2004): Nghiên cứu bổ sung và hoàn chỉnh bản đồ phân vùng nhỏ động đất Tp. Hà Nội mở rộng, tỷ lệ 1:25.000, lập cơ sở dữ liệu về đặc trưng dao động nền đất ở Hà Nội, Viện Kỹ thuật xây dựng và Viện Vật lý địa cầu.
34. Đỗ Ngọc Quỳnh (2003). Đánh giá tiềm năng năng lượng biển Việt Nam. Báo cáo tổng kết đề tài cấp Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

Tiếng Anh

1. Aarhus, 2019. World's most powerful wind turbine selected for Belgium's largest offshore wind park (Available online at <http://www.mhivestasoffshore.com/norther-foi/>, accessed 12 April 2019).
2. Al Mahmud Al Mamun, Md Rakibul Hasan, Mst. Mahfuza Sharmin, Md. Enamul Kabir, 2022. A short review on the renewable energy resources and development of the solar house. DOI: 10.15406/mseij.2022.06.00175
3. Alam MT, Park S-W, Lee S-Y, Jeong Y-O, Girolamo AD, Seo Y-C, et al. Cogasification of treated solid recovered fuel residue by using minerals bed and biomass waste blends. *Energies*. 2020;13(8):2081. <https://doi.org/10.3390/en13082081>.

4. Albuhaire, M. H., 2006. Assessment and Analysis of Wind Power Density in Taiz—Republic of Yemen. Ass. Univ. Bull. Environ. Res. Vol. 9 No. 2, October 2006.
5. American inventor Uses Egypt's Sun for Power – Appliance Concentrates the Heat Rays and Produces Steam, Which Can Be Used to Drive Irrigation Pumps in Hot Climates. The New York Times. 1916.
6. Argüeso, D., and S. Businger, 2018. Wind power characteristics of Oahu, Hawaii. Renewable Energy, 128, 324–336.
7. ASEAN Energy Database System (AEDS): <https://aeds.aseanenergy.org/>
8. Balog, I., P. M. Ruti, I. Tobin, V. Armenio, and R. Vautard, 2016: A numerical approach for planning offshore wind farms from regional to local scales over the Mediterranean. Renewable Energy, 85, 395–405.
9. Barbara Jimenez, Francesco Durante, Bernhard Langem Torsten Kreutzer, Jens Tambke. 2007 Offshore Wind Resource Assessment with WAsP and MM5: Comparative Study for the German Bight, Wind Energ. 2007; 10:121–134
10. Bhandari KP, Collier JM, Ellingson RJ, Apul DS. Energy payback time (EPBT) and energy return on energy invested (EROI) of solar photovoltaic systems: A systematic review and meta-analysis. Renew Sustain Energy Rev 2015;47: 133–41.
11. Bhatia SC. 2 - Solar radiations. In: Bhatia SC, editor. Advanced Renewable Energy Systems: Woodhead Publishing India; 2014. p. 32-67
12. Bisht, G., Bras, R.L., Estimation of net radiation from the MODIS data under all sky conditions: Southern Great Plains case study. . Remote Sens. Environ., 2010. 114, 1522–1534.
13. Bisht, G., Venturini, V., Islam, S., Jiang, L., , Estimation of the net radiation using MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) data for clear sky days. Remote Sens. Environ. , 2005. 97, 52–67.
14. BP Statistical Review of World Energy: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>
15. Cano, D., Monget, J. M., Albuisson, M., Guillard, H., Regas, N., & Wald, L. , A method for the determination of the global solar radiation from meteorological satellites data. . Solar energy, , 1986. 37(1), 31-39.
16. Carvalho, D., A. Rocha, M. Gómez-Gesteira, and C. S. Santos, 2014: WRF wind simulation and wind energy production estimates forced by different reanalyses: Comparison with observed data for Portugal. Applied Energy, 117, 116–126.

17. Chen, F., and J. Dudhia, 2001: Coupling an advanced land surface hydrology model with the Penn State-NCAR MM5 modeling system. Part II: Preliminary model validation. *Mon.*
18. D. Carvalho, A. Rocha, M. Gómez-Gesteira, C. Silva Santos (2004): Offshore wind energy resource simulation forced by different reanalyses: Comparison with observed data in the Iberian Peninsula.
19. D. Elliott and M. Schwartz, 2006. Wind Resource Mapping for United States Offshore Areas. Presented at WindPower 2006 Conference
20. D. Elliott, M. Schwartz, G. Scott, S. Haymes, D. Heimiller Wind Energy, 2002. Resource Atlas of Southeast China. U.S. Department of Energy Office of Scientific and Technical Information. NREL/TP-500-32781
21. D. Elliott, M. Schwartz, G. Scott, S. Haymes, D. Heimiller, R. George. 2002. Wind Energy Resource Atlas of Southeast China. WF981020 and DO401020
22. D. Elliott, M. Schwartz, R. George, S. Haymes, D. Heimiller, G. Scott, 2001. Wind Energy Resource Atlas of the Philippines. NREL/TP-500-26129.
23. David Milborrow, 2007. The Potential of Offshore Wind. The European Wind Atlas. <http://www.britishwindenergy.co.uk/site-map.html>
24. Doan, V. Q., H. Kusaka, M. Matsueda, and R. Ikeda, 2019: Application of mesoscale ensemble forecast method for prediction of wind speed ramps. *Wind Energy*, doi:10.1002/we.2302.
25. Doan, V. Q., H. Kusaka, T. V. Du, D. D. Nguyen, and T. Cong, 2018: Numerical approach for studying offshore wind power potential along the southern coast of Vietnam. *Lecture Notes in Civil Engineering, Proc. the Vietnam Symposium on Advances in Offshore Engineering*, 18, 245–249.
26. Doan, V. Q., V. N. Dinh, H. Kusaka, T. Cong, A. Khan, D. V. Toan, and N. D. Duc, 2019: Usability and challenges of offshore wind energy in Vietnam revealed by the regional climate model simulation. *SOLA*, 15, 113–118, doi:10.2151/sola.2019-021
27. DTU Library, 2022: <https://orbit.dtu.dk/>
28. DTU Wind Energy, 2022: <https://www.wasp.dk/waspcfd>
29. EMD International, 2022: <https://www.emd-international.com/windpro/>
30. Environment and Climate Change Canada's Wind Atlas, 2022: <http://www.windatlas.dk/Home/News.html>
31. Erik Berge, Rolv E. Bredesen, and Knut Mollestad, 2006. Combining WAsP with the WRF meso-scale model. Evaluation of wind resource assessment for three Norwegian wind farm areas.

32. European Environment Agency, 2009. Europe's onshore and offshore wind energy potential An assessment of environmental and economic constraints. EEA Technical report No 6/2009.
33. FAO No.56, Irrigation and Drainage Paper, Guidelines for computing crop water requirements, Rome, Italy.
34. Farreny R, Morales-Pinzon ´ T, Guisasola A, Taya` C, Rieradevall J, Gabarrell X. Roof selection for rainwater harvesting: Quantity and quality assessments in Spain. *Water Res* 2011;45(10):3245–54.
35. Fatih Topaloğlu, Hüseyin Pehlivan, 2018. Analysis of Wind Data, Calculation of Energy Yield Potential, and Micrositing Application with WASP. *Advances in Meteorology*, vol. 2018, Article ID 2716868, 10 pages, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/2716868>.
36. Foley, A. M., P. G. Leahy, A. Marvuglia, and E. J. McKeogh, 2012: Current methods and advances in forecasting of wind power generation. *Renewable Energy*, 37, 1–8.
37. Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), 2016: Vietnam Power Development Plan for the Period 2011–2010: Highlights of the PDP 7 revised. GIZ Energy Support Programme in Viet Nam (Available online at <http://gizenergy.org.vn>, accessed 12 April 2019).
38. Gielen D, Boshell F, Saygin D, Bazilian MD, Wagner N, Gorini R. The role of renewable energy in the global energy transformation. *Energy Strategy Reviews*. 2019;24:38–50.
39. Global Wind Atlas, 2022: <https://globalwindatlas.info/>
40. Guanghui Huang, Z.L., Xin Li, Shunlin Liang, Kun Yang, Dongdong Wang, Yi Zhang, Estimating surface solar irradiance from satellites: Past, present, and future perspectives. *Remote Sensing of Environment*, 2019. 233 (2019) p. 111371.
41. Guo, Z., and X. Xiao, 2014: Wind power assessment based on a WRF wind simulation with developed power curve modeling methods. *Abstract and Applied Analysis*, 2014, 1–15.
42. Heni, K. S., Khamees, A. B., and Al-Khateeb, T. R. 2014. Wind power density calculation in Karbala area-IRAQ by WASP. *Proceeding of Brunei International Conference on Engineering and Technology*, Institut Teknologi Brunei, Brunei Darussalam, November.
43. Heni, K. S., Khamees, A. B., Raja, O. H., 2015, Wind power density estimation in the Middle of Iraq “Karbala site”, *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management*, Volume 4, Issue 4, April 2015.

44. Hennessey, J., 1977: Some aspects of wind power statistics. *J. Appl. Meteor.*, 16, 119–128.
45. Herrando M, Markides CN. Hybrid PV and solar-thermal systems for domestic heat and power provision in the UK: Techno-economic considerations. *Appl Energy* 2016;161:512–32.
46. Hong, S., and J. Lim, 2006: The WRF single-moment 6-class microphysics scheme (WSM6). *J. Korean Meteor. Soc.*, 42, 129–151.
47. Hong, S.-Y., Y. Noh, and J. Dudhia, 2006: A new vertical diffusion package with an explicit treatment of entrainment processes. *Mon. Wea. Rev.*, 134, 2318–2341.
48. Hsu, S. A., E. A. Meindl, and D. B. Gilhousen, 1994: Determining the power-law wind-profile exponent under near-neutral stability conditions at sea. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 33, 757–765.
49. Huang, G.H., Li, X., Ma, M.G., Li, H.Y., Huang, C.L., High resolution surface radiation products for studies of regional energy, hydrologic and ecological processes over Heihe river basin, northwest China. *. Agric. For. Meteorol.*, 2016. 230, 67–78.
50. Huang, G.H., Liu, S.M., Liang, S.L., , Estimation of net surface shortwave radiation from MODIS data. *. Int. J. Remote Sens.*, 2012. 33, 804–825.
51. Ibrahim, M. Z., 2014. Statistical Analysis of Wind Power Density Based on the Weibull and Rayleigh Models of Selected Site in Malaysia. doi:10.18187/PJSOR.V9I4.580.
52. Imteaz MA, Shanableh A, Rahman A, Ahsan A. Optimisation of rainwater tank design from large roofs: A case study in Melbourne, Australia. *Resour Conserv Recycl* 2011;55(11):1022–9.
53. International Renewable Energy Agency (IRENA), 2021: Renewable energy statistics 2021. <https://irena.org/publications/2021/Aug/Renewable-energy-statistics-2021>
54. IPCC, 2011: Summary for Policymakers. In: IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation [O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C. von Stechow (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
55. Jacobson, M. Z., and M. A. Delucchi, 2011: Providing all global energy with wind, water, and solar power, Part I: Technologies, energy resources, quantities and areas of infrastructure, and materials. *Energy Policy*, 39, 1154–1169.

56. Jamil, M., Parsa, S., and Majidi, M. (1995). Wind power statistics and evaluation of wind energy density. *Renewable Energy*, vol. 6, no. 5, pp. 623–628, 1995.
57. John Kaldellis, Dimitrios Zafirakis, 2011. The wind energy (r)evolution: A short review of a long history. *Renewable Energy* · July 2011. DOI: 10.1016/j.renene.2011.01.002.
58. Kabir E, Kumar P, Kumar S, Adelodun AA, Kim K-H. Solar energy: Potential and future prospects. *Renew Sustain Energy Rev* 2018;82:894–900.
59. Kamdar, I., Ali, S., Taweekun, J., and Ali, H. M..2021. Wind Farm Site Selection Using WAsP Tool for Application in the Tropical Region. *Sustainability* 2021, 13, 13718. <https://doi.org/10.3390/su132413718>.
60. Kim, H.Y., Liang, S.L., , Development of a hybrid method for estimating land surface shortwave net radiation from MODIS data. . *Remote Sens. Environ.* , 2010. 114, 2393–2402.
61. Li, Z., Moreau, L., Arking, A., , On solar energy disposition: a perspective from observation and modeling. . *Bull. Am. Meteorol. Soc.* , 1997. 78, 53–70.
62. Mariska de Wild-Scholten MJ. Energy payback time and carbon footprint of commercial photovoltaic systems. *Sol Energy Mater Sol Cells* 2013;119:296–305.
63. Masahito IshiharaYoshio KatoToshihiro Abo[...]Yasushi Izumikawa, 2006: Characteristics and Performance of the Operational Wind Profiler Network of the Japan Meteorological Agency. *Journal of the Meteorological Society of Japan Ser II*
64. Mattar, C., and D. Borvarán, D., 2016: Offshore wind power simulation by using WRF in the central coast of Chile. *Renewable Energy*, 94, 22–31.
65. Meyer NI. Danish wind power development. *Energy Sustain Dev* 1995;2:18e25
66. Muthya, P. R. (2009). Asian and Pacific Centre for transfer of technology of the United nations- economic and social commission for Asia and the Pacific (ESCAP). *Wind Energy- Resource assessment handbook*.
67. Nasir El Bassam (2021), *Distributed Renewable Energies for Off-Grid Communities (Second Edition)*. Empowering a Sustainable, Competitive, and Secure Twenty-First Century. Chapter Eight - Wind energy. ISBN 978-0-12-821605-7
68. National Centers for Environmental Prediction, 2000: NCEP FNL Operational Model Global Tropospheric Analyses, continuing from July 1999 (Available online at <https://doi.org/10.5065/D6M043C6>, accessed 12 April 2019).

69. Nawri, N., G. N. Petersen, H. Björnsson, A. N. Hahmann, K. Jónasson, C. B. Hasager, and N. E. Clausen, 2014: The wind energy potential of Iceland. *Renewable Energy*, 69, 290–299.
70. Niels G. Mortensen¹, Jens Carsten Hansen, Jake Badger, Bo H. Jørgensen, Charlotte B. Hasager, Uwe S. Paulsen, Ole F. Hansen, Karen Enevoldsen 2006, Wind ATLAS for Egypt: Measurements, micro and mesoscal modelling. Wind Energy Department, Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark
71. Ohba, M., S. Kadokura, and D. Nohara, 2016: Impacts of synoptic circulation patterns on wind power ramp events in East Japan. *Renewable Energy*, 96, 591–602.
72. Parajuli, A. (2016). A statistical analysis of wind speed and power density based on Weibull and Rayleigh models of Jumla, Nepal. *Energy and Power Engineering*, Vol.8 No.7, July 2016, doi: 10.4236/epe.2016.87026.
73. Park S-W, Lee J-S, Yang W-S, Alam MT, Seo Y-C. A comparative study of the gasification of solid refuse fuel in downdraft fixed bed and bubbling fluidised bed reactors. *Waste and Biomass Valorisation*. 2020;11:2345–56.
74. Perez R., B.M., Hemker K., Kivalov S., Lorenz E., Pelland S., Schlemmer J., and Knowe G.V., , Evaluation of numerical weather prediction solar irradiance forecasts in the US. . *Proceedings Solar 2011, ASES National Conference*, Raleigh, NC. American Solar Energy Society, Boulder, CO, 2011.
75. Polo J., B.A., Martínez S., and Peruchena C.F., , Maps of solar resource and potential in Vietnam. . Ministry of Industry and trade of the socialist republic of Vietnam, 2015.
76. Price TJ. James Blyth – Britain’s First Modern Wind Power Engineer. *Wind Engineering*. 2005;29(3).
77. Rahman A, Keane J, Imteaz MA. Rainwater harvesting in Greater Sydney: Water savings, reliability and economic benefits. *Resour Conserv Recycl* 2012;61:16–21.
78. REN21, 2022. <https://www.ren21.net/reports/global-status-report/>.
79. Rigollier C, B.O., và Wald L. , On the clear sky model of the 4th European Solar Radiation Atlas with respect to the Heliosat method,. *Solar Energy*, , 2000. 68(1), 33-48.20.
80. Rigollier, C.L., M; Wald, L., The method Heliosat-2 for deriving shortwave solar radiation from satellite images, . *Solar Energy* 2004. 77, 159-169.
81. S. Pérez, P. A. Jimenez¹, J. Navarro¹, J. P. Montavez, C.G. Barquero³, A. Cuerva², J.F. Gonzalez-Rouco, F. Valero (2003): Using the MM5 model for

- wind prediction in a complex terrain site. European Wind Energy Conference & Exhibition EWEC 2003, Madrid, Spain.
82. W.C. Skamarock, J.B. Klemp, J. Dudhia, D.O. Gill, D.M. Barker, M.G. Duda, X.Y. Huang, W. Wang, and J.G. Powers, 2008: A description of the advanced research WRF version 3, NCAR Technical Note NCAR/TN-475CSTR.
 83. S. ShimadaTeruo OhsawaTeruo OhsawaK. Yatsu, 2009: A study on the ability of mesoscale model MM5 for offshore wind resource assessment in Japanese coastal waters. *Journal of the Meteorological Society of Japan*
 84. Said, F., and D. G. Long, 2011: Determining selected tropical cyclone characteristics using QuikSCAT's ultra-high resolution images. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 4, 857–869.
 85. Santos-Alamillos, F. J., D. Pozo-Vázquez, J. A. Ruiz-Arias, V.Lara-Fanego, and J. Tovar-Pescador, 2013: Analysis of WRF model wind estimate sensitivity to physics parameterization choice and terrain representation in Andalusia (Southern Spain). *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 52, 1592–1609.
 86. Santos-Alamillos, F., D. Pozo-Vázquez, J. Ruiz-Arias, and J. Tovar-Pescador, 2015: Influence of land-use misrepresentation on the accuracy of WRF wind estimates: Evaluation of GLCC and CORINE land-use maps in southern Spain. *Atmos. Res.*, 157, 17–28.
 87. Shahabuddin M, Bhattacharya S. Effect of reactant types (steam, CO₂ and steam+CO₂) on the gasification performa.
 88. Shahabuddin, M., Alim, M. A., Alam, T., Mofijur, M., Ahmed, S. F., & Perkins, G. (2021). A critical review on the development and challenges of concentrated solar power technologies. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 47, 101434. doi:10.1016/j.seta.2021.101434
 89. Simiu, E., and Scanlan, R. H. (1978). Wind effects on structures. An introduction to wind engineering. A Wiley – Interscience Publication. Jhon Wiley and Sons. New York.
 90. Steven Clarke et al, 2009. U.S. Offshore Wind Energy: A Path Forward. A Working Paper of the U.S. Offshore Wind Collaborative.
 91. Suman S. Hybrid nuclear-renewable energy systems: a review. *J Cleaner Prod* 2018;181:166–77
 92. Tang, W.J., Qin, J., Yang, K., Liu, S.M., Lu, N., Niu, X.L., , Retrieving high-resolution surface solar radiation with cloud parameters derived by combining MODIS and MTSAT data. . *Atmos. Chem. Phys.* , 2016. . 16, 2543–2557.

93. Teruo Ohsawa, Atsushi Hashimoto, Atsushi Hashimoto, Susumu Shimada, Show all 7 authors, Bernhard Lange, Bernhard Lange (2007): Evaluation of offshore wind simulations with MM5 in the Japanese and Danish coastal waters
94. The National Renewable Energy Laboratory, US, 2022: <https://www.nrel.gov/wind/>
95. Trueb LF. Astonishing the Wild Pigs: Highlights of Technology. ATHENA Verlag. 2015:119.
96. TrueWind Solutions, LLC & WB, 2001. Wind energy resource Atlas of Southeast Asia, Prepared for The World Bank Asia Alternative Energy Program. Albany, New York
97. US. Department Energy, 2017: Offshore Wind Energy 2016 Market Report. Planeta OS, 44 pp.
98. Van Laake, P.E., Sanchez-Azofeifa, G.A., Simplified atmospheric radiative transfer modelling for estimating incident PAR using MODIS atmosphere products. Remote Sens. Environ. , 2004. 91, 98–113.
99. Verlinden PJ. Chapter ID-3 - High-efficiency back-contact silicon solar cells for one-sun and concentrator applications. In: McEvoy A, Markvart T, Castaner ~ L, editors. Practical Handbook of Photovoltaics. Second Edition. Boston: Academic Press; 2012. p. 449–75
100. Vindel, J.M., Navarro, A.A., Valenzuela, R.X., Ramirez, L., Temporal scaling analysis of irradiance estimated from daily satellite data and numerical modelling. Atmos. Res., 2016. 181, 154–162.
101. W. Musial and S. Butterfield, 2006. Energy from Offshore Wind. National Renewable Energy Laboratory
102. W. Musial, Senior Engineer, 2005. Offshore Wind Energy Potential for the United States. National Renewable Energy Laboratory
103. Wea. Rev., 129, 587–604. Dinh, V. N., and E. McKeogh, 2018: Offshore wind energy: Technology opportunities and challenges. Lecture Notes in Civil Engineering, Proc. the Vietnam Symposium on Advances in Offshore Engineering, 18, 3–22, doi:10.1007/978-981-13-2306-5_31.
104. Wind turbines database, 2019: Ventas V164-8.0 (Available online at <https://en.wind-turbine-models.com/turbines/318-vestasv164-8.0>, accessed 12 April 2019).
105. World Bank (WB), 2001. Wind Energy Resource Atlas of Southeast Asia.
106. World Bank (WB), 2009. Global Wind Atlas 3 – Validation – Vietnam.
107. World Bank (WB), 2021. Offshore wind technical potential in Vietnam <https://esmap.org/offshore-wind>

108. Yamaguchi, A., and T. Ishihara, 2014: Assessment of offshore wind energy potential using mesoscale model and geographic information system. *Renewable Energy*, 69, 506–515.
109. Zhang, X.T., Liang, S.L., Wang, G.X., Yao, Y.J., Jiang, B., Cheng, J., 2016. , Evaluation of the reanalysis surface incident shortwave radiation products from NCEP, ECMWF, GSFC, and JMA using satellite and surface observations. . *Remote Sens.* , 2016. 8.
110. Zhang, X.T., Liang, S.L., Wild, M., Jiang, B., , Analysis of surface incident shortwave radiation from four satellite products. . *Remote Sens. Environ.* , 2015. 165, 186–202.
111. Zhang, Y., He, T., Liang, S.L., Wang, D.D., , Estimation of all-sky instantaneous surface incident shortwave radiation from Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer data using optimization method. *Remote Sens. Environ.* , 2018. 209,: p. 468–479.
112. Zheng CW., Li CY., Wu HL., and Wang M. (2018). 21st century maritime silk road: Constructtion of remote Islands and Reefs. Springer.
113. Zhou, W., Hongxing, Y., and Zhaohong F. (2006). Wind Power Potential and Characteristic Analysis of the Pearl River Delta Region, China. *Renewable Energy*, 31, 739-753.
114. AliMirzaeiFredolinTangangLiewJuneng, Wave energy potential assessment in the central and southern regions of the South China Sea, *Renewable Energy* Volume 80, August 2015, Pages 454-470.
115. https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Globalcooperation/viet_nam_technology_catalogue_2021_-_eng.pdf (Báo các Danh mục phát và lưu trữ điện tại Việt Nam)

PHỤ LỤC

Phụ lục 1. Chi tiết kết quả tính toán tiềm năng năng lượng bức xạ (kWh/m²/ngày) tại các điểm trạm

(Màu xanh: Khai thác không hiệu quả; màu trắng-đỏ nhạt: Khai thác hiệu quả; màu đỏ: Khai thác hiệu quả cao)

Trạm	Vùng	Tháng											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
MườngTè	TB	3.4	4.1	4.7	5.2	5.3	4.9	4.9	4.9	4.7	4.1	3.5	3.2
SìnHồ		3.5	4.2	4.9	5.3	5.3	4.8	4.8	4.8	4.6	4.0	3.5	3.3
TamĐường		3.5	4.1	4.8	5.3	5.3	4.9	4.9	4.9	4.7	4.1	3.6	3.4
ThanUyên		3.4	3.9	4.5	5.1	5.3	4.9	4.9	4.9	4.7	4.1	3.6	3.3
LaiChâu		3.3	4.0	4.7	5.2	5.3	4.9	4.9	4.9	4.7	4.1	3.5	3.1
TuầnGiáo		3.4	4.0	4.7	5.2	5.3	4.9	4.9	4.9	4.7	4.1	3.6	3.3
PhaĐin		3.7	4.2	4.9	5.4	5.3	4.9	4.9	4.8	4.7	4.1	3.7	3.5
ĐiệnBiên		3.5	4.2	4.9	5.3	5.4	5.0	4.9	4.9	4.7	4.2	3.6	3.3
QuỳnhNhai		3.2	3.8	4.4	5.1	5.3	4.9	4.9	4.9	4.7	4.1	3.5	3.1
SôngMã		3.4	4.0	4.7	5.2	5.4	5.0	5.0	4.9	4.7	4.1	3.6	3.3
CòNòi		3.5	4.1	4.7	5.2	5.4	5.1	5.1	5.0	4.8	4.2	3.8	3.5
YênChâu		3.4	4.0	4.6	5.1	5.4	5.1	5.0	4.9	4.7	4.1	3.6	3.3
BắcYên		3.4	3.9	4.5	5.1	5.3	5.1	5.0	4.9	4.7	4.1	3.6	3.4
PhùYên		3.1	3.6	4.2	4.9	5.3	5.1	5.1	5.0	4.7	4.1	3.5	3.3
MộcChâu		3.4	3.9	4.5	5.0	5.3	5.1	5.1	4.9	4.7	4.1	3.6	3.4
SơnLa		3.4	4.0	4.6	5.2	5.4	5.0	5.0	4.9	4.8	4.2	3.7	3.4
KimBôi		2.9	3.3	3.7	4.5	5.2	5.1	5.1	4.9	4.7	4.1	3.5	3.1
Mai Châu		3.1	3.6	4.2	4.9	5.3	5.1	5.1	4.9	4.7	4.1	3.5	3.2
ChiNê		2.9	3.2	3.7	4.4	5.2	5.1	5.1	4.9	4.7	4.1	3.5	3.1
LạcSơn		2.9	3.3	3.8	4.4	5.1	5.0	5.0	4.9	4.6	4.0	3.4	3.0
HoàBình		3.1	3.4	3.9	4.7	5.3	5.1	5.1	5.0	4.8	4.1	3.6	3.2
H-suPhì	ĐB	2.8	3.2	4.0	4.7	5.1	4.8	4.8	4.8	4.5	3.7	3.2	2.8

Trạm	Vùng	Tháng											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
BắcMê		2.5	3.0	3.5	4.0	4.6	4.5	4.5	4.4	4.2	3.4	2.8	2.5
BắcQuang		2.5	2.9	3.4	4.2	4.9	4.8	4.8	4.8	4.6	3.7	3.1	2.6
HàGiang		2.5	2.9	3.5	4.2	5.0	4.8	4.9	4.8	4.6	3.7	3.1	2.7
PhổRàng		2.5	3.0	3.5	4.3	5.0	4.9	4.9	4.8	4.5	3.7	3.2	2.7
BắcHà		2.7	3.2	3.9	4.6	5.0	4.8	4.7	4.7	4.4	3.6	3.1	2.7
SaPa		3.2	3.7	4.5	5.0	5.1	4.8	4.8	4.7	4.5	3.8	3.3	3.1
MùCăngChải		3.3	3.9	4.6	5.0	5.1	4.6	4.6	4.7	4.5	3.9	3.5	3.2
VănChấn		2.8	3.2	3.8	4.5	5.0	4.8	4.9	4.8	4.5	3.8	3.2	2.9
LụcYên		2.5	2.9	3.4	4.2	5.0	4.9	4.9	4.8	4.6	3.7	3.1	2.7
YênBái		2.5	2.8	3.3	4.0	4.9	4.8	4.9	4.8	4.6	3.9	3.2	2.8
HàmYên		2.5	3.0	3.3	4.1	5.0	4.9	4.9	4.8	4.6	3.7	3.2	2.6
TuyênQuang		2.6	2.9	3.3	4.1	5.1	4.9	5.0	4.9	4.6	3.9	3.3	2.8
Chiêm Hóa		2.8	3.5	4.0	4.6	5.4	5.2	5.2	5.1	4.9	4.0	3.6	3.1
ChợRã		2.6	2.9	3.4	4.2	4.9	4.8	4.8	4.8	4.5	3.8	3.1	2.7
NgânSơn		2.6	3.1	3.4	4.1	4.8	4.7	4.7	4.8	4.6	3.7	3.3	2.7
BắcCạn		2.6	3.0	3.4	4.2	5.0	4.9	4.9	4.8	4.6	3.9	3.3	2.8
ĐịnhHoá		2.5	2.9	3.3	4.0	4.9	4.8	4.8	4.8	4.6	3.8	3.2	2.7
TháiNguyên		2.6	2.9	3.3	4.0	5.0	4.9	5.0	4.9	4.7	4.0	3.4	2.9
MinhĐài		2.6	2.9	3.4	4.1	5.0	4.9	5.0	4.8	4.6	3.9	3.3	2.9
PhúHộ		2.6	2.9	3.3	4.1	5.0	4.9	5.0	4.9	4.6	3.9	3.3	2.8
ViệtTri		2.6	2.9	3.3	4.1	5.1	4.9	5.0	4.8	4.6	4.0	3.3	2.9
TamĐảo		2.6	2.9	3.4	4.0	4.9	4.7	4.8	4.6	4.4	3.8	3.2	2.8
VĩnhYên		2.7	2.9	3.3	4.2	5.1	5.0	5.0	4.9	4.7	4.0	3.4	2.9
BảoLạc		2.7	3.3	3.6	4.4	5.0	4.8	4.9	4.8	4.5	3.7	3.2	2.7
NguyênBình		2.5	3.0	3.5	4.0	4.6	4.5	4.5	4.4	4.2	3.4	2.8	2.5
TrùngKhánh		2.6	3.0	3.5	4.2	4.9	4.8	4.8	4.8	4.6	3.8	3.2	2.8

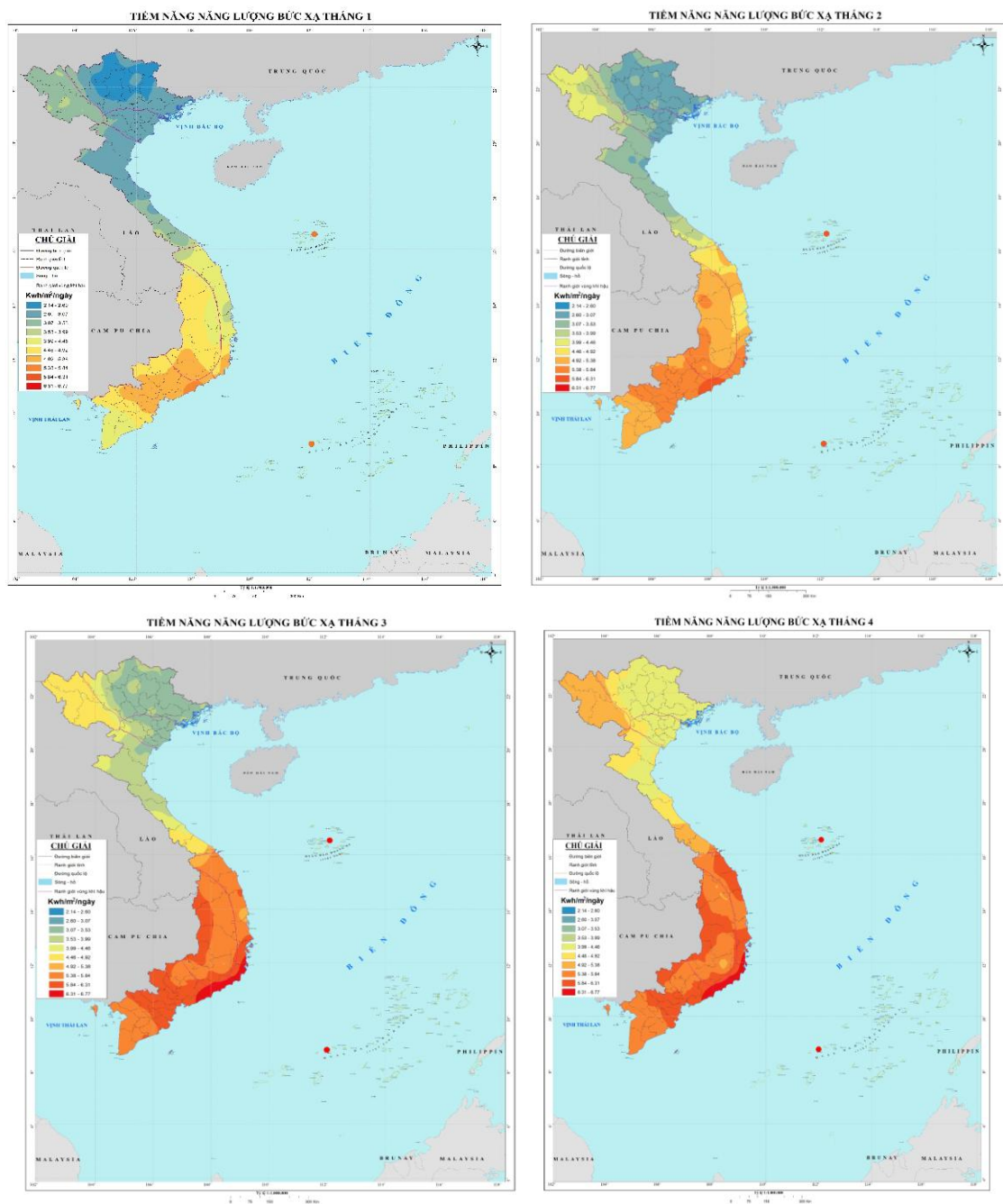
Trạm	Vùng	Tháng											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
CaoBằng		2.6	3.0	3.5	4.3	5.0	4.9	4.9	4.9	4.6	3.8	3.2	2.8
BắcSơn		2.5	2.9	3.3	4.0	5.0	4.9	4.9	4.8	4.6	3.8	3.2	2.8
HữuLũng		2.6	2.9	3.3	4.1	5.0	4.9	4.9	4.8	4.7	4.0	3.3	2.8
ĐìnhLập		2.7	2.9	3.4	4.1	5.0	4.9	4.9	4.8	4.6	4.0	3.4	2.9
ThấtKhê		2.6	2.9	3.4	4.1	5.0	4.9	4.9	4.8	4.6	3.8	3.2	2.8
LạngSơn		2.7	3.0	3.4	4.2	5.1	4.9	5.0	4.8	4.6	3.9	3.3	2.9
LụcNgạn		2.7	3.0	3.4	4.2	5.2	5.0	5.0	4.8	4.7	4.0	3.4	2.9
SơnĐộng		2.7	3.0	3.4	4.1	5.1	4.9	4.9	4.8	4.5	3.9	3.3	2.8
BắcGiang		2.7	2.9	3.3	4.1	5.1	5.0	5.0	4.9	4.7	4.0	3.4	2.9
Hiệp Hòa		3.0	3.3	3.8	4.5	5.3	5.2	5.2	5.1	4.9	4.2	3.6	3.2
UôngBí		2.7	3.0	3.2	4.0	5.0	5.0	5.0	4.9	4.7	4.2	3.6	3.1
CôTô		2.8	2.9	3.4	4.2	5.3	5.1	5.2	4.9	4.8	4.2	3.6	3.0
Bãi Cháy		3.1	3.4	3.8	4.6	5.4	5.2	5.2	5.0	4.8	4.3	3.7	3.3
CửaÔng		2.6	2.9	3.3	4.1	5.0	4.8	5.0	4.8	4.6	4.0	3.5	2.8
TiênYên		2.6	2.9	3.2	4.0	4.9	4.8	4.8	4.7	4.6	4.1	3.4	2.8
MóngCái		2.7	2.9	3.3	4.1	5.0	4.8	4.9	4.8	4.7	4.1	3.5	2.9
Quảng Hà		2.6	3.0	3.5	4.0	4.6	4.5	4.5	4.4	4.2	3.5	2.8	2.5
PhùLiễn		2.8	2.9	3.3	4.1	5.1	5.0	5.1	4.8	4.7	4.1	3.4	3.0
HònDấu		3.1	3.5	3.8	4.6	5.4	5.3	5.2	5.1	4.8	4.3	3.6	3.2
Bạch Long Vĩ		3.1	3.9	4.4	5.0	5.7	5.5	5.5	5.1	4.9	4.3	3.8	3.2
BaVì	DBBB	2.7	3.0	3.3	4.1	5.1	5.1	5.1	5.0	4.8	4.1	3.5	3.0
HàĐông		2.7	3.0	3.4	4.2	5.2	5.1	5.2	4.9	4.7	4.0	3.5	3.0
SơnTây		2.7	3.0	3.4	4.2	5.2	5.1	5.1	5.0	4.8	4.1	3.5	3.0
HàNội		2.8	3.0	3.3	4.2	5.2	5.1	5.2	4.9	4.7	4.1	3.5	3.0
ChíLinh		2.7	2.9	3.3	4.1	5.3	5.1	5.2	5.0	4.9	4.3	3.6	3.2
HảiDương		2.8	2.9	3.3	4.2	5.3	5.1	5.2	5.0	4.8	4.2	3.6	3.1

Trạm	Vùng	Tháng											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
HưngYên		2.8	2.9	3.3	4.2	5.3	5.1	5.2	5.0	4.7	4.1	3.5	3.0
NamĐịnh		2.8	2.9	3.3	4.2	5.3	5.2	5.2	4.9	4.7	4.1	3.5	3.0
VănLý		2.8	2.9	3.3	4.3	5.4	5.2	5.3	5.0	4.8	4.2	3.6	3.1
TháiBình		2.8	2.9	3.3	4.2	5.3	5.2	5.3	5.0	4.8	4.2	3.6	3.1
Hà Nam		3.1	3.4	3.8	4.6	5.4	5.2	5.2	5.0	4.8	4.2	3.6	3.2
NinhBình		2.8	2.9	3.3	4.2	5.3	5.2	5.2	4.9	4.7	4.1	3.5	3.0
NhoQuan		2.8	3.0	3.4	4.3	5.2	5.1	5.1	4.9	4.7	4.1	3.5	3.1
YênĐịnh	BTB	2.8	3.0	3.4	4.3	5.1	5.0	4.9	4.9	4.6	4.0	3.4	2.9
BáiThượng		2.8	3.0	3.4	4.3	5.1	5.0	4.9	4.9	4.6	4.0	3.4	2.9
Nhuxuân		2.7	3.0	3.4	4.3	5.1	5.1	5.1	4.8	4.6	3.9	3.3	2.9
TĩnhGia		2.8	3.1	3.5	4.5	5.3	5.2	5.2	5.0	4.7	4.1	3.4	3.0
ThanhHoá		2.9	3.0	3.5	4.4	5.3	5.1	5.2	4.9	4.7	4.1	3.4	3.0
Hồixuân		2.8	3.2	3.7	4.5	5.1	4.9	4.9	4.8	4.6	3.9	3.3	2.9
QuýChâu		2.9	3.1	3.7	4.5	5.2	5.0	5.0	4.8	4.6	4.0	3.3	3.0
QuýHợp		2.8	3.1	3.9	4.6	5.3	5.0	5.1	4.9	4.6	4.0	3.4	3.0
TâyHiếu		2.2	2.5	2.9	3.4	4.2	4.1	4.1	4.0	3.8	3.1	2.4	2.1
QuỳnhLưu		2.3	2.7	3.7	4.2	4.7	4.6	4.5	4.4	4.2	3.6	3.1	2.8
ConCuông		2.6	3.0	3.5	4.1	4.8	4.7	4.8	4.5	4.2	3.5	2.9	2.6
ĐôLương		2.6	2.9	3.4	4.0	4.8	4.8	4.8	4.5	4.2	3.5	2.9	2.6
TươngDương		2.7	3.2	3.8	4.3	4.8	4.7	4.7	4.5	4.2	3.5	2.9	2.6
Vinh		2.5	2.9	3.3	4.0	4.9	5.0	5.0	4.7	4.2	3.5	2.9	2.6
HươngKhê		2.5	2.9	3.4	4.1	4.9	4.9	5.0	4.6	4.2	3.5	2.8	2.5
KỳAnh		2.8	3.1	3.8	4.7	5.4	5.3	5.3	5.0	4.6	3.9	3.1	2.7
HàTĩnh		2.5	2.9	3.3	4.0	4.8	4.8	4.9	4.6	4.2	3.5	2.9	2.5
TuyênHoá		2.8	3.2	3.9	4.7	5.3	5.2	5.2	4.9	4.5	3.7	3.0	2.6
BaĐồn		3.0	3.3	4.0	4.9	5.4	5.3	5.3	5.0	4.7	3.9	3.2	2.8

Trạm	Vùng	Tháng											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
ĐồngHới		2.8	3.1	3.5	4.2	5.0	5.1	5.2	4.9	4.3	3.7	3.1	2.8
CồnCỏ		2.9	3.5	4.0	4.4	5.1	5.0	5.0	4.8	4.5	3.7	3.2	2.9
ĐồngHà		3.1	3.5	4.2	4.9	5.4	5.3	5.3	5.0	4.7	3.9	3.2	2.8
KheSanh		3.4	3.9	4.6	5.1	5.3	5.0	5.0	4.8	4.6	3.9	3.3	2.9
ALưới		3.3	3.9	4.6	4.9	5.2	5.1	5.1	4.9	4.5	3.8	3.1	2.8
NamĐông		3.3	3.9	4.6	5.0	5.3	5.3	5.2	5.0	4.6	3.9	3.2	2.8
Huế		3.2	3.7	4.4	5.0	5.5	5.4	5.4	5.1	4.7	4.0	3.3	2.8
ĐàNẵng	NTB	4.3	5.0	5.7	6.0	6.0	5.8	5.8	5.6	5.2	4.7	4.2	3.8
TamKỳ		4.2	5.0	5.8	6.2	6.0	5.8	5.8	5.6	5.2	4.7	4.1	3.7
TràMy		4.1	4.9	5.7	6.0	5.9	5.6	5.7	5.5	5.1	4.6	4.0	3.6
BaTơ		4.2	5.0	5.8	6.1	5.9	5.7	5.7	5.5	5.2	4.6	4.1	3.7
QuảngNgãi		4.3	5.1	5.9	6.2	6.1	5.8	5.8	5.6	5.3	4.7	4.2	3.8
Lý Sơn		3.8	4.6	5.2	5.6	5.8	5.6	5.5	5.4	5.0	4.4	3.8	3.4
HoàiNhon		4.5	5.3	6.1	6.3	6.0	5.8	5.8	5.6	5.2	4.8	4.3	3.9
QuyNhon		3.6	4.0	4.9	5.2	5.3	5.2	5.1	5.0	4.8	4.4	4.0	3.8
SơnHoà		4.5	5.4	6.3	6.4	6.0	5.7	5.8	5.6	5.3	4.8	4.3	3.9
TuyHoà		4.6	5.5	6.3	6.5	6.1	5.8	5.8	5.6	5.3	4.8	4.3	4.1
NhaTrang		4.8	5.6	6.4	6.4	6.0	5.8	5.8	5.6	5.3	4.9	4.5	4.2
CamRanh		5.1	5.9	6.5	6.5	6.0	5.7	5.8	5.6	5.3	4.9	4.7	4.4
TrườngSa		4.8	5.8	6.3	6.3	6.0	5.7	5.5	5.5	5.2	5.1	4.9	4.4
PhanThiết		5.5	6.2	6.7	6.6	6.0	5.7	5.7	5.5	5.3	5.1	5.0	4.9
HàmTân		5.5	6.2	6.7	6.6	5.9	5.6	5.6	5.5	5.3	5.0	5.0	4.9
PhúQuý		5.3	6.0	6.7	6.6	6.0	5.7	5.7	5.6	5.3	5.0	4.8	4.7
ĐắcTô	TN	4.8	5.3	5.7	5.6	5.4	5.1	5.0	4.9	4.8	4.5	4.3	4.3
KonTum		4.8	5.3	5.8	5.7	5.5	5.2	5.1	4.9	4.7	4.5	4.4	4.3
P-lâyCu		4.8	5.4	5.8	5.8	5.5	5.2	5.1	4.9	4.8	4.5	4.3	4.3

Trạm	Vùng	Tháng												
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
AnKhê		4.2	5.0	5.6	5.8	5.7	5.4	5.4	5.2	4.9	4.4	4.0	3.7	
AyunPa		4.3	5.2	5.7	5.9	5.7	5.4	5.4	5.2	4.9	4.5	4.1	3.8	
M'drắc		4.0	4.9	5.6	5.8	5.6	5.4	5.4	5.2	4.9	4.3	3.7	3.5	
B.M.thuot		4.8	5.4	5.8	5.9	5.6	5.3	5.2	5.1	4.9	4.5	4.2	4.1	
BuônHồ		4.6	5.3	5.8	5.8	5.6	5.3	5.3	5.1	4.9	4.5	4.2	3.9	
ĐắcNông		4.8	5.3	5.7	5.7	5.4	5.1	5.1	4.9	4.8	4.5	4.4	4.4	
LiênKhương		4.8	5.3	5.7	5.6	5.4	5.1	5.1	5.0	4.8	4.4	4.2	4.2	
ĐàLạt		4.8	5.3	5.7	5.5	5.5	5.1	5.1	5.0	4.8	4.4	4.2	4.2	
BảoLộc		4.6	5.1	5.5	5.5	5.4	5.1	5.0	4.9	4.7	4.4	4.2	4.1	
ĐồngPhú(Đồng Xoài)	NB	5.0	5.5	5.9	5.8	5.6	5.2	5.1	5.0	4.8	4.6	4.5	4.4	
Phước Long		4.8	5.4	5.7	5.7	5.5	5.2	5.2	5.0	4.8	4.5	4.5	4.3	
TâyNinh		4.9	5.5	6.0	5.9	5.6	5.2	5.2	5.1	4.9	4.6	4.5	4.5	
VũngTàu		4.9	5.6	6.2	6.1	5.6	5.2	5.3	5.1	4.9	4.6	4.5	4.3	
CônĐảo		4.6	5.4	6.0	6.0	5.5	5.1	5.1	5.0	4.8	4.4	4.2	4.0	
MộcHoá		5.0	5.5	6.0	5.8	5.5	5.2	5.2	5.1	4.9	4.7	4.6	4.5	
MỹTho		5.0	5.6	6.2	6.0	5.4	5.2	5.2	5.1	4.9	4.5	4.4	4.2	
CaoLãnh		5.0	5.5	5.9	5.9	5.5	5.2	5.2	5.1	4.9	4.6	4.5	4.4	
BaTri		5.0	5.7	6.3	6.2	5.5	5.1	5.2	5.1	4.9	4.5	4.5	4.3	
CàngLong		4.9	5.6	6.2	6.0	5.4	5.1	5.1	5.0	4.8	4.5	4.5	4.3	
ChâuĐốc		4.9	5.4	5.8	5.7	5.5	5.2	5.1	5.0	4.9	4.6	4.5	4.4	
CầnThơ		4.9	5.5	6.1	6.0	5.4	5.1	5.1	5.0	4.8	4.5	4.4	4.4	
SócTrăng		4.9	5.6	6.1	5.9	5.3	5.0	5.1	5.0	4.8	4.4	4.5	4.3	
RạchGiá		4.9	5.5	5.9	5.9	5.4	5.1	5.1	5.0	4.8	4.5	4.5	4.5	
PhúQuốc		5.0	5.4	5.8	5.8	5.4	5.0	5.0	4.8	4.7	4.5	4.5	4.6	
BạcLiêu		4.9	5.7	6.3	6.1	5.4	5.1	5.1	5.0	4.8	4.4	4.4	4.3	
CàMau		4.8	5.5	6.0	5.8	5.3	5.0	5.0	4.9	4.7	4.3	4.3	4.2	

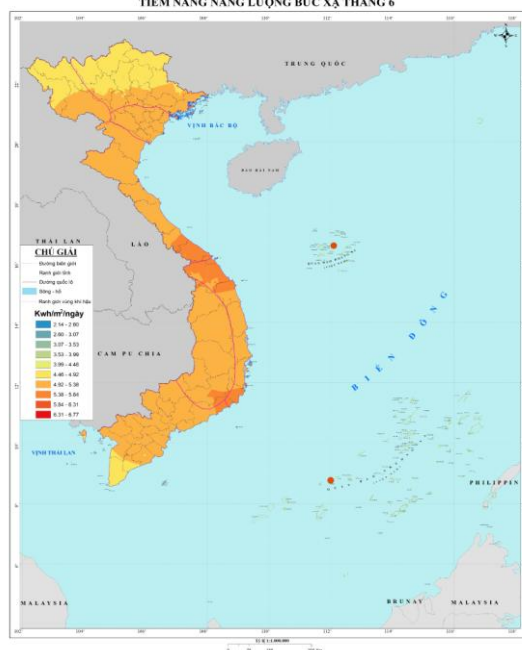
Phụ lục 2: Bản đồ tiềm năng năng lượng bức xạ ($\text{kWh}/\text{m}^2/\text{ngày}$) các tháng trong năm theo số liệu quan trắc



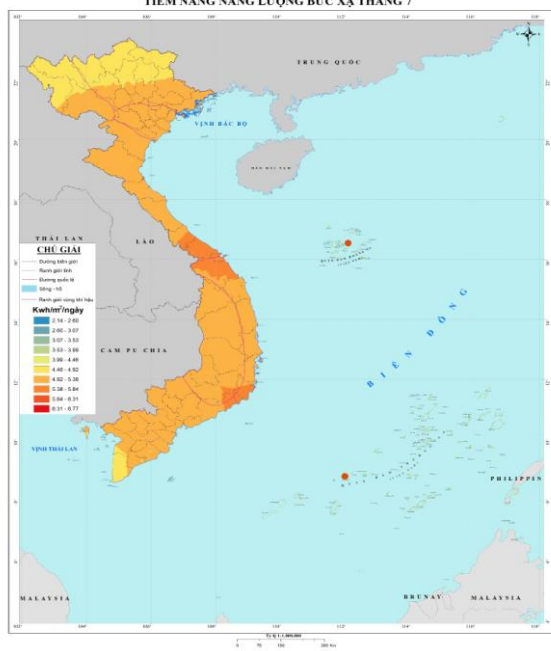
TIỀM NĂNG NĂNG LƯỢNG BỨC XẠ THÁNG 5



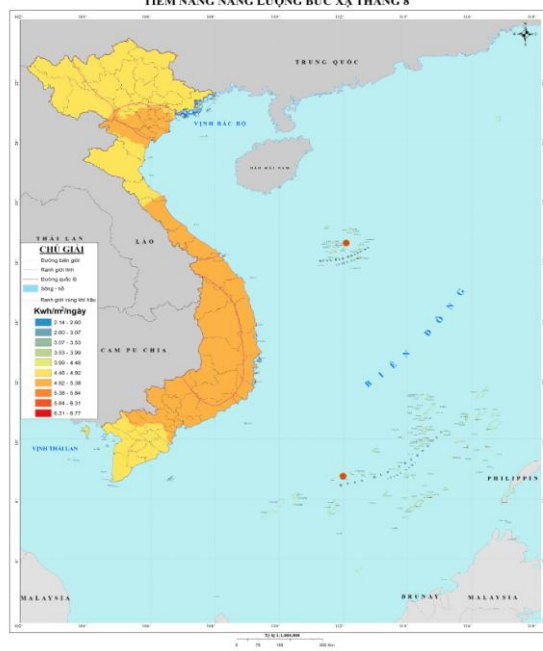
TIỀM NĂNG NĂNG LƯỢNG BỨC XẠ THÁNG 6



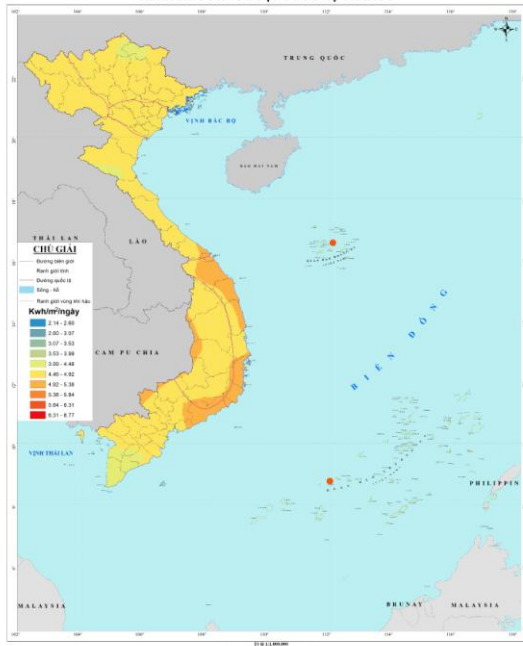
TIỀM NĂNG NĂNG LƯỢNG BỨC XẠ THÁNG 7



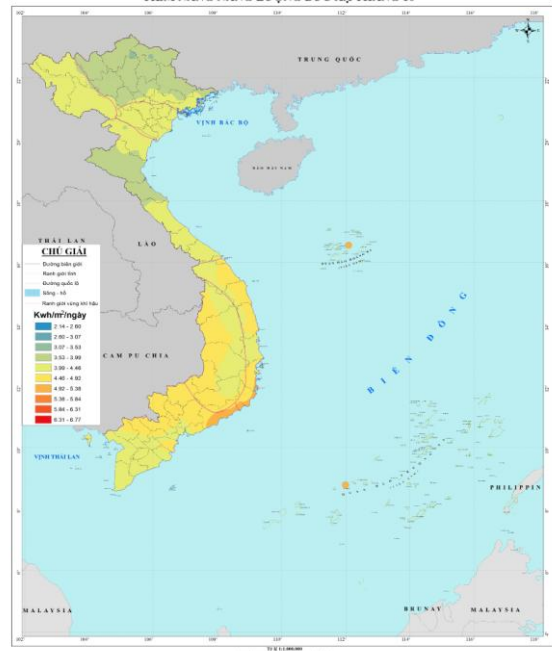
TIỀM NĂNG NĂNG LƯỢNG BỨC XẠ THÁNG 8



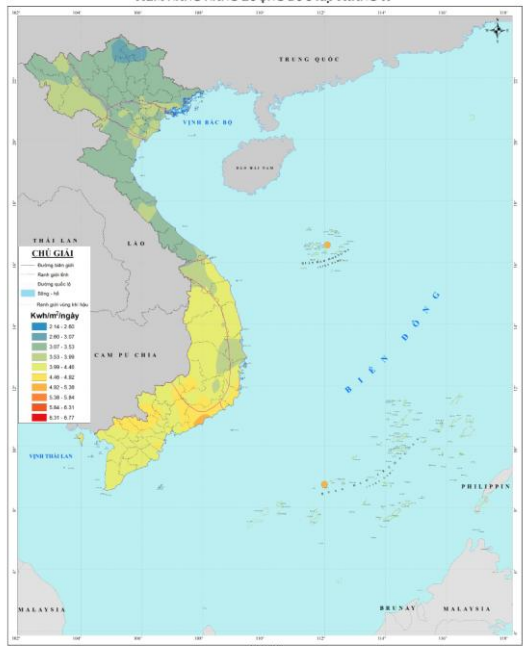
TIỀM NĂNG NĂNG LƯỢNG BỨC XẠ THÁNG 9



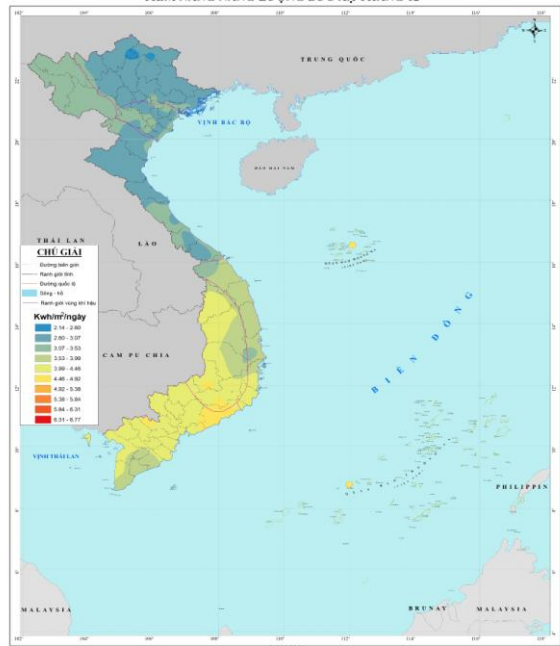
TIỀM NĂNG NĂNG LƯỢNG BỨC XẠ THÁNG 10



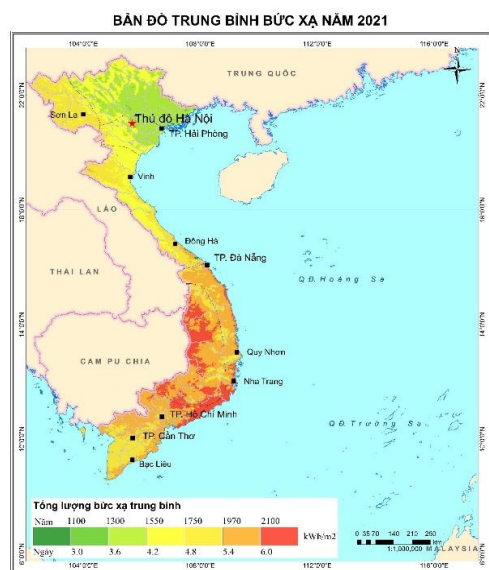
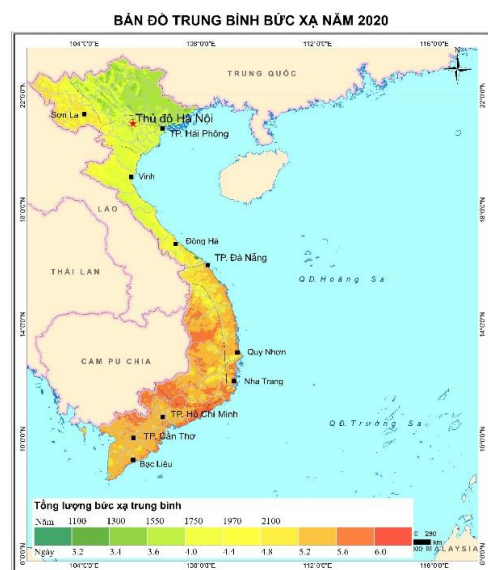
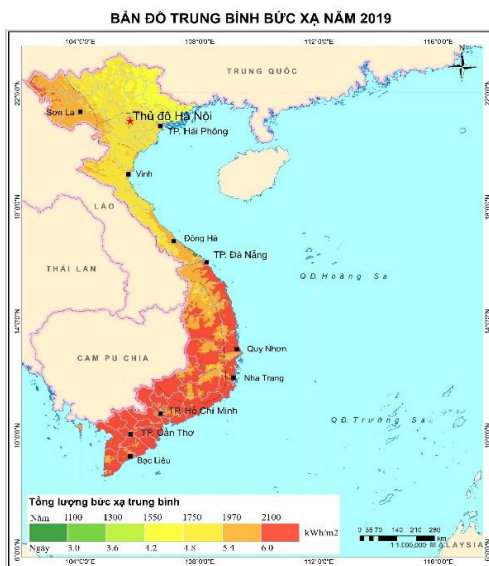
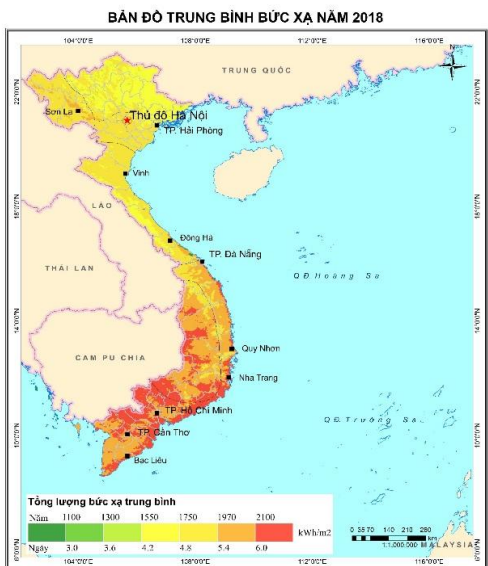
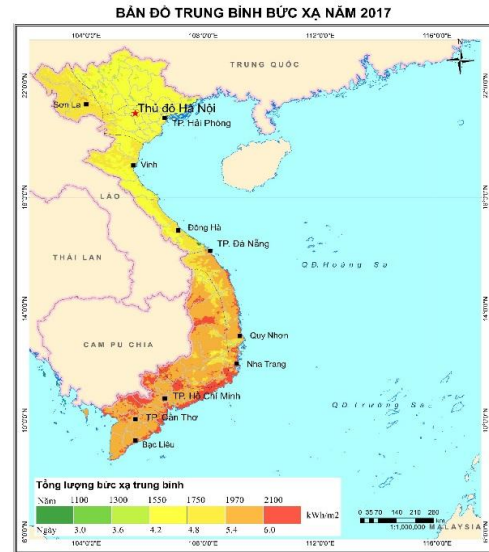
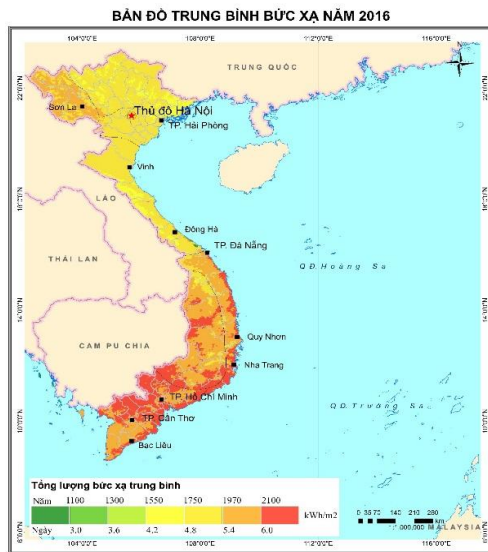
TIỀM NĂNG NĂNG LƯỢNG BỨC XẠ THÁNG 11



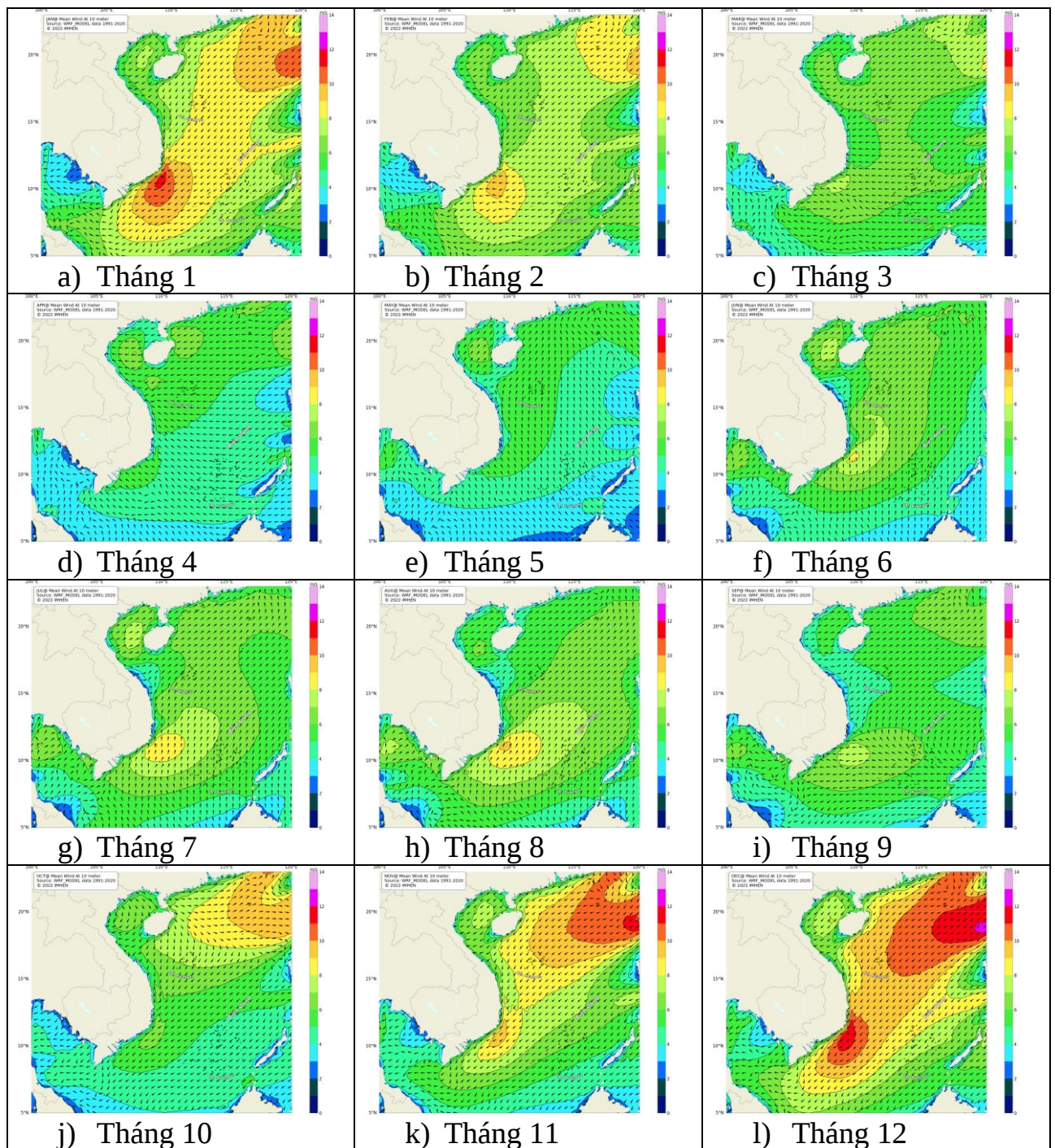
TIỀM NĂNG NĂNG LƯỢNG BỨC XẠ THÁNG 12



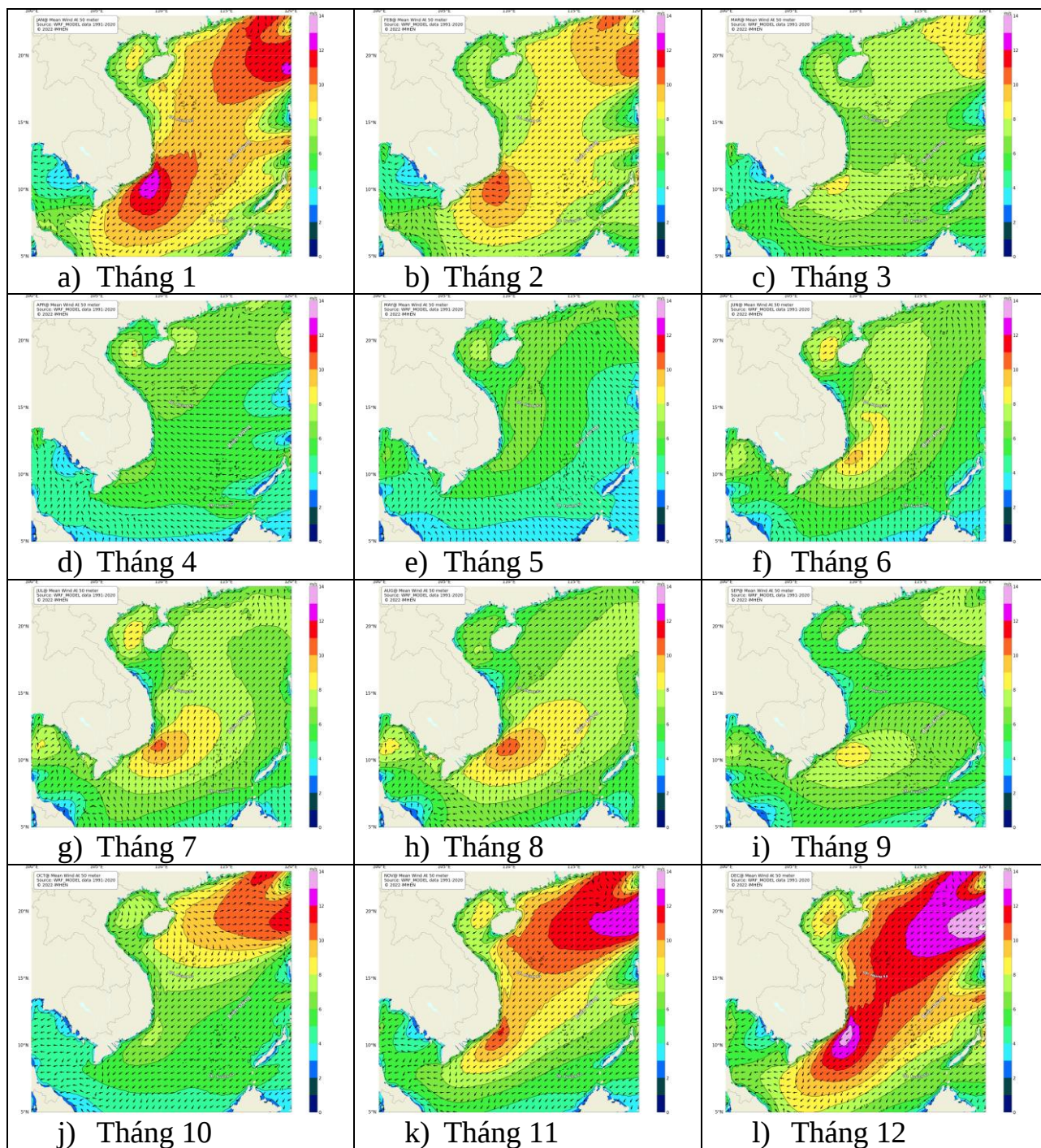
Phụ lục 3. Bản đồ bức xạ trung bình ước tính từ dữ liệu vệ tinh himawari



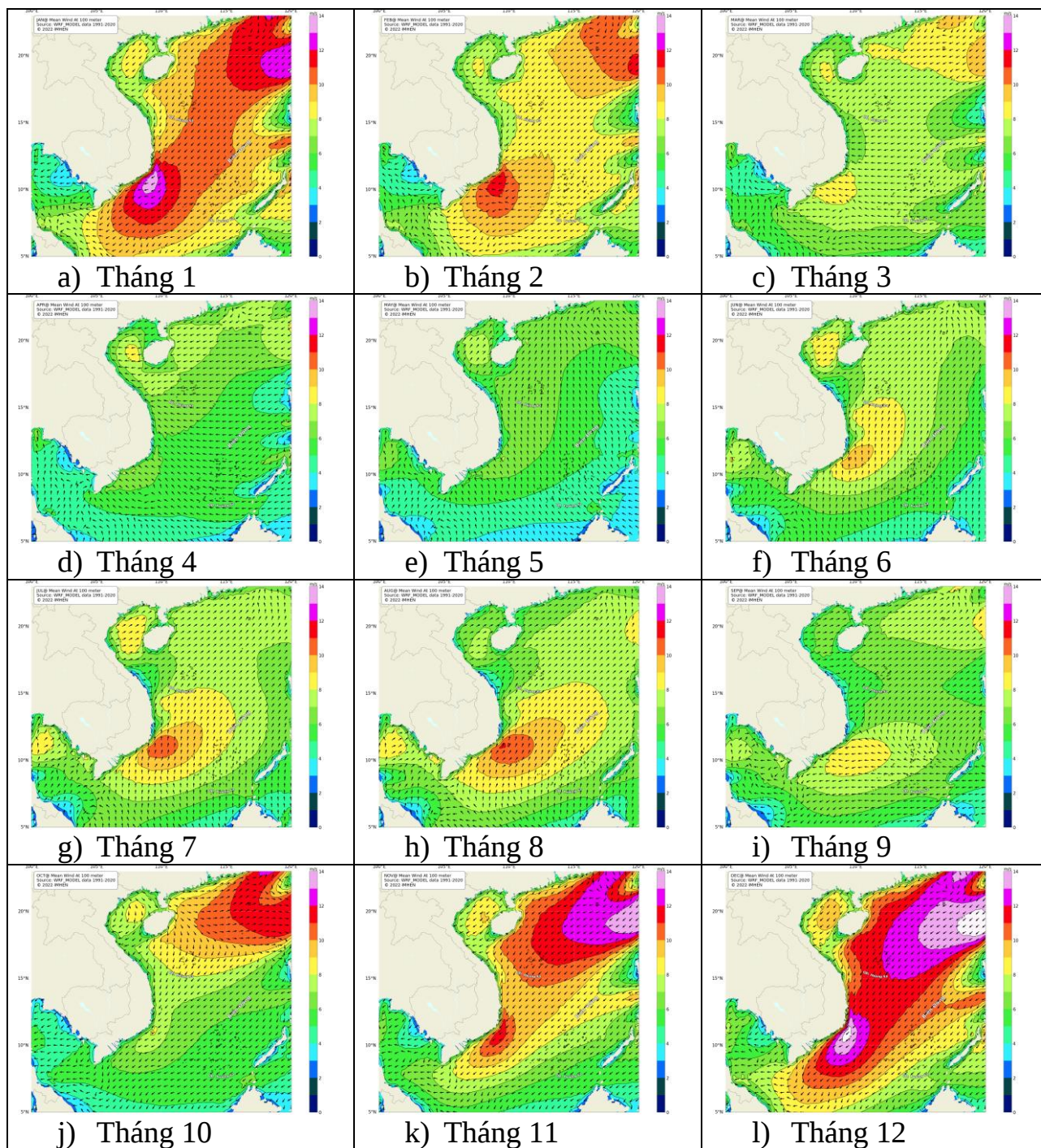
Phụ lục 4. Bản đồ phân bố tiềm năng năng lượng gió trên khu vực Biển Đông theo số liệu WRF



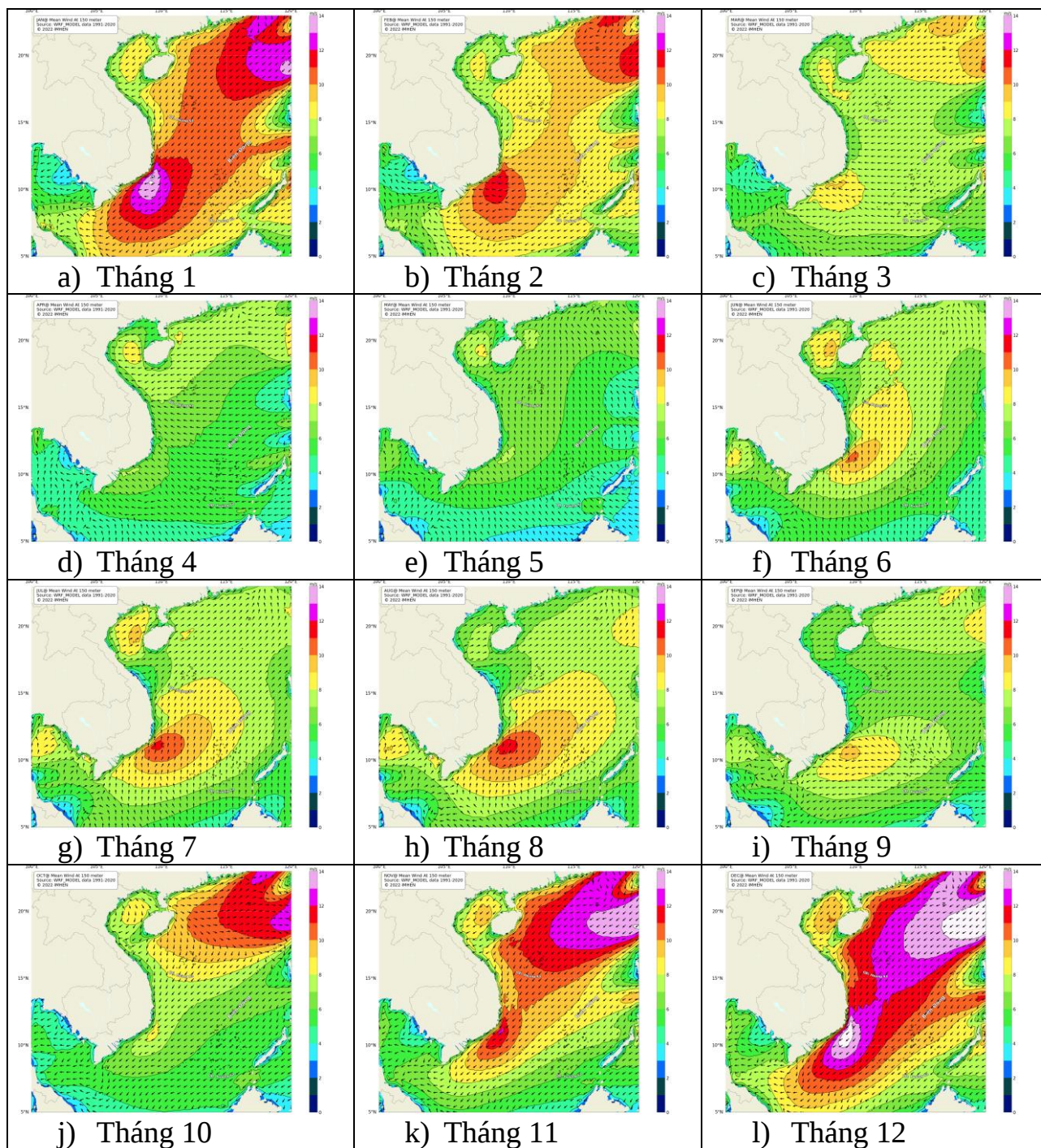
Hình. Bản đồ phân bố tốc độ gió trung bình (m/s) các tháng ở độ cao 10 m trên khu vực Biển Đông, thời kỳ 1991-2020



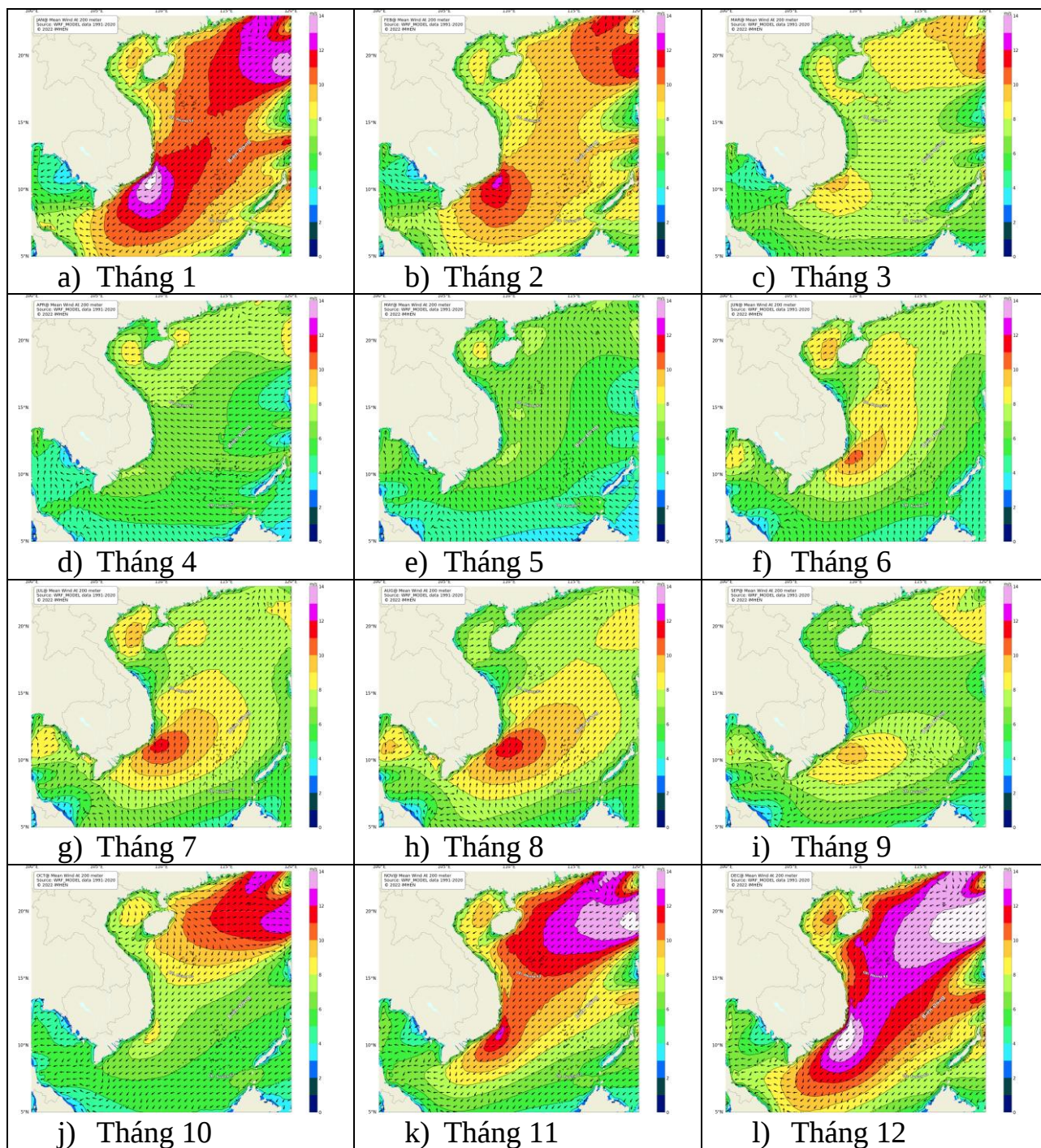
Hình. Bản đồ phân bố tốc độ gió trung bình (m/s) các tháng ở độ cao 50 m trên khu vực Biển Đông, thời kỳ 1991-2020



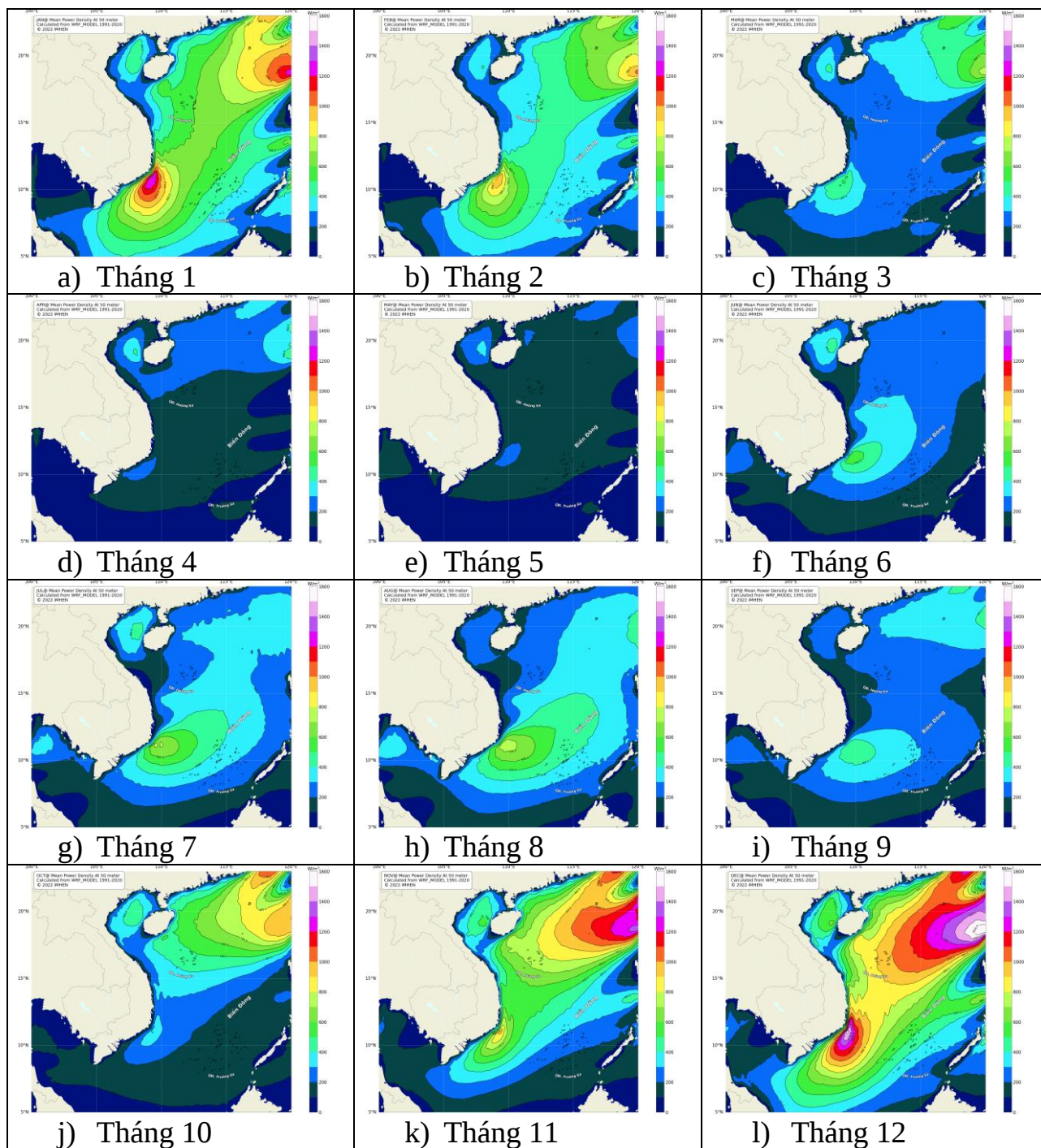
Hình. Bản đồ phân bố tốc độ gió trung bình (m/s) các tháng ở độ cao 100 m trên khu vực Biển Đông, thời kỳ 1991-2020



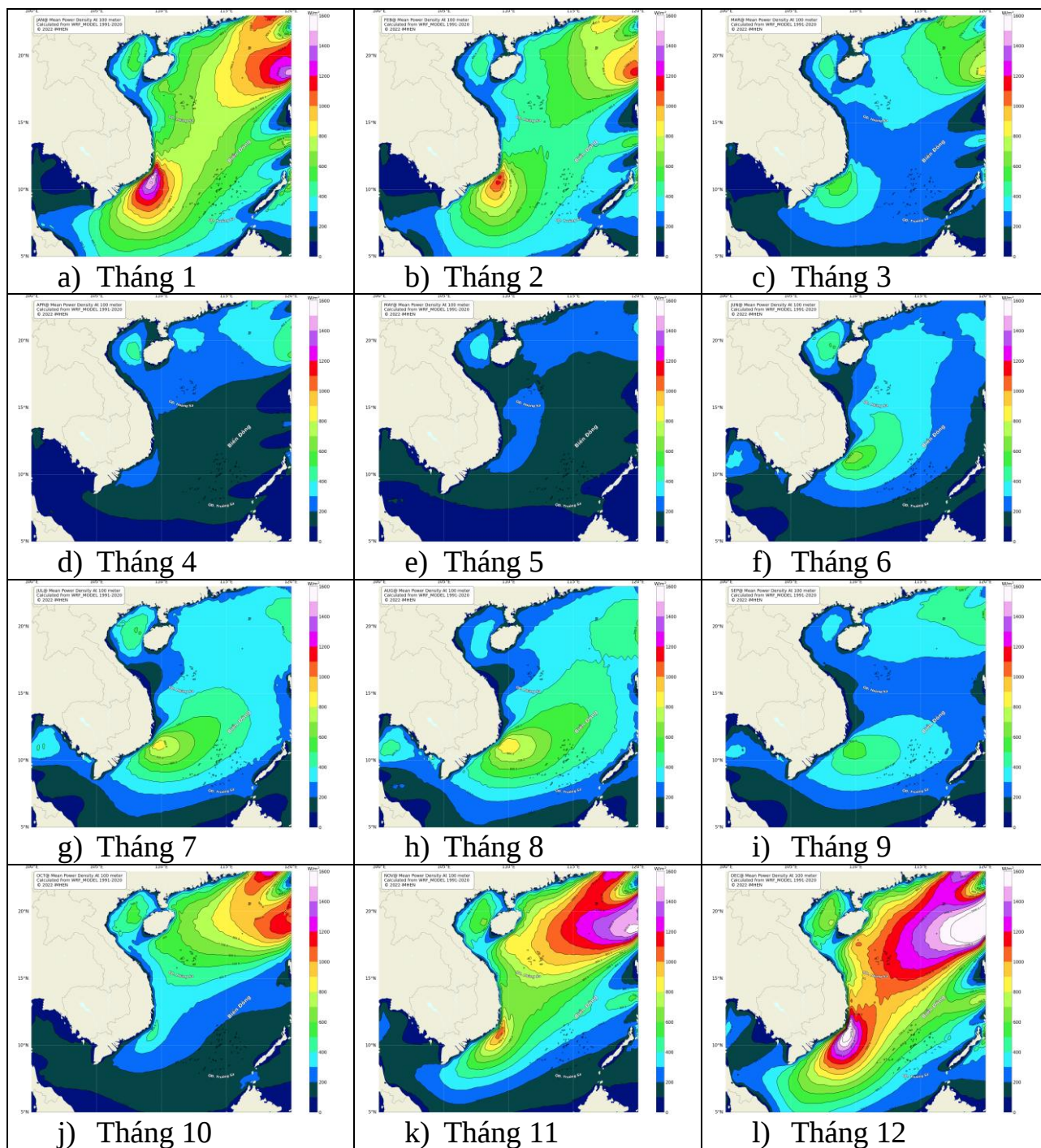
Hình. Bản đồ phân bố tốc độ gió trung bình (m/s) các tháng ở độ cao 150 m trên khu vực Biển Đông, thời kỳ 1991-2020



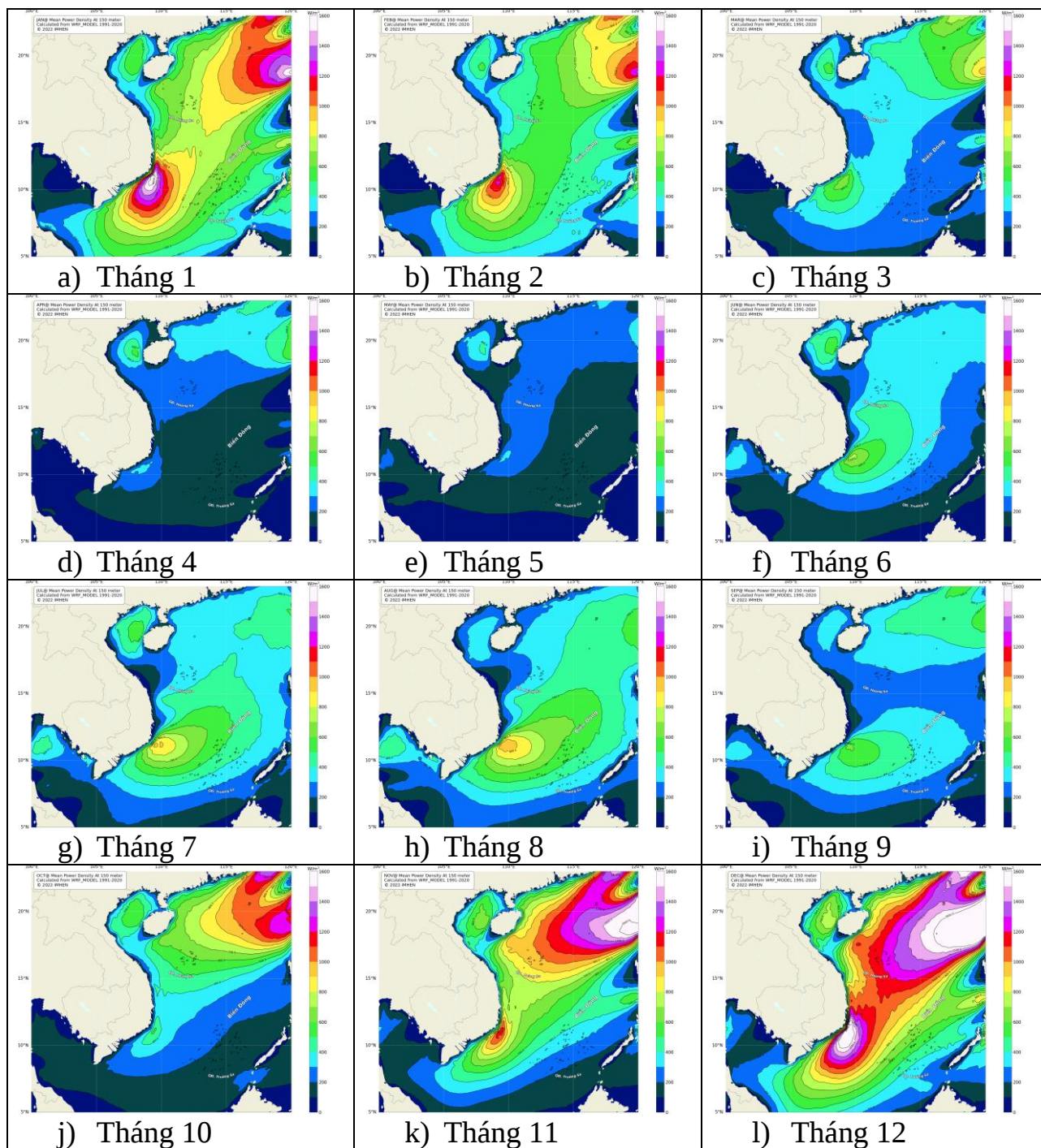
Hình. Bản đồ phân bố tốc độ gió trung bình (m/s) các tháng ở độ cao 200 m trên khu vực Biển Đông, thời kỳ 1991-2020



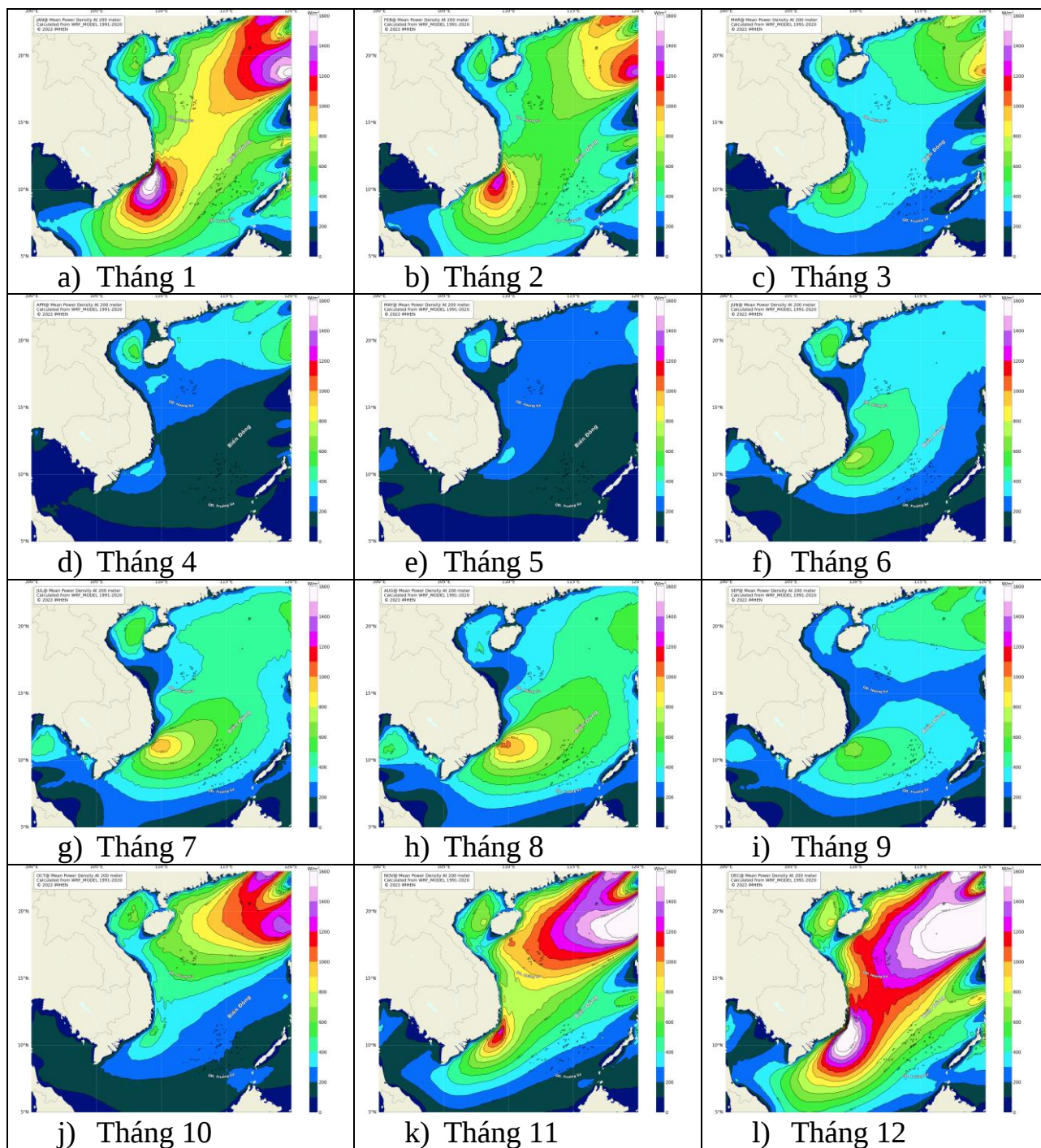
Hình. Bản đồ phân bố mật độ năng lượng gió (W/m^2) các tháng ở độ cao 50 m trên khu vực Biển Đông, thời kỳ 1991-2020



Hình. Bản đồ phân bố mật độ năng lượng gió (W/m^2) các tháng ở độ cao 100 m trên khu vực Biển Đông, thời kỳ 1991-2020



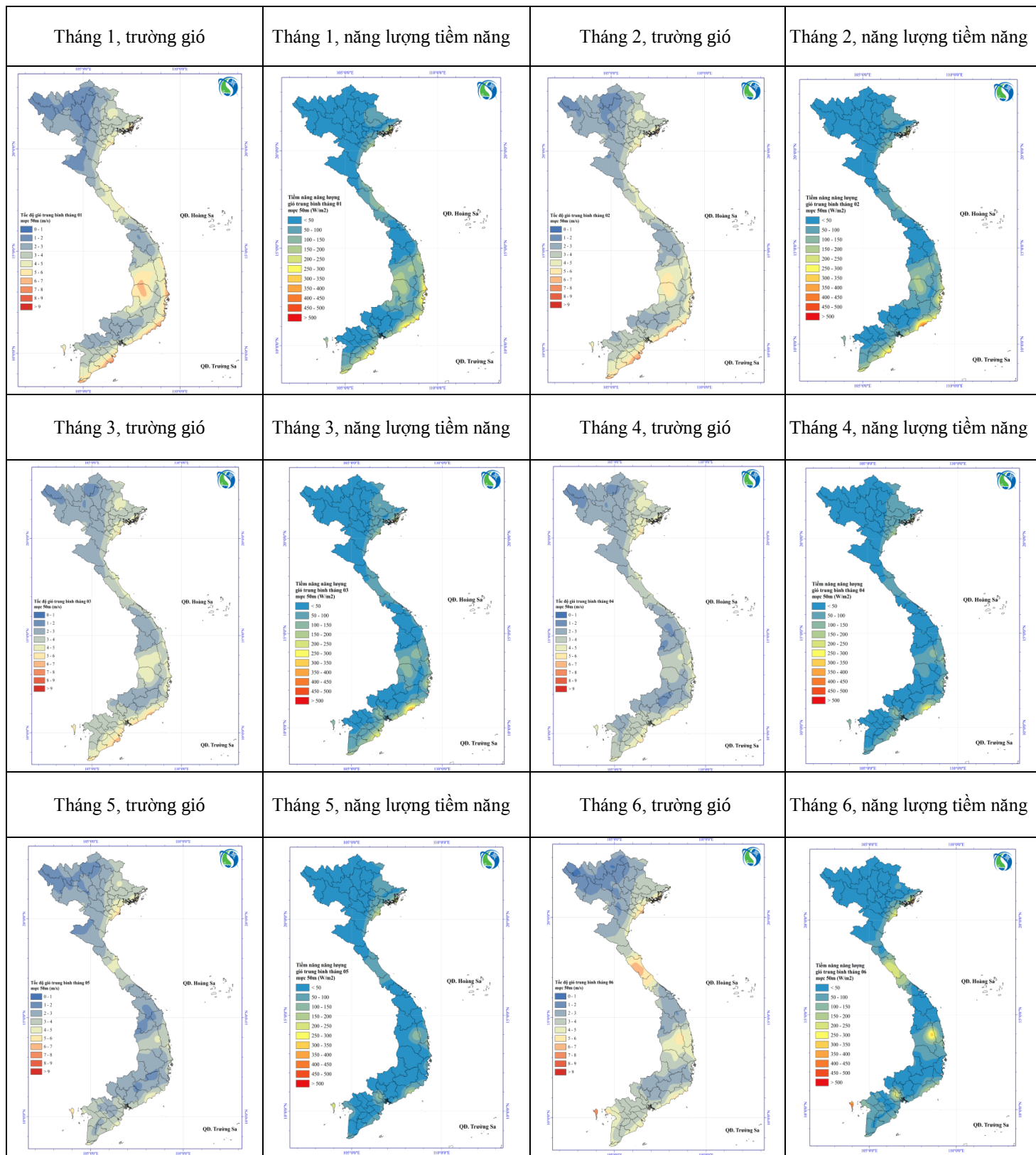
Hình. Bản đồ phân bố mật độ năng lượng gió (W/m^2) các tháng ở độ cao 150 m trên khu vực Biển Đông, thời kỳ 1991-2020

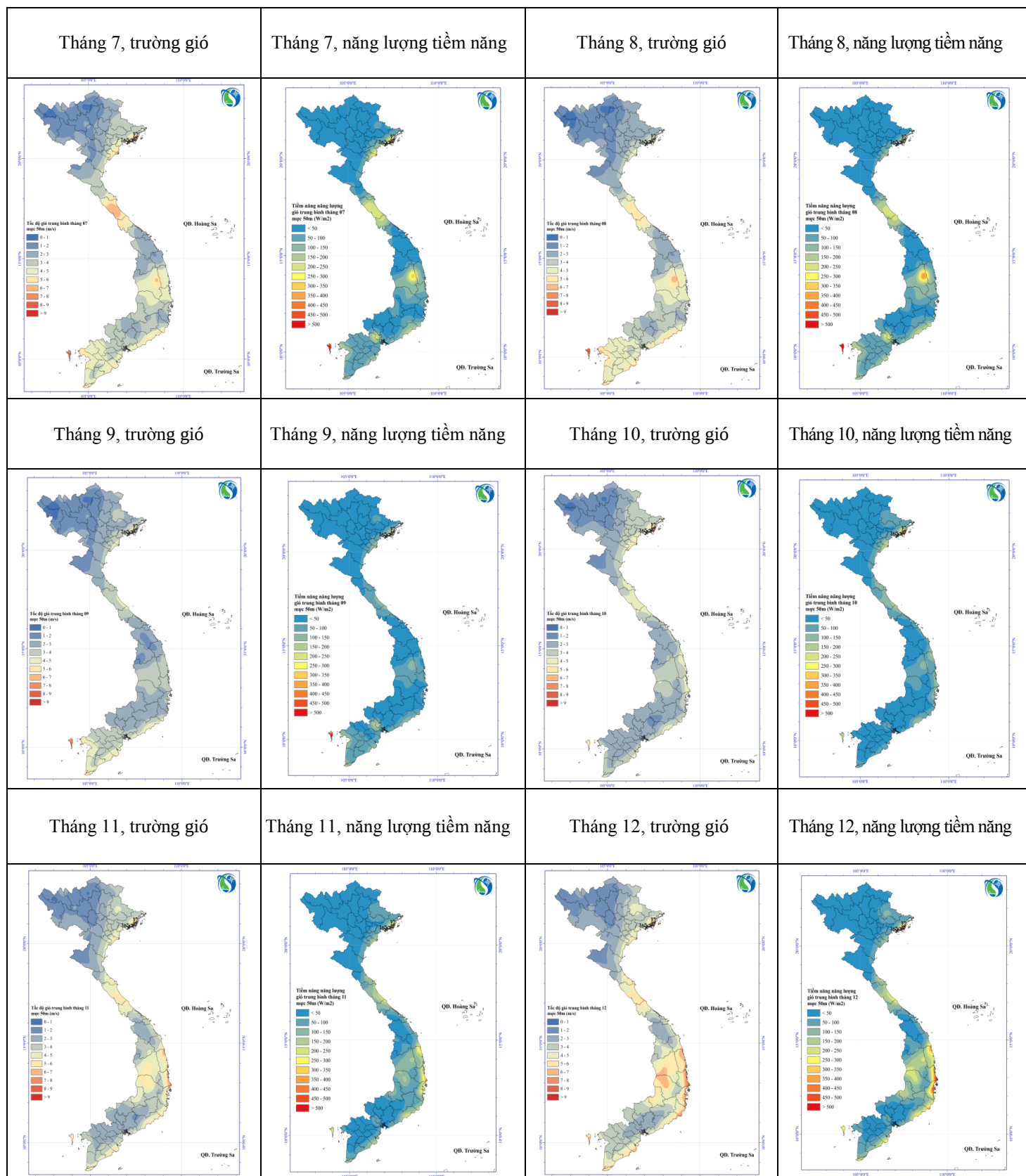


Hình. Bản đồ phân bố mật độ năng lượng gió (W/m^2) các tháng ở độ cao 200 m trên khu vực Biển Đông, thời kỳ 1991-2020

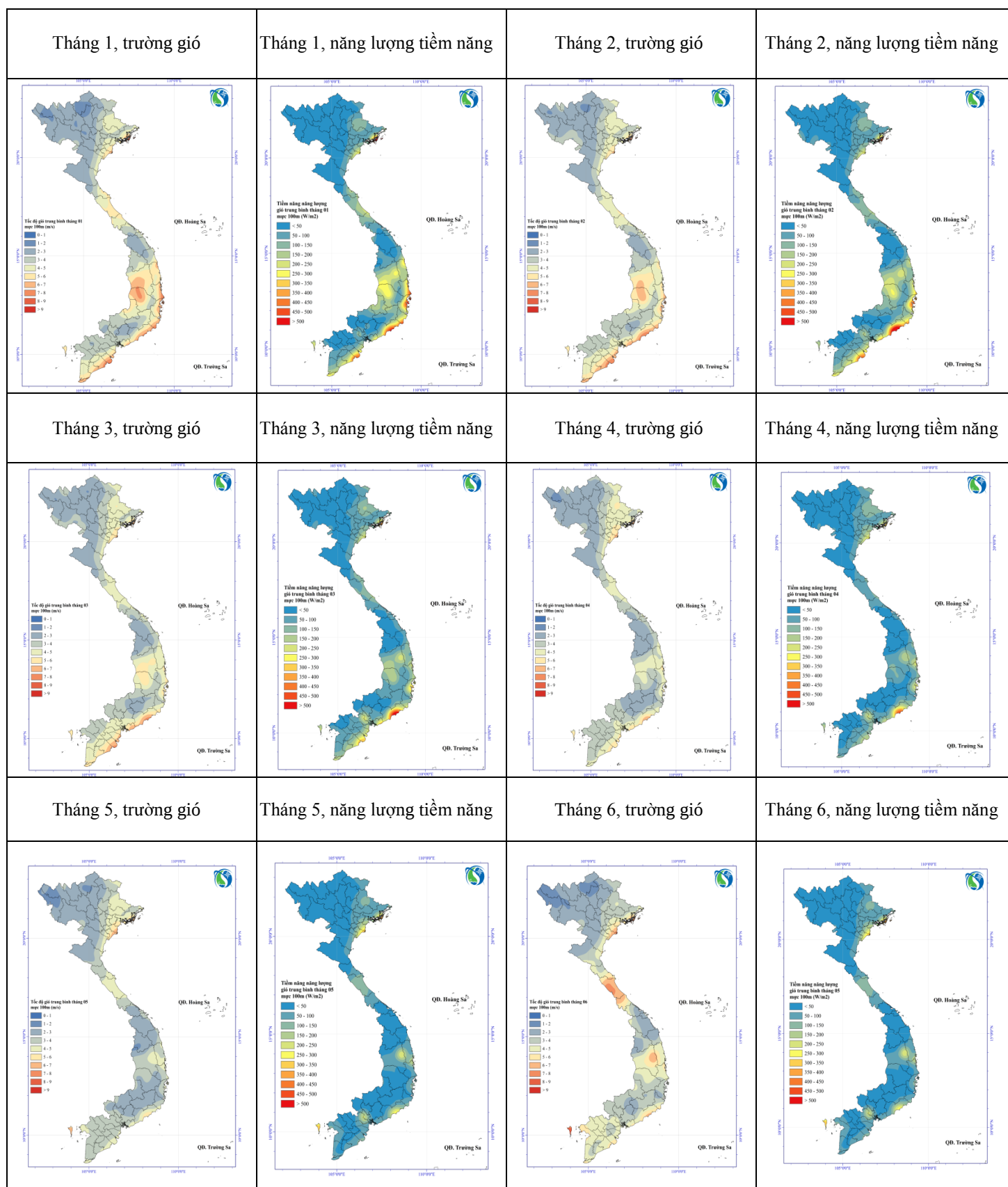
Phụ lục 5. Bản đồ phân bố tốc độ gió trung bình trên mực chi tiết từ 50m-200m cho từng tháng kèm theo ước lượng năng lượng từ gió cho từng tháng trên toàn bộ bề mặt đất liền thuộc lãnh thổ Việt Nam

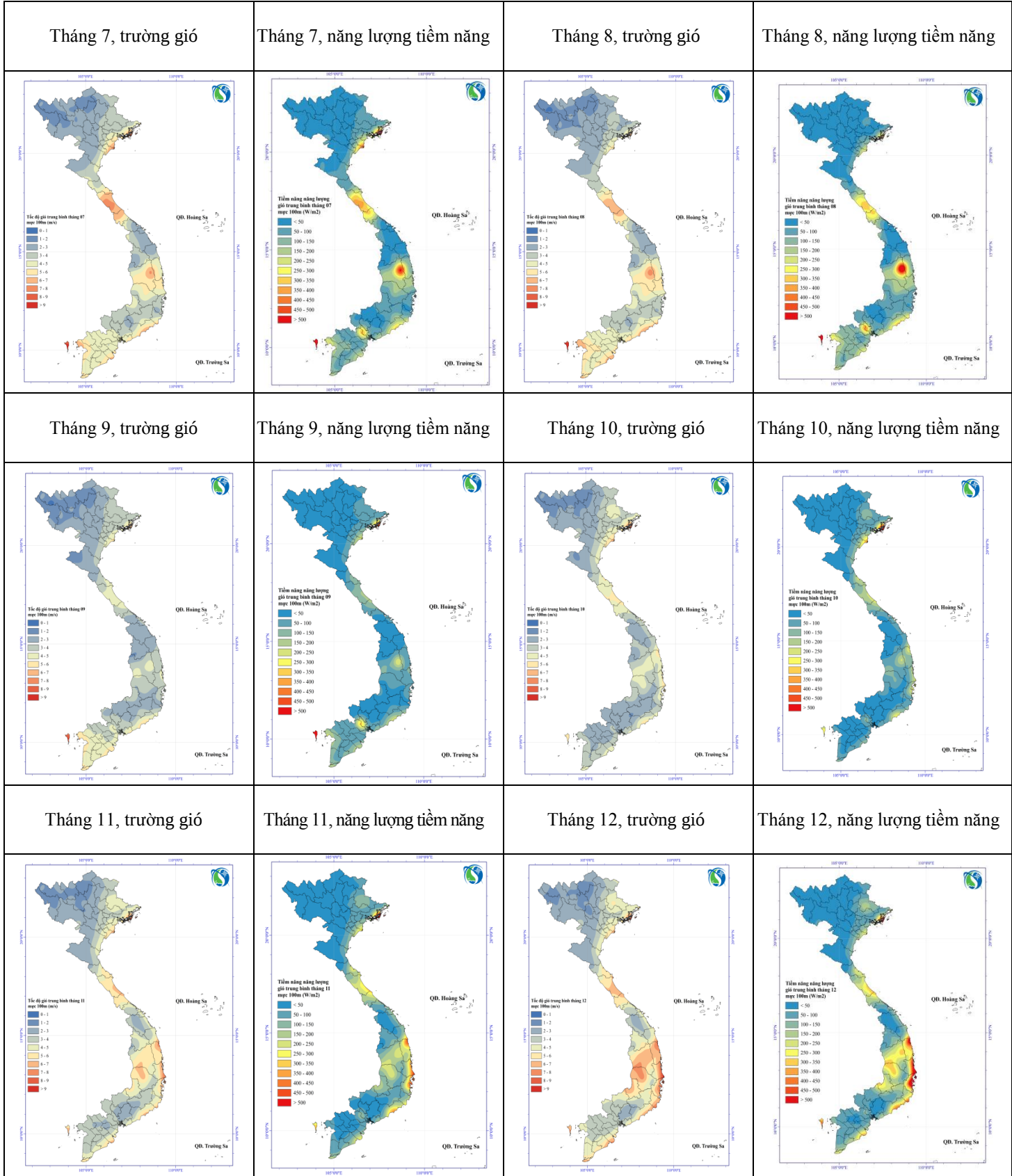
- Mực 50m:



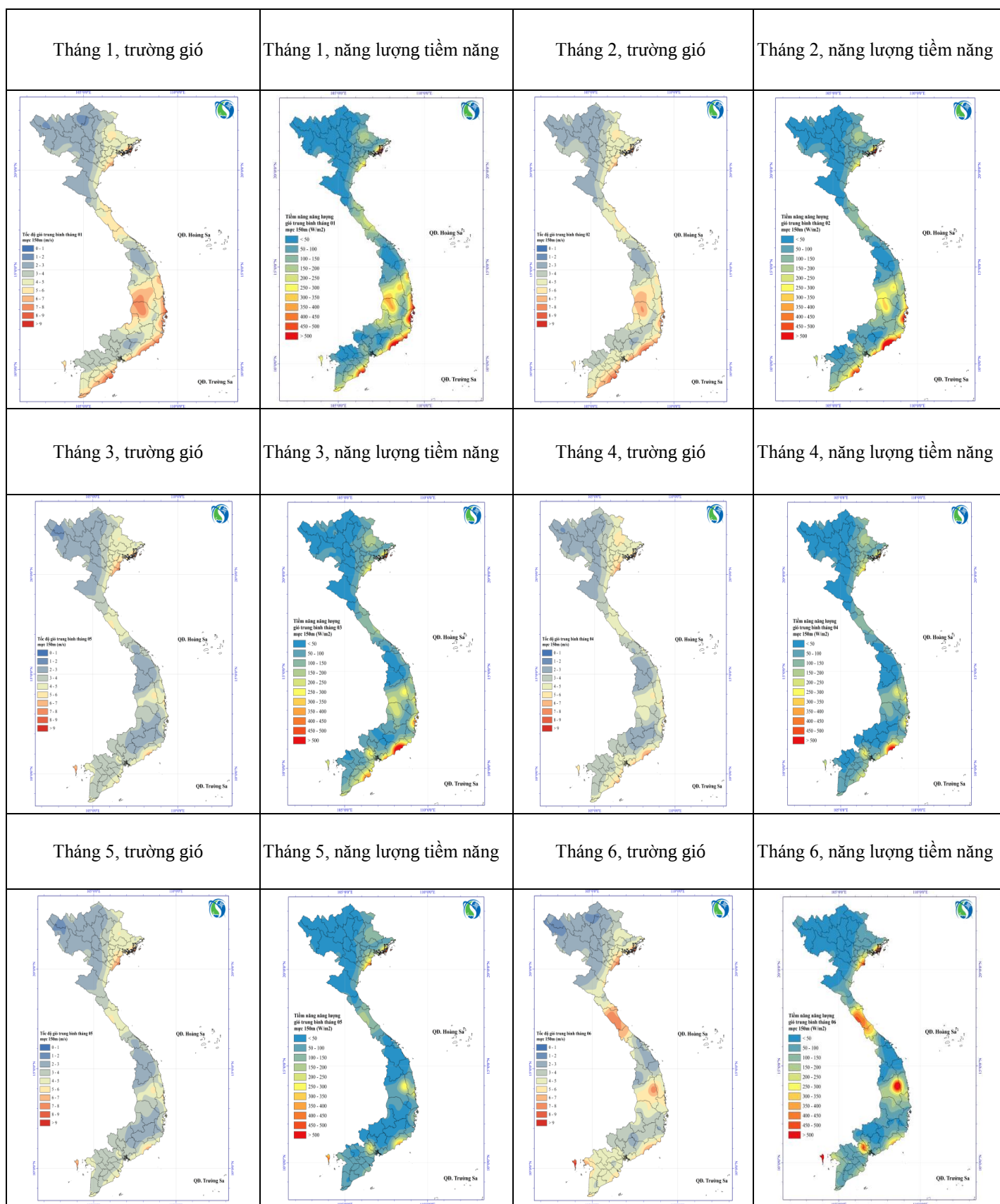


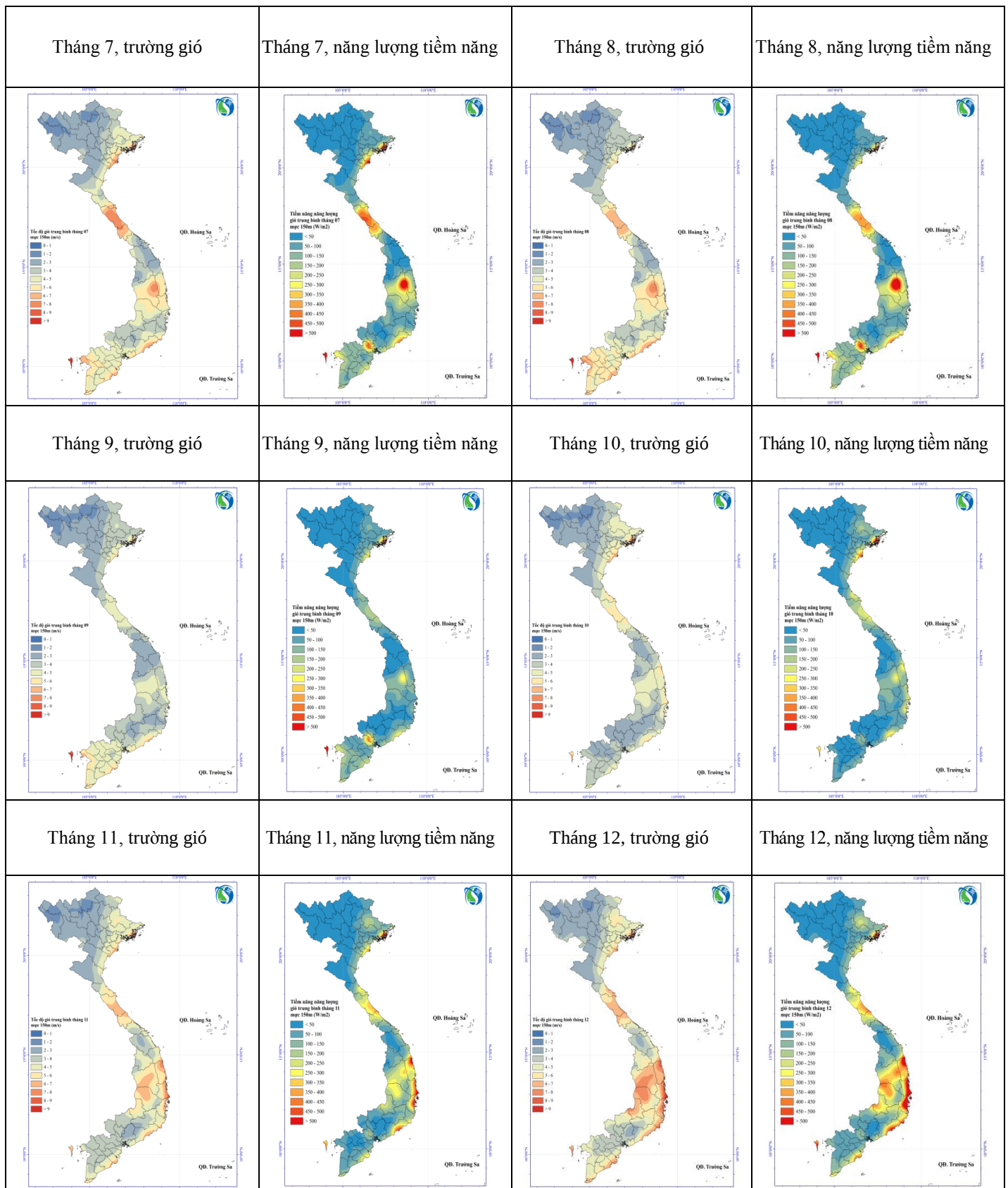
- Mực 100m:



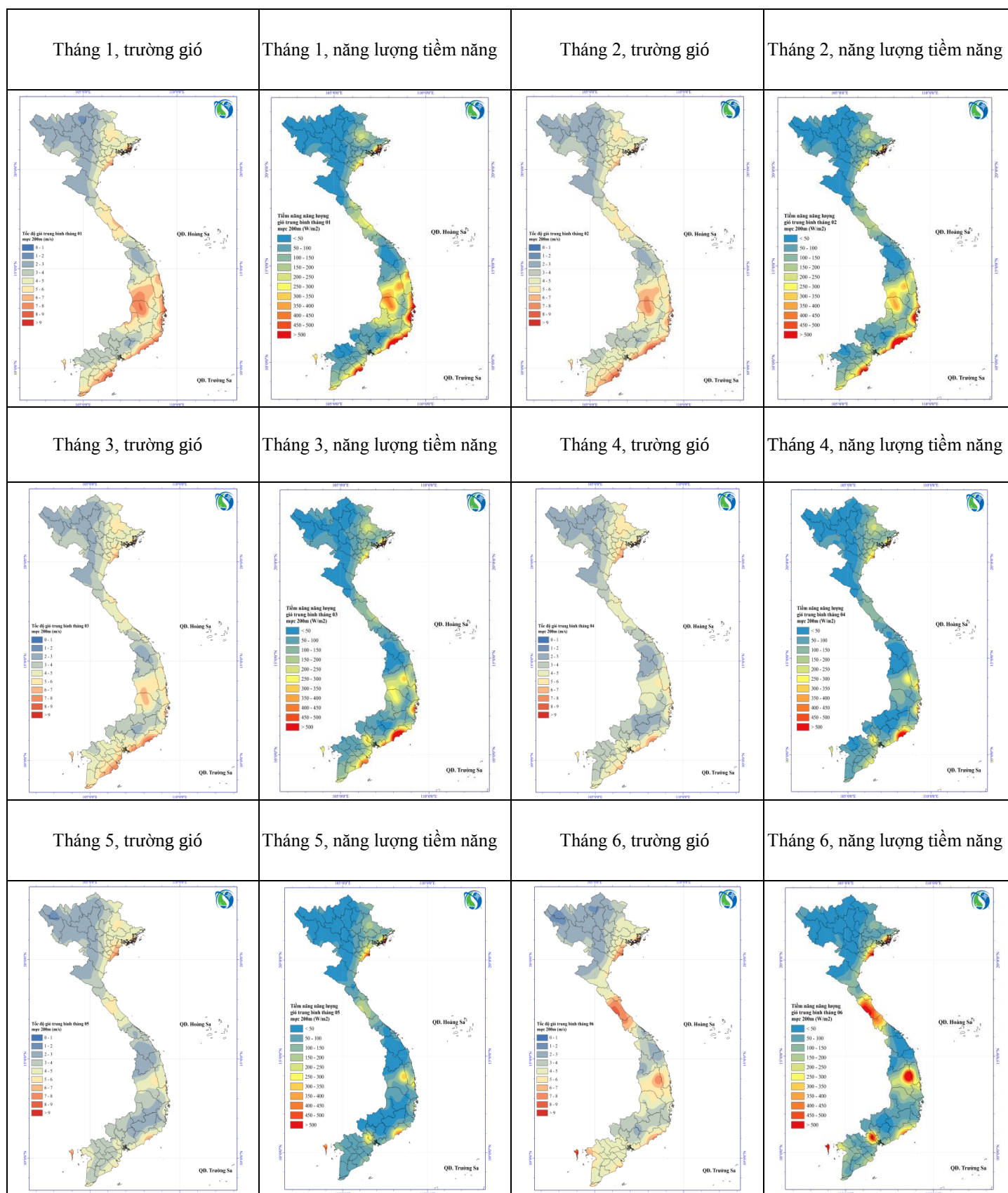


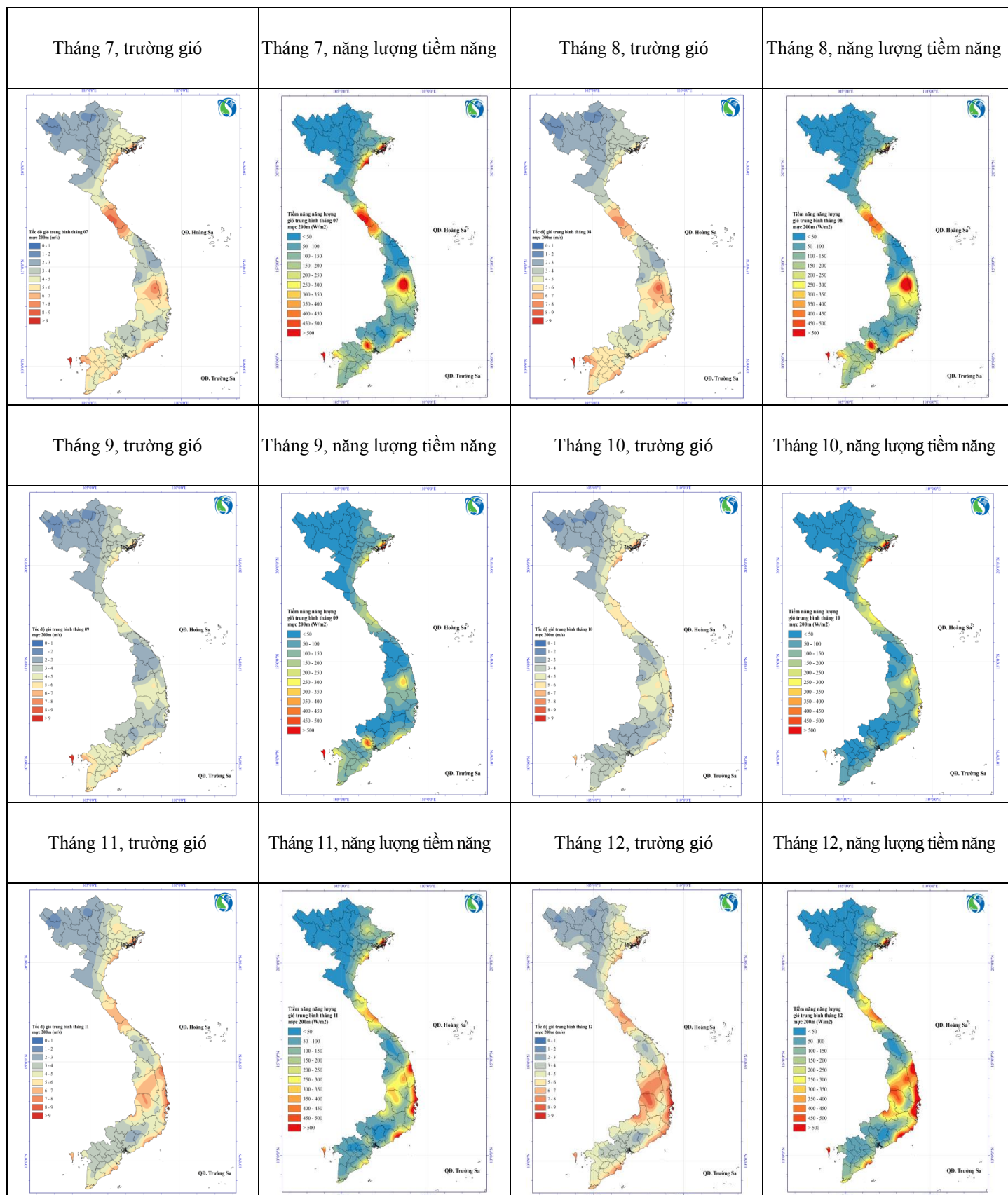
- Mục 150m:



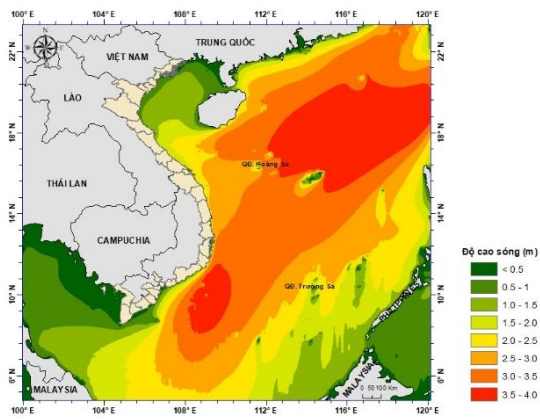


- Mục 200m:

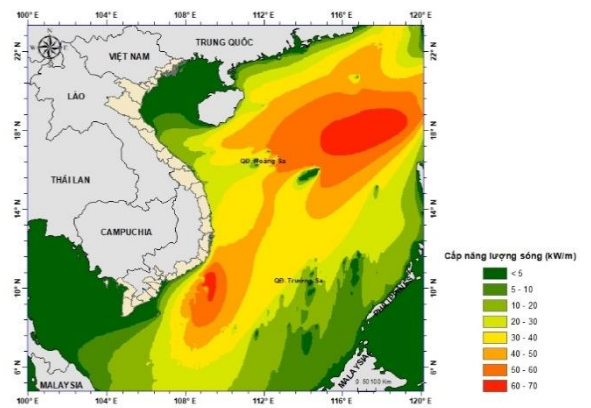




Phụ lục 6. Phân bố độ cao sóng và năng lượng sóng ở Biển Đông

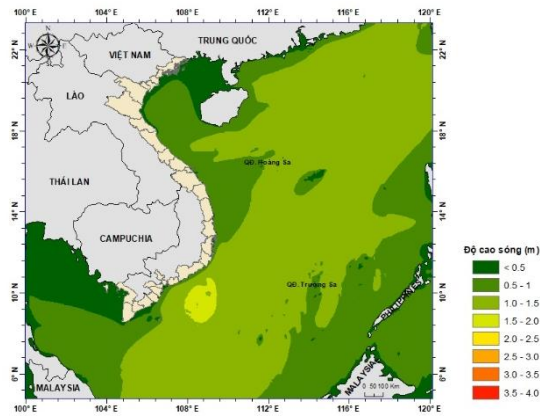


(a) Độ cao sóng

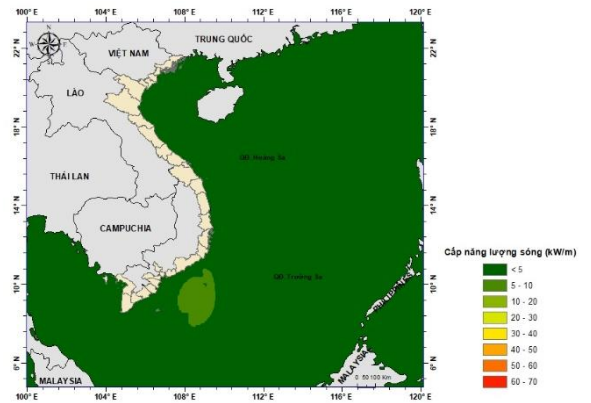


(b) Năng lượng sóng

(a) Tháng 12

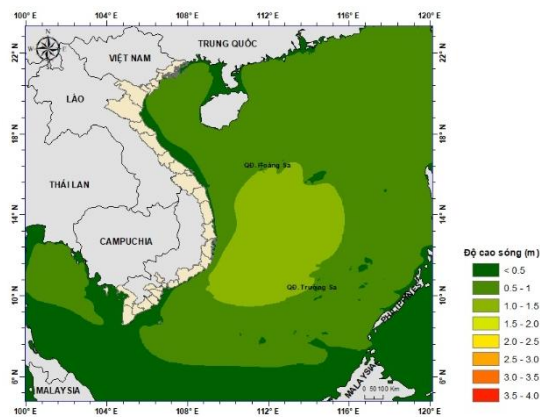


(a) Độ cao sóng

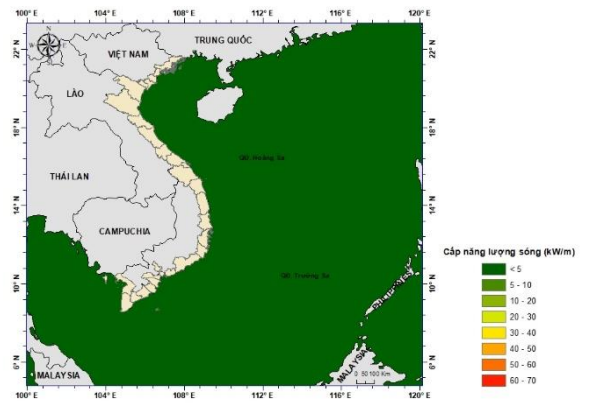


(b) Năng lượng sóng

(b) Mùa Xuân

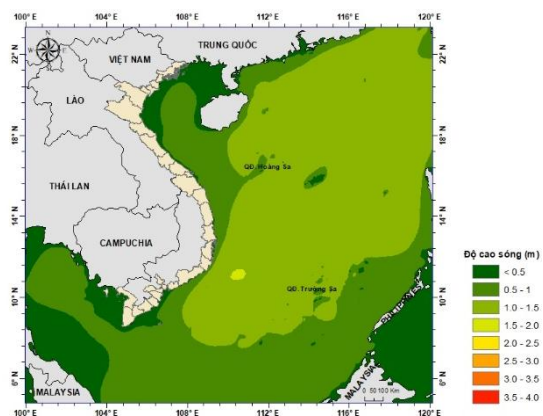


(a) Độ cao sóng

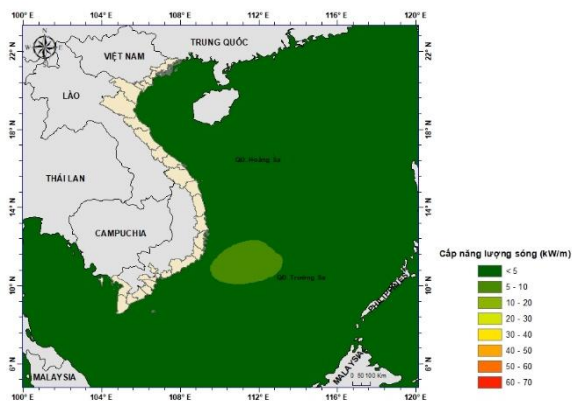


(b) Năng lượng sóng

(c) Mùa Hạ

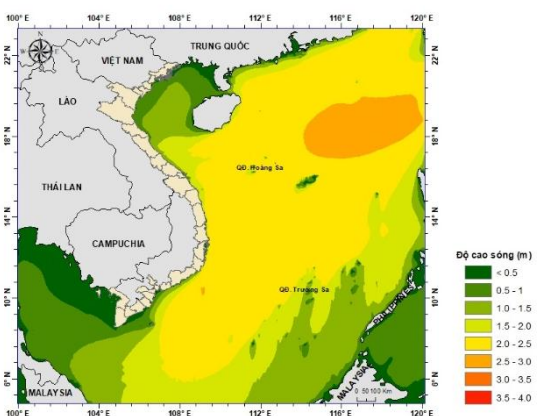


(a) Độ cao sóng

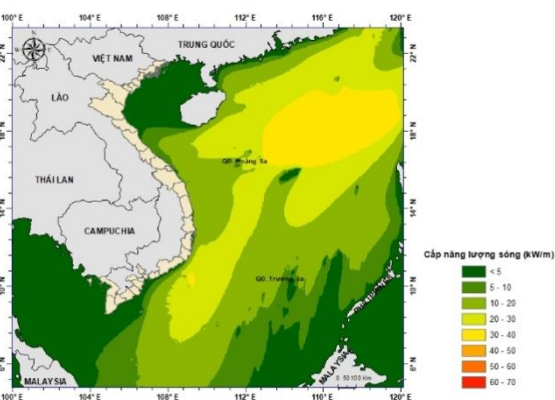


(b) Năng lượng sóng

(d) Mùa Thu

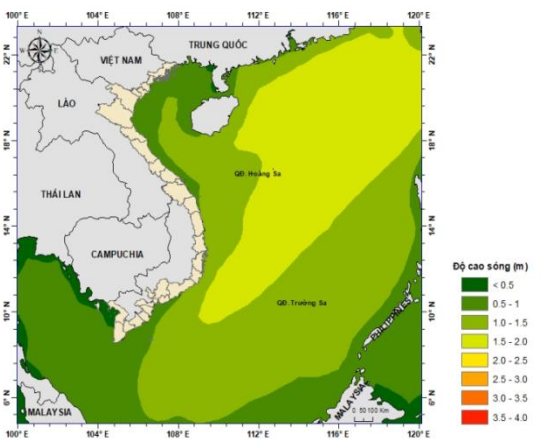


(a) Độ cao sóng

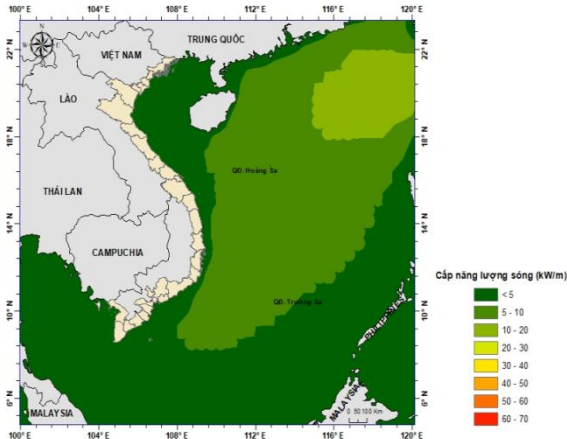


(b) Năng lượng sóng

(e) Trung bình Mùa Đông



(a) Độ cao sóng



(b) Năng lượng sóng

BAN CHỈ ĐẠO THỰC HIỆN

1. GS.TS. Trần Hồng Thái, Tổng cục trưởng Tổng cục Khí tượng Thủy văn, Trưởng ban chỉ đạo.
2. TS. Hoàng Đức Cường, Phó Tổng cục trưởng Tổng cục Khí tượng Thủy văn, Phó Trưởng ban.
3. PGS.TS. Phạm Thị Thanh Nga, Phó Viện trưởng Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu, Phó Trưởng ban.
4. PGS.TS. Mai Văn Khiêm, Giám đốc Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn quốc gia, Tổng cục Khí tượng Thủy văn, Thành viên.
5. ThS. Vũ Đức Long, Vụ trưởng Vụ Quản lý dự báo khí tượng thủy văn, Tổng cục Khí tượng Thủy văn, Thành viên kiêm Thư ký.

TỔ BIÊN TẬP NỘI DUNG

1. TS. Hoàng Đức Cường, Phó Tổng cục trưởng Tổng cục Khí tượng Thủy văn, Tổ trưởng.
2. PGS.TS. Phạm Thị Thanh Nga, Phó Viện trưởng Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu, Tổ phó.
3. PGS.TS. Mai Văn Khiêm, Giám đốc Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn quốc gia, Tổng cục Khí tượng Thủy văn, Thành viên.
4. ThS. Nguyễn Vinh Thư, Giám đốc Đài Khí tượng cao không kiêm điều hành Trung tâm Quan trắc khí tượng thủy văn, Tổng cục Khí tượng Thủy văn, Thành viên.
5. CN. Trần Văn Nghĩa, Giám đốc Trung tâm Thông tin và Dữ liệu khí tượng thủy văn, Tổng cục Khí tượng Thủy văn, Thành viên.
6. TS. Nguyễn Xuân Hiên, Giám đốc Trung tâm Hải văn, Tổng cục Biển và Hải đảo Việt Nam, Thành viên.
7. TS. Vũ Văn Thắng, Giám đốc Trung tâm Nghiên cứu Khí tượng - Khí hậu, Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu, Thành viên.
8. TS. Nguyễn Đăng Mậu, Giám đốc Trung tâm Nghiên cứu Khí tượng nông nghiệp, Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu, Thành viên.
9. ThS. Vũ Đức Long, Vụ trưởng Vụ Quản lý dự báo khí tượng thủy văn, Tổng cục Khí tượng Thủy văn, Thành viên.
10. TS. Hoàng Phúc Lâm, Phó giám đốc Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn quốc gia, Tổng cục Khí tượng Thủy văn, Thành viên.
11. PGS.TS. Nguyễn Bá Thủy, Phó giám đốc Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn quốc gia, Tổng cục Khí tượng Thủy văn, Thành viên.
12. ThS. Trần Quang Năng, Phó Vụ trưởng Vụ Quản lý dự báo khí tượng thủy văn, Tổng cục Khí tượng Thủy văn, Thành viên kiêm Thư ký.