

BỘ TÀI NGUYÊN VÀ MÔI TRƯỜNG
TỔNG CỤC KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN



BÁO CÁO

TIỀM NĂNG NĂNG LƯỢNG GIÓ, SÓNG NGOÀI KHƠI TẠI CÁC VÙNG BIỂN VIỆT NAM



Hà Nội, 3/2022

MỤC LỤC

MỞ ĐẦU	3
PHẦN I.....	4
THỰC TRẠNG PHÁT TRIỂN NĂNG LƯỢNG GIÓ, SÓNG NGOÀI KHƠI.....	4
1.1. Thực trạng và xu thế phát triển tiềm năng năng lượng gió trên thế giới	4
1.2. Một số đánh giá ban đầu về tiềm năng năng lượng gió ở Việt Nam.....	8
1.3. Thực trạng và xu thế phát triển tiềm năng năng lượng sóng trên thế giới.....	10
PHẦN II	19
NGUỒN SỐ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP	19
2.1. Nguồn số liệu	19
2.2. Phương pháp	20
KẾT QUẢ ĐÁNH GIÁ TIỀM NĂNG NĂNG LƯỢNG GIÓ, SÓNG	30
3.1. Kết quả đánh giá tiềm năng năng lượng gió tại các vùng biển Việt Nam.....	30
3.1.2.1. Phân bố gió và tiềm năng năng lượng gió trên khu vực Biển Đông	30
3.1.2.2. Hoa gió và mật độ năng lượng gió trên các vùng biển Việt Nam	43
3.2. Kết quả đánh giá tiềm năng năng lượng sóng tại các vùng biển Việt Nam...	48
3.3. Dự báo tiềm năng năng lượng gió, sóng theo kịch bản biến đổi khí hậu	66
PHẦN IV	69
CÁC NHÂN TỐ TÁC ĐỘNG ĐẾN KHAI THÁC NĂNG LƯỢNG GIÓ, SÓNG VÀ ẢNH HƯỞNG CỦA CÔNG TRÌNH KHAI THÁC TỚI MÔI TRƯỜNG VÀ HOẠT ĐỘNG KINH TẾ - XÃ HỘI.....	69
4.1. Tác động của các thiên tai trên biển đến khai thác năng lượng gió, sóng	69
4.2. Ảnh hưởng của các công trình khai thác năng lượng gió, sóng ngoài khơi tới môi trường và hoạt động kinh tế - xã hội.....	81
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ.....	86
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	90

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.

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 được ban tặng cho nguồn tài nguyên năng lượng sóng phong phú nhất so với các nước trong khu vực. Theo đánh giá mật độ năng lượng sóng ở Biển Đông thấp hơn vào mùa xuân - hè và cao hơn vào mùa thu - đông.

Báo cáo tiềm năng năng lượng gió, sóng ngoài khơi tại các vùng biển Việt Nam cung cấp các thông tin về thực trạng nghiên cứu, phát triển công nghệ và khai thác năng lượng gió, sóng ngoài khơi trên thế giới và tại Việt Nam, những kết quả nghiên cứu bước đầu về phân bố chi tiết tiềm năng năng lượng gió, sóng tại các vùng biển của Việt Nam. 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.

Tổng cục Khí tượng Thủy văn trân trọng giới thiệu Báo cáo tiềm năng năng lượng gió, sóng ngoài khơi tại các vùng biển Việt Nam và bày tỏ lòng cảm ơn đối với sự tham gia, phối hợp tích cực của Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu, Trung tâm Hải văn (Tổng cục Biển và hải đảo Việt Nam), 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 Phạm Minh Huấn đã hỗ trợ xây dựng Báo cáo tiềm năng năng lượng gió, sóng ngoài khơi tại các vùng biển Việt Nam.

PHẦN I

THỰC TRẠNG PHÁT TRIỂN NĂNG LƯỢNG GIÓ, SÓNG NGOÀI KHƠI

1.1. Thực trạng và xu thế phát triển tiềm năng năng lượng gió trên thế giới

Con người từ lâu đã biết sử dụng năng lượng gió để di chuyển thuyền buồm, khinh khí cầu hoặc cối xay gió. Sau phát minh về điện và máy phát điện, ý tưởng dùng năng lượng gió để sản xuất điện được hình thành. Từ sau cuộc khủng hoảng dầu lửa vào những năm 1970. Về mặt lịch sử phát triển điện gió ngoài khơi, các trang trại điện gió ngoài khơi được lắp đặt đầu tiên trên thế giới vào năm 1991 ở vùng biển Đan Mạch. Kể từ đó, nhiều trang trại điện gió ở vùng biển nông được mở rộng ra nhiều nước ở châu Âu và thế giới. Trong những năm gần đây, cùng với sự phát triển mạnh của công nghệ và nhu cầu năng lượng, cũng như ưu tiên các hoạt động ứng phó với biến đổi khí hậu (BĐKH), điện gió ngoài khơi được phát triển mạnh, các vùng biển có độ sâu lên đến vài trăm mét cũng được khai thác sử dụng. Theo IRNA (2021), các trang trại điện gió ngoài khơi chủ yếu phát triển ở các nước Tây Âu, Trung Quốc, Biển Đông và Châu Mỹ. 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.

Trong bối cảnh BĐKH hiện nay, đặc biệt là sau thỏa thuận Paris về BĐKH và thỏa thuận Net-ZERO tại 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. Trong những năm gần đây, do tình hình khan hiếm tài nguyên năng lượng hóa thạch, chiến tranh (khu vực Trung Đông, Nga - Ukraina,...) khiến giá cả của năng lượng hóa thạch biến động mạnh,... các nước bắt đầu quan tâm hơn đến phát triển năng lượng sạch, đặc biệt là năng lượng gió. Do đó, năng lượng gió được xem là chìa khóa để giảm sự phụ thuộc vào nhiên liệu hóa thạch và thúc đẩy nền kinh tế không cacbon. Chuyển đổi sang năng lượng sạch và năng lượng tái tạo là một giải pháp cần thiết để đạt được các Mục tiêu Phát triển Bền vững (về năng lượng sạch và giá cả phải chăng) đến năm 2030 do Liên hợp quốc đề ra [1]. Năng lượng gió ngoài khơi là một nguồn năng lượng tái tạo có triển vọng phát triển lớn, có thể lắp đặt các trang trại gió ngoài khơi trên vùng biển rộng lớn. Ưu điểm chính của năng lượng gió ngoài khơi là khả năng tạo ra điện cao hơn vì tốc độ gió trên đại dương thường ổn định hơn và mạnh hơn so với trên đất liền [1,12,27]. Ngoài ra, một điểm cộng khác là thực tế không giới hạn các địa điểm ngoài khơi để triển khai trang trại điện gió mà ít hoặc không ảnh hưởng đến xung đột dân cư [1,12,47,57,68]. Hơn nữa, những tiến bộ gần đây trong công nghệ gió ngoài khơi giúp giảm chi phí vốn, lắp đặt và vận hành [57,68].

Theo số liệu thống kê [68], hiện nay đã có 130 nước trên thế giới phát triển điện gió. Tổng công suất điện gió của thế giới tăng nhanh trong khoảng 1 thập kỷ gần đây, đến năm 2020 với tổng công suất lên tới 733 GW cao gần gấp hai lần so với năm 2011. Kể từ năm 2010, hơn một nửa tổng lượng điện gió mới đã được bổ sung bên ngoài các thị trường truyền thống là Châu Âu và Bắc Mỹ, chủ yếu là do sự bùng nổ liên tục ở Trung Quốc và Ấn Độ. Vào cuối năm 2015, Trung Quốc đã lắp đặt 145 GW điện gió. Đến năm năm 2015, Trung Quốc đã lắp đặt gần một nửa công suất điện gió tăng thêm của thế giới. Theo đánh giá 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% (trung bình) ở EU, 8% ở Mỹ và 6% ở Trung Quốc. Vào tháng 11 năm 2018, sản lượng điện từ gió ở Scótlan cao hơn mức tiêu thụ điện của cả nước trong tháng. Tỷ lệ sử dụng điện trên toàn thế giới của phong điện vào cuối năm 2018 là 4,8%, tăng từ 3,1% của bốn năm trước đó. Ở Châu Âu, tỷ trọng công suất phát điện của nó là 18,8% vào năm 2018. Trong năm 2018, thị trường điện gió sắp tới đã tăng từ 8% lên 10% ở Trung Đông, Mỹ Latinh, Đông Nam Á và Châu Phi.

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) [55], 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 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.

Để phục vụ nhu cầu phát triển và tiêu thụ năng lượng tăng không ngừng, phát triển nghiên cứu đánh giá tiềm năng năng lượng gió là điều rất yếu. Do vậy, việc nghiên cứu tìm các nguồn nhiên liệu để bổ sung và thay thế dần cho nhiên liệu hóa thạch đang trở thành xu thế của sự phát triển. Ở các nước phát triển như Mỹ, Châu Âu, Trung Quốc,... các Atlas về năng lượng gió đã được xây dựng từ những năm cuối của thế kỷ XX. Bộ Atlas năng lượng gió đầu tiên trên thế giới là của Cộng đồng Châu Âu được xây dựng và phát triển từ giữa thế kỷ XX [55]. Cùng với Atlas toàn châu lục, nhiều nước thuộc châu Âu cũng đã phát triển Atlas riêng cho quốc gia mình, tiêu biểu như của Vương Quốc Anh. Bên cạnh đó, với ưu thế về năng lượng gió, các nước Bắc Âu (Đan Mạch, Hà Lan, Na Uy, Đức,...) đều đã xây dựng Atlas về năng lượng gió ngoài khơi sau khi Atlas chung của châu Âu được

ban hành. 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 [51]. 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” [68].

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) [95]. Đặc biệt, trong dự án đánh giá tài nguyên năng lượng gió do 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) [50], MASS (Hoa Kỳ) [78], MC2 (Canada) [53] ... 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 [51] và WindPRO [52] 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 [24,26,47].

Hiện nay, các nước trên thế giới đều thống nhất chung về đánh giá tài nguyên năng lượng gió là dựa trên số liệu tối thiểu trung bình 10 năm liên tục và được thực hiện định kỳ giống như Báo cáo đánh giá khí hậu quốc gia. Hiện nay, tập Atlas bản đồ năng lượng gió tại các nước phát triển đã được trong quy chuẩn/tiêu chuẩn phục vụ phát triển quy hoạch khai thác và sử dụng hợp lý nguồn tài nguyên thiên nhiên. Trong Báo cáo này, ngưỡng gió 6 m/s được sử dụng để xác định vùng phát triển điện gió.

Từ những phân tích nêu trên có thể đưa ra một số nhận xét cơ bản về nghiên cứu đánh giá tiềm năng năng lượng gió như sau:

(1) Thuật toán tính toán năng lượng gió và những điều cần lưu: để chuyển đổi từ tốc độ gió, phương pháp cơ bản nhất được sử dụng là hàm phân bố mật độ năng lượng gió (Wind power density -WPD).

(2) Phân loại nghiên cứu:

Nghiên cứu tính toán tiềm năng năng lượng gió có thể phân thành hai lớp bài toán khác nhau: (1) Lớp bài toán đánh giá chung; (2) Lớp bài toán tính toán cho khu vực nhỏ, phục vụ triển khai thực tiễn dự án đầu tư.

- Lớp bài toán đánh giá chung: nghiên cứu đánh giá tiềm năng năng lượng gió là một chủ đề nghiên cứu về gió của ngành khí tượng. Do vậy, các nghiên cứu ban đầu chủ yếu được thực hiện theo góc nhìn nghiên cứu gió là nghiên cứu ở quy mô rộng lớn, dựa trên số liệu tái phân tích và số liệu quan trắc.

- Lớp bài toán tính toán cho khu vực nhỏ phục vụ triển khai thực tiễn dự án đầu tư, các mô hình tính toán năng lượng gió thương mại và các phần mềm tính toán năng lượng gió: Đây là cách tiếp cận tính toán tại một khu vực nhỏ trước khi tiến hành thực hiện dự án về năng lượng gió. Ưu điểm của các mô hình và phần mềm này là không đòi hỏi máy tính cấu hình cao. Gần đây, các nghiên cứu chuyển sang sử dụng mô hình thời tiết và khí hậu độ phân giải cao như mô hình WRF để thực hiện nghiên cứu cho khu vực nhỏ. Ưu điểm của mô hình WRF và các mô hình

thời tiết, khí hậu độ phân giải cao là có thể khắc phục được những hạn chế của các mô hình, phần mềm thương mại đã được sử dụng trước đó.

(3) Đánh giá tài nguyên năng lượng gió được xem là một dạng đánh giá khí hậu, dựa trên bộ số liệu dài tối thiểu là 10 năm liên tục và được thực hiện theo chu kỳ đánh giá khí hậu quốc gia. Thông tin về đánh giá tài nguyên năng lượng gió được sử dụng trong quy chuẩn/tiêu chuẩn quốc gia nhằm phục vụ công tác quy hoạch khai thác và sử dụng tài nguyên năng lượng gió.

(4) Hạn chế của các nghiên cứu về đánh giá tài nguyên năng lượng gió đã được triển khai

- Hạn chế về số liệu: Do mục đích nghiên cứu là khác nhau, nên hầu hết các nghiên cứu chủ yếu sử dụng số liệu tái phân tích và tính toán trong thời gian ngắn (thời kỳ mô phỏng ngắn, thời kỳ khảo sát chỉ khoảng vài tháng hoặc một vài năm).

- Hạn chế về chất lượng: Nghiên cứu ứng dụng mô hình số độ phân giải cao là giải pháp phù hợp. Tuy nhiên, các nghiên cứu mới chỉ dừng lại ở việc mô phỏng và so sánh với số liệu quan trắc, mà chưa thực hiện hiệu chỉnh hậu mô hình. Do vậy, kết quả đánh giá tài nguyên năng lượng gió vẫn chưa bám sát với thực tế. Các nghiên cứu sử dụng số liệu tái phân tích, kết quả mới chỉ dừng lại ở việc cung cấp thông tin phổ quát về phân hóa theo không gian ở quy mô lớn.

1.2. Một số đánh giá ban đầu về tiềm năng năng lượng gió ở Việt Nam

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 [102,103], 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 và hơn 10 lần tổng công suất dự báo của ngành điện Việt Nam năm 2020. 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.

Nghiên cứu đánh giá tài nguyên năng lượng gió đã được thực hiện thông qua những đề tài cấp Bộ, cấp Nhà nước và các tài trợ nước ngoài. Điển hình như, chương trình khoa học công nghệ cấp nhà nước giai đoạn 1996-2000: “Xây dựng chiến lược và chính sách phát triển năng lượng bền vững” đã có những đánh giá tổng quát là năng lượng gió ở Việt Nam thấp, chỉ ứng dụng tốt ở vùng đảo xa, ven bờ và ở một vài nơi có gió địa hình [26]. Đề tài cấp Bộ Tài nguyên và Môi trường “Đánh giá tài nguyên và khả năng khai thác năng lượng gió trên lãnh thổ Việt Nam” [20,21] đã đưa ra được tập Atlas năng lượng gió cho các tháng đặc trưng trong năm.

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.

Gần đây, một nghiên cứu đáng chú ý đã được thực hiện với việc ứng dụng mô hình WRF chạy ở độ phân giải 10x10km để mô phỏng tài nguyên năng lượng gió thời kỳ 2006-2010 trên khu vực Biển Đông. Kết quả của các tác giả cho thấy, tiềm năng năng lượng gió được đánh giá cao hơn đáng kể so với các nghiên cứu trước đây, với phân bố mật độ năng lượng gió phổ biến 500-1400 W/m². Trong đó, các vùng biển có mật độ năng lượng gió lớn đáng chú ý: vịnh Bắc Bộ, khu vực Quần đảo Hoàng Sa, Quần đảo Trường Sa và Giữa Biển Đông, ven biển Nam Trung Bộ [47].

Những kết quả nghiên cứu có sự khác biệt giữa các nghiên cứu gần đây so với trước năm 2010 là tiềm năng năng lượng gió là cao hơn, thậm chí có nơi cao gấp hai lần. Nguyên nhân có thể là: (1) Số liệu sử dụng là số liệu tái phân tích, độ phân giải thô; (2) Các đánh giá trước đây chưa thấy có kiểm chứng; (3) Chưa áp dụng mô hình số trị độ phân giải cao và số liệu vệ tinh, radar thế hệ mới; (4) Chưa nhiều thuật toán ước lượng được đánh giá và so sánh. Do vậy, cần thiết đề xuất nhanh chóng triển khai thực hiện các nghiên cứu với (1) Sử dụng bằng số liệu mới; (2) Mô hình toán độ phân giải cao; (3) điều tra khảo sát bổ sung; (4) Đánh giá, kiểm chứng và hiệu chỉnh trước khi sử dụng kết quả của mô hình bằng đa nguồn số liệu truyền thống và phi truyền thống.

Bảng 1.1: So sánh mật độ năng lượng gió ở mực 100 m trong các nghiên cứu trên khu vực Biển Đông

Vùng biển	Mật độ năng lượng gió phổ biến (W/m ²)		
	Các tác giả trong nước	Dự án Global Wind Atlas	Đoàn Quang Văn và nnk (Trường Đại học Tsukuba)
Bắc vịnh Bắc Bộ	400-600	400-700	800-1100
Nam vịnh Bắc Bộ	200-300	300-500	800-1000
Quảng Trị - Quảng Ngãi	200-400	200-400	400-800

Vùng biển	Mật độ năng lượng gió phổ biến (W/m ²)		
	Các tác giả trong nước	Dự án Global Wind Atlas	Đoàn Quang Văn và nnk (Trường Đại học Tsukuba)
Bình Định - Ninh Thuận	400-800	500-1100	800-1200
Bình Thuận - Cà Mau	400-600	400-1000	500-900
Cà Mau – Kiên Giang	300-400	200-300	500
Quần đảo Hoàng Sa	400-500	400-600	1100-1200
Quần đảo Trường Sa	400-600	400-500	800-1000

1.3. Thực trạng và xu thế phát triển tiềm năng năng lượng sóng trên thế giới

Ưu điểm của phát triển năng lượng sóng:

Năng lượng sóng là nguồn năng lượng dồi dào vì sóng được tạo ra bởi gió nên sóng cũng là nguồn năng lượng tái tạo; Ô nhiễm do năng lượng sóng tạo ra ít hơn so với các nguồn năng lượng xanh khác; Giảm sự phụ thuộc vào nhiên liệu hóa thạch; Năng lượng sóng tương đối nhất quán và có thể đoán trước; Thiết bị năng lượng sóng là mô-đun; Dễ dàng kết hợp với các thiết bị năng lượng sóng bổ sung được thêm khi cần thiết; Hạn chế xói lở bờ biển; Không có rào cản hoặc khó khăn trong việc di chuyển cá và động vật thủy sinh.

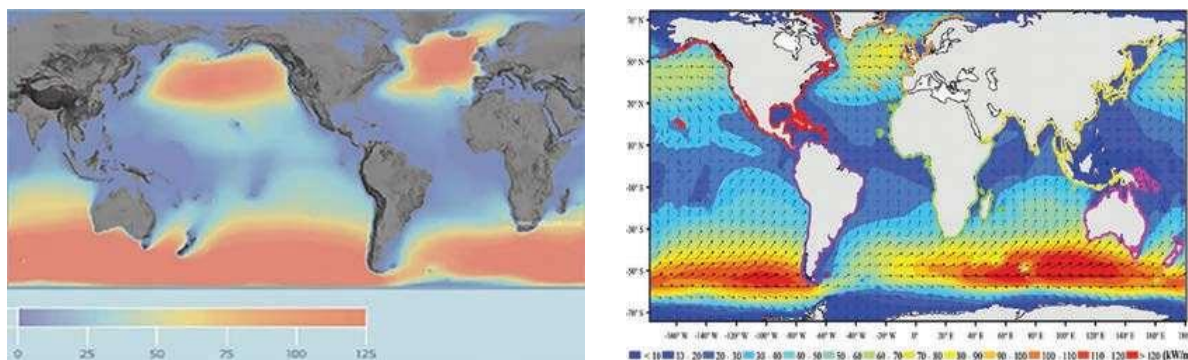
Nhược điểm của phát triển năng lượng sóng:

Hệ thống tích lũy năng lượng sóng trên đất liền có thể có một tác động môi trường gần như là có thể sử dụng độc quyền ở các nước công nghiệp vì chế độ sóng thuận lợi hiếm khi được tìm thấy ở Thế giới thứ ba. Sức sóng đòi hỏi vốn đầu tư cao và nền tảng công nghệ phát triển cao mà các nước nghèo không có. Năng lượng sóng hoặc sóng không thể dự đoán chính xác, vì sóng phụ thuộc vào điều kiện thời tiết. Nhiều những thiết bị đề cập họ vẫn có vấn đề về chức năng và họ đang phải đối mặt với những tình huống khó xử về công nghệ phức tạp: Các cơ sở ven biển có một tác động thị giác lớn, trong các cơ sở ngoài khơi, nó rất phức hợp để truyền năng lượng sinh ra vào đất liền; Các cơ sở phải chịu được điều kiện rất khắc nghiệt trong thời gian dài; Sóng có mômen xoắn cao và vận tốc góc thấp, phải được biến đổi thành mômen xoắn thấp và vận tốc góc cao, được sử dụng trong hầu hết các máy, quá trình này có một hiệu suất rất thấp, sử dụng các công nghệ hiện tại.

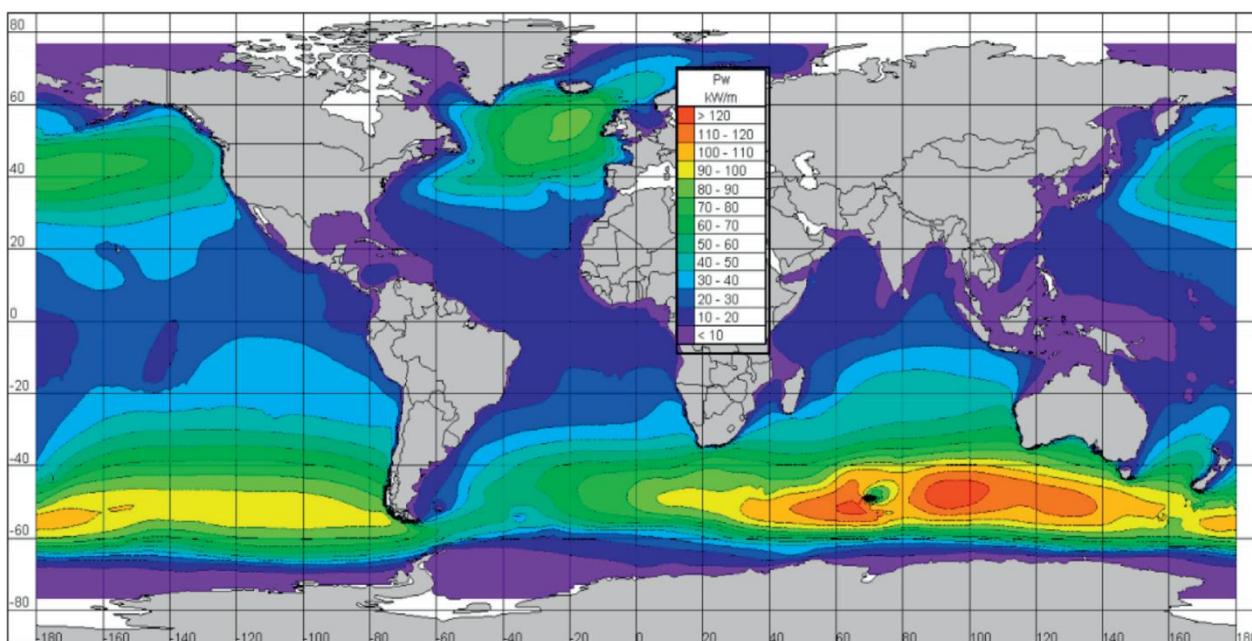
Tình hình nghiên cứu và phát triển công nghệ khai thác năng lượng sóng:

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 [4].



Hình 1.1: Tài nguyên và mật độ năng lượng sóng biển trên thế giới [4]



Hình 1.2: Ước tính công suất sóng trung bình hàng năm trên toàn cầu (kW/m) [7]

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 [108].

Bảng 1.2: Nguồn năng lượng sóng lý thuyết theo khu vực và toàn cầu [7].

Nguồn	P_{gross} (GW)	P (GW)	P_{net} (GW)
Châu Âu (Bắc và Tây)	381	371	286
Biển Baltic	15	4	1
Phần Châu Âu thuộc Nga	37	22	3
Địa Trung Hải	75	37	37
Nhóm đảo Châu Âu	111	111	111
Bắc Mỹ (Đông)	115	103	35
Bắc Mỹ (Tây)	273	265	207
Greenland	103	99	3
Trung Mỹ	180	171	171
Nam Mỹ (Đông)	206	203	202
Nam Mỹ (Tây)	325	324	324
Bắc Phi	40	40	40
Tây và Trung Phi	77	77	77
Châu Phi (Nam)	178	178	178
Châu Phi (Đông)	133	133	127
Châu Á (Đông)	173	164	157
Châu Á (Đông Nam) và Melanesia	356	283	283
Châu Á (Tây và Nam)	100	90	84
Phần Châu Á thuộc Nga	172	162	23
Australia và Newzeland	590	574	574
Polynesia	63	63	63
Tổng cộng	3702	3475	2985

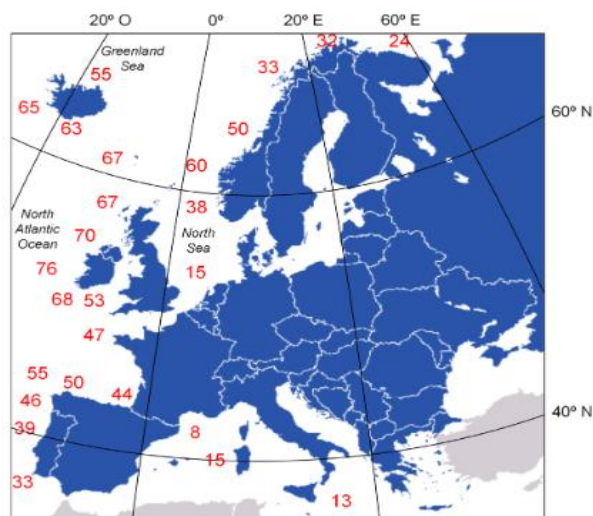
Một số tác giả đã công bố những đánh giá tài nguyên năng lượng sóng chi tiết về các khu vực hoặc quốc gia cụ thể. Tập trung vào các tài nguyên năng lượng sóng, xem Bảng 1.3 và Hình 1.3 chỉ ra Châu Âu là một trong những khu vực giàu năng lượng nhất của thế giới, chỉ vượt qua vài khu vực của Nam Mỹ và 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.

Bảng 1.3: Các vị trí thử nghiệm năng lượng sóng ngoài khơi [7]

Name	Location	Start date	Device scale	Distance to shore (km)	Area (km ²)	Depth (m)	Wave resource
DanWEC [52,53]	Hanstholm (Denmark)	2009	Prototype scale	0.2	1	12	16.3 kW/m
Wave Hub [9,52]	Cornwall (England)	2011	Prototype scale	16	8 (2 × 4)	50–65	> 20 kW/m
SEM-REV [52,54]	Pays de la Loire (France)	2008	Prototype real scale	15	1 (1 × 1)	35	14.4 kW/m
AMETS [52,55]	Belmullet (Ireland)	2012	Full scale	7	21	50–100	–
Runde [52,56,57]	Runde (Norway)	2009	Full scale	0.4	–	50	40–50 kW/m
Pilot zone [52]	North Sao Pedro de Moel (Portugal)	2007	–	4.5–7	320	30–90	32 kW/m
EMEC [52,58]	Orkney Island (Scotland)	2004	Commercial scale	1–2	5	35–75	40 kW/m
BIMEP [52,59,60]	Basque Country (Spain)	–	Full scale	17	5.3	50–90	21 kW/m
Plocan [52,61]	Canary Island (Spain)	2011	–	–	–	50–100	–
Nissum Bredning [52,62]	Nissum Bredning (Denmark)	2003	Small scale	0.2	–	3.5–8	–
Galway Bay [52,63]	Spiddal (Ireland)	2006	Intermediate scale	2.4	0.37	21–24	3 kW/m
EMEC II [52,58]	Orkney Island (Scotland)	2011	Scaled devices	–	2	–	–
Wave Power [64]	Lysekil (Sweden)	2006	Large scale	2	–	25	3 kW/m
NNMREC [64–66]	Oregon (EEUU), planned	–	Full scale	3.2	2.6	40–50	–
HINMREC [64,67,68]	Kaneohe (Hawaii)	2003	Prototype scale	1.2	–	30	12 kW/m
HINMREC [64,67,68]	Maui (Hawaii)	2008	Commercial size	1	–	10	14 kW/m

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.



Hình 1.3: Phân bố năng lượng sóng theo năm tại châu Âu [7]

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 [107] đã dựa trên đánh giá và phân tích dựa trên mô phỏng 31 năm các đặc điểm của sóng bằng mô hình phổ WAVEWATCH – III™ 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.

Các thành tựu đã đạt được:

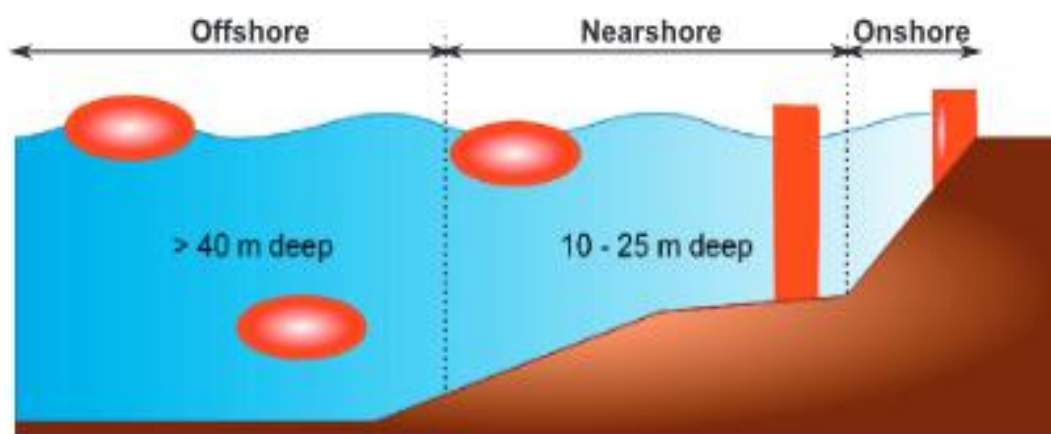
Hiện nay, công nghệ năng lượng sóng chưa được thương mại rộng rãi và nói chung các dự án năng lượng sóng chỉ được xây dựng với mục tiêu đặc biệt, chưa phải là các dự án đầu tư thông thường. Các thành tựu về lĩnh vực này đang ở mức độ nghiên cứu và phát triển ở quy mô nhỏ. Dưới đây là một số bộ chuyển đổi năng lượng sóng (WEC) đã được phát triển, ngày nay có hơn một nghìn nguyên mẫu, nhìn chung, có thể được phân loại theo ba đặc điểm: vị trí, kích thước và nguyên lý làm việc. Vì vậy, mỗi WEC có thể được phân loại thành nhiều nhóm tùy thuộc vào tính năng, đặc điểm. Mô tả của từng loại theo ba đặc điểm được trình bày dưới đây.

- Thiết bị trên bờ: Các bộ chuyển đổi này được đặt trên bờ và có thể được đặt trên mặt biển (ở vùng nước nông), tích hợp trong một đê chắn sóng như trong một con đập hoặc cố định vào một vách đá. Lợi thế chính của những bộ chuyển đổi này là dễ dàng bảo trì và cài đặt vì trong hầu hết các trường hợp, vị trí có thể truy cập được. Hơn nữa, chúng không cần hệ thống neo đậu cũng như chiều dài của cáp biển để kết nối WEC với lưới điện. Tuy nhiên, tại đường bờ biển, sóng chứa ít năng lượng hơn vì sự tương tác của chúng với đáy biển, và việc thiếu các vị trí đất liền phù hợp cũng gây khó khăn cho việc triển khai các hệ thống này. Các vấn đề thuộc về môi trường cũng có thể phát sinh, bởi vì bờ biển có thể định hình lại.

- Thiết bị gần bờ: Các bộ chuyển đổi này được lắp đặt cách bờ vài trăm mét ở độ sâu nước vừa phải (10 – 25 m). Chúng thường được đặt dưới đáy biển (tránh

neo đậu) nhưng kết cấu phải chịu ứng suất phát sinh khi sóng vượt qua nó. Trong các trường hợp khác, chúng cũng là cấu trúc nổi.

- Thiết bị ngoài khơi: Các bộ chuyển đổi này được đặt ở vùng nước sâu (hơn 40 m), xa bờ và được xây dựng nổi hoặc các cấu trúc chìm neo dưới đáy biển. Do vị trí của chúng, chúng có thể khai thác sức mạnh sóng lớn của biển. Tuy nhiên, theo cách tương tự, vì biển mở, độ tin cậy và khả năng tồn tại của thiết bị là một vấn đề lớn và kết cấu của chúng phải chịu tải trọng rất cao. Hơn nữa, việc bảo trì chúng là một quá trình phức tạp và tốn kém. Cáp biển có độ dài lớn được sử dụng để mang năng lượng đến lưới.



Hình 1.1: Vị trí của các bộ chuyển đổi năng lượng sóng [7]

Trong đó, có một số thiết bị đã được nghiên cứu và ứng dụng, như:

- Thiết bị chuyển đổi năng lượng sóng thành điện năng của Đại học Uppsala Thụy Điển:

Dự án khai thác năng lượng sóng tại Thụy Điển –Lysekil:

Mục tiêu của dự án khai thác năng lượng sóng tại Thụy Điển Lysekil là thử nghiệm bộ chuyển đổi năng lượng sóng trên nguyên tắc mới để chuyển đổi năng lượng sóng thành điện năng trong các điều kiện trường sóng thực tế tại Thụy Điển và trong một thời gian lâu dài. Khu vực tiến hành dự án là khu vực bờ tây của Thụy Điển, khoảng cách vào khoảng 1 hải lý (2 km) tại bờ tây của bán đảo Islandsberg tại khu tự trị Lisekil. Thiết bị này là loại thiết bị Powerbuoy cải tiến. Máy tạo điện năng từ năng lượng sóng dựa trên nguyên lý chuyển động của pistong. Thiết bị này được đặt tại đáy biển và tạo điện năng nhờ dây nối với phao nổi trên mặt biển. Một số các thiết bị này có thể được tạo thành các nhóm tại các độ sâu từ 20 đến 100 m dưới mặt biển và sử dụng dây truyền điện vào bờ và sử dụng bộ chuyển đổi dòng

điện DC/AC. Cả hệ thống nêu trên bao gồm phao, dây dẫn và thiết bị chuyển đổi được đánh giá là có giá cả rẻ, chắc chắn, thân thiện với môi trường và có khả năng chống chọi được với các điều kiện thời tiết khắc nghiệt trên biển. Ngoài ra các kiểm nghiệm về kỹ thuật và công nghệ cho thấy thiết bị tồn tại không ảnh hưởng đến trong các điều kiện môi trường, sinh học và sinh thái khác nhau. Chính quyền địa phương tại Västra Götaland đã cho phép thử nghiệm kích cỡ thực tế 40 phao và số thiết bị chuyển đổi cực đại là 10 chiếc. Kế hoạch thử nghiệm thiết bị được thực hiện trong các năm 2009-2010 và khai thác đại trà trong các năm 2013-2014 [4]

- Thiết bị chuyển đổi năng lượng sóng thành điện năng Limpet của Scotlen.

Đây là loại thiết bị đặt trên bờ biển, thích hợp với các khu vực bờ biển dốc đứng (đảo) có độ cao sóng lớn. Do đặc điểm bờ biển dốc đứng, đáy biển rất sâu nên các thiết bị này hầu như không có ảnh hưởng gì đến kinh tế - xã hội của khu vực khai thác. Ảnh hưởng đến môi trường của việc khai thác thiết bị Limpet cũng hầu như không có gì tác hại. Đối với tình hình xã hội ở Việt Nam, việc lắp đặt thiết bị này hầu như rất an toàn vì các bờ biển đá dốc đứng này rất nguy hiểm, tàu bè, dân chài không thể sử dụng làm nơi neo đậu và đi lại gần được. Về mặt kỹ thuật thiết bị này có thể làm việc với những khu vực có năng lượng sóng vừa và yếu như vùng Biển Đông và các khu vực ven bờ, hải đảo Việt Nam.

Thiết bị đặt trên bờ biển, một cột nước dao động nghiêng (OWC) thiết kế cặp liền với cao độ mực nước dâng do sóng ngay sát bờ. Khoang không khí được thiết kế trong đó đóng vai trò rất quan trọng trong việc làm tăng cực đại hiệu quả thu năng lượng sóng và chuyển đổi năng lượng thành lực khí nén. Các tuốc bin được thiết kế phù hợp với khoang không khí để tăng cực đại công suất đầu ra.

Thử nghiệm đầu tiên được thực hiện trên đảo Islay của Scotlen. Thử nghiệm đã được thiết kế tối ưu với giá trị năng lượng sóng trung bình năm trong khoảng 15 đến 25 kW/m. Cột nước làm vận hành một cặp tuốc bin quay theo chiều kim đồng hồ mỗi tuốc bin quay một máy phát điện có công suất 250 kW tạo ra dòng điện có công suất tổng cộng 500 kW. Thiết bị Limpet rất phù hợp với các bờ biển theo hướng sóng thịnh hành (đông, đông bắc) của các đảo như Cô Tô, Bạch Long Vĩ, Hòn Ngư, Đảo Lý Sơn, Trường Sa vv... [106].

Hiện nay, có nhiều công nghệ được nhiều nước phát triển để khai thác nguồn năng lượng sóng dựa trên các nguyên lý sau:

Chênh lệch áp suất: Các thiết bị thuộc loại này có thể được chia thành hai loại: Bộ chuyển đổi hiệu ứng Archimedes và OWC. Trước đây, các thiết bị này được thiết kế như là một khối kết cấu nằm gần bờ và cố định với đáy biển, nó sử dụng chênh lệch áp lực được tạo ra giữa đỉnh sóng và chân sóng. Khi đỉnh của sóng

vượt qua thiết bị, sẽ tạo lên áp lực nước nén không khí bên trong nó và di chuyển bộ phận bên trong di chuyển xuống. Nếu nước xuyên qua thiết bị, áp suất sẽ giảm và thiết bị di chuyển lên trên. Một ví dụ về loại này là Archimedes 250 kW Wave Swing (AWS) [7].

Cấu trúc nổi: Loại thiết bị này dựa trên một cấu trúc nổi cơ thể được di chuyển bởi sóng. Dao động có thể sử dụng chuyển động có thể là dọc, ngang, cao độ hoặc kết hợp của nó. Hơn nữa, chuyển động này có thể được tạo ra bởi một chuyển động tuyệt đối giữa vật thể nổi và vật thể bên ngoài cố định. Ví dụ như công trình Searaser WEC dưới dạng cấu trúc nổi đơn lẻ và WaveStar là nhiều cấu trúc nổi kết hợp [7].

Thiết bị Overtopping: Những bộ chuyển đổi này là những bộ chuyển đổi trong đó sóng ảnh hưởng đến một cấu trúc làm tăng năng lượng tiềm năng của nó, Hệ thống tràn buộc nước đi qua trên cấu trúc, nghĩa là sẽ tạo ra một lượng nước được chứa trên một thiết bị nằm trên mực nước biển và sau đó xả nước trở lại biển thông qua các tuabin. Một ví dụ điển hình của bộ chuyển đổi như vậy là Wave Dragon 4–10 MW. Tùy thuộc vào năng lượng của sóng ở địa điểm triển khai và bộ chuyển đổi năng lượng SSG Wave (Dự án thử nghiệm 150 kW ở đảo Kvitsoy, Na Uy) [6].

Thiết bị tác động: Các bộ chuyển đổi này được kết nối hoặc linh hoạt các cấu trúc có vị trí vuông góc với phương truyền sóng. Theo cách này, bộ điều chỉnh di chuyển qua lại do sóng va chạm. Một ví dụ là Aquamarine Power Oyster 800 kW, thiết bị này theo chức năng và các đặc điểm của nó [7].

1.4. Một số đánh giá ban đầu về tiềm năng năng lượng sóng tại Việt Nam

Cũng trong Đề tài nghiên cứu KH-CN 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 PGS. TS. Nguyễn Mạnh Hùng, Ths. Dương Công Điền (2007), “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 [2]. 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.

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 Ingine 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.

PHẦN II

NGUỒN SỐ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

2.1. Nguồn số liệu

2.1.1. Số liệu quan trắc tại trạm

Báo cáo sử dụng số liệu quan trắc gió, sóng tại 17 trạm hải văn Việt Nam (Bảng 2.1) 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 Hổ) thời kỳ 4 năm 2017-2020 sử dụng để đánh giá các nguồn số liệu tái phân tích.

Bảng 2.1: Danh sách các trạm hải văn Việt Nam

TT	Tên trạm	Năm bắt đầu quan trắc	Ghi chú
1	Cửa Ông	1962	Trạm ven bờ
2	Cô Tô	1960	Đảo
3	Bãi Cháy	1962	Trạm ven bờ
4	Bạch Long Vỹ	1998	Đảo
5	Hòn Dấu	1960	Đảo
6	Sầm Sơn	1998	Trạm ven bờ
7	Hòn Ngư	1961	Đảo
8	Cồn Cỏ	1981	Đảo
9	Sơn Trà	1978	Trạm ven bờ
10	Quy Nhơn	1986	Trạm ven bờ, không quan trắc sóng
11	Phú Quý	1986	Đảo
12	Trường Sa	2002	Đảo
13	Vũng Tàu	1978	Trạm ven bờ
14	Côn Đảo	1986	Đảo
15	DK I-7	1992	Giàn nổi
16	Thổ Chu	1995	Đảo
17	Phú Quốc	1986	Đảo

2.1.2. Số liệu tái phân tích và vệ tinh

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 vệ tinh CCMP: Bộ dữ liệu CCMP với phân giải cao 0.25 được xây dựng trên cơ sở trường gió bề mặt của bộ số liệu ERA-Interim (Trung tâm Dự báo hạn vừa Châu Âu) kết hợp và hiệu chỉnh từ gió vệ tinh như SSM/I, SSMIS, AMSR, TMI, WindSat, and GMI và các quan trắc khác thông qua việc sử dụng phương pháp phân tích biến thiên (VAM). Tất cả các quan trắc gió (vệ tinh và phao) và các trường phân tích mô hình được quy chiếu đến độ cao 10 mét. Bộ số liệu độ phân giải cao CCMP 0.25 bắt đầu từ năm 1987 đến nay.

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 thế 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.

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.

2.2. Phương pháp

2.2.1. Phương pháp đánh giá 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:

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

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

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

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

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 .

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

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:

$$\frac{P}{A} = \int_0^{\infty} \frac{1}{2} \rho v^3 f(v) dv = \frac{1}{2} \rho c^3 \Gamma\left(\frac{k+3}{k}\right) \quad (2.11)$$

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

2.2.2. Phương pháp đánh giá 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:

$$P_o \approx \frac{\rho g^2}{64\pi} T_e H_s^2$$

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:

$$T_e = \alpha T_p$$

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.

$$EWHO = m * 100/n$$

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.

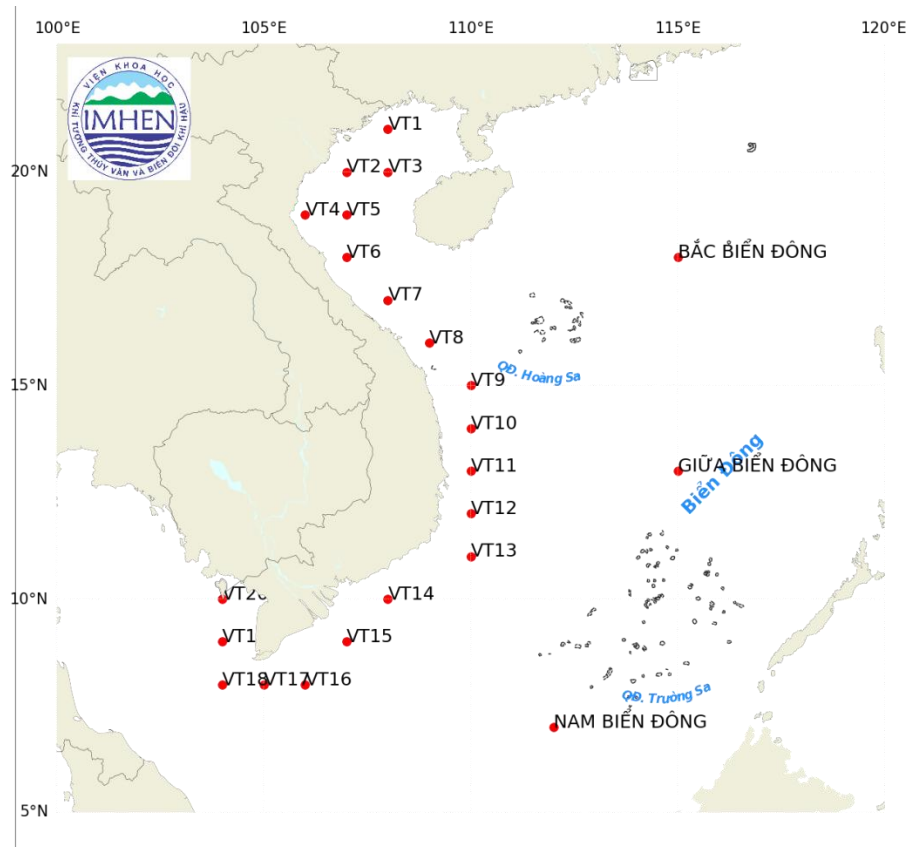
- Tần suất các mức tiềm năng năng lượng sóng gồm 3 mức: có tiềm năng ($P > 2 \text{ kW/m}$) ký hiệu là ALO; mức tiềm năng vừa ($P > 10 \text{ kW/m}$) - ký hiệu là MLO; tiềm năng cao ($P > 20 \text{ kW/m}$) - ký hiệu là RLO.

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.



Hình 2.1: Vị trí 20 điểm ven bờ biển Việt Nam và khu vực Bắc, Giữa và Nam Biển Đông

Bảng 2.2: 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

2.3. So sánh đánh giá các nguồn số liệu

2.3.1. Đánh giá chất lượng các số liệu gió tái phân tích

Nhìn chung số liệu ERA5 và CCMP mô phỏng tốc độ gió thiên cao hơn so với quan trắc trên phần lớn các trạm quan trắc với 13/18 trạm đánh giá có chỉ số ME > 0. Số liệu ERA5 và CCMP mô phỏng thiên thấp hơn quan trắc tại các trạm Hòn Ngur, Hòn Dấu, Bạch Long Vĩ, DK1-7 và Lý Sơn. Trên các trạm phía bắc nước ta, các bộ số liệu ERA5 và CCMP mô phỏng sai số so với quan trắc không nhiều lần lượt là 0,6-1,3 m/s và 0,7- 1,2 m/s, với hệ số tương quan dương ở phần lớn các trạm (5/8 trạm) lớn hơn hoặc bằng 0,5, có nơi lên đến 0,8 (Cô Tô).

Các bộ số liệu ERA5 và CCMP mô phỏng sai số so với quan trắc ở phía Nam cao hơn so với ở phía Bắc, lần lượt từ 1 đến trên 3,5 m/s và từ 0,8 đến trên 3,5 m/s. Tuy nhiên, hệ số tương quan của hai bộ số liệu so với quan trắc ở phía Nam cao hơn phía Bắc, phổ biến từ 0,5 đến 0,8 đối với số liệu ERA5 (có nơi lên đến 0,93: Phú Quốc); và từ 0,5 đến 0,85 đối với CCMP.

Xem xét trên cả khu vực, hệ số tương quan > 0,5 ở 12/18 trạm đánh giá theo số liệu ERA5 và 12/18 trạm đánh giá theo số liệu CCMP.

Bảng 2.3: Chỉ số thống kê đánh giá mô phỏng gió ở mực 10 m của các bộ số liệu ERA5 và CCMP so với quan trắc tại các trạm hải văn Việt Nam

Chỉ số	Trung bình (m/s)			ME		MAE		HSTQ	
	Quan trắc	ERA5	CCMP	ERA5	CCMP	ERA5	CCMP	ERA5	CCMP
Sầm Sơn	1,72	2,22	2,59	0,5	0,86	0,9	1,02	-0,1	0,02
Hòn Ngur	2,84	1,93	2,71	-0,92	-0,13	1	0,72	0,5	0,53
Cồn Cỏ	3,49	3,59	3,49	0,1	0	0,79	0,7	0,62	0,65
Hòn Dấu	2,87	2,81	3,32	-0,05	0,45	0,79	1,2	0,36	-0,1
Bãi Cháy	2,07	2,37	3,04	0,31	0,98	0,65	1,18	0,35	0,35
Cô Tô	3,23	3,96	3,94	0,73	0,71	1,3	1,17	0,76	0,8
Cửa Ông	2,82	2,96	3,23	0,14	0,41	0,75	0,92	0,67	0,66
Bạch Long Vĩ	5,75	4,9	4,86	-0,85	-0,89	1,22	1,34	0,69	0,66
Quy Nhơn	2,44	2,89	3,3	0,46	0,86	1,22	1,42	0,14	0,12
Phú Quý	5,43	7,27	6,89	1,84	1,46	2,34	2,24	0,54	0,51
Song Từ Tây	3,36	5,51	5,56	2,15	2,2	2,32	2,34	0,77	0,76
Vũng Tàu	1,76	3,85	4,41	2,1	2,66	2,16	2,72	0,53	0,43
Thổ Chu	1,16	3,8	4,23	2,64	3,07	2,68	3,1	0,2	0,35
Phú Quốc	2,98	3,73	3,46	0,75	0,48	1,06	0,83	0,93	0,82
Côn Đảo	2,08	5,63	5,61	3,54	3,52	3,6	3,57	0,79	0,79
DK1-7	6,37	5,49	5,65	-0,89	-0,72	1,28	1,16	0,83	0,84
Trường Sa	4,87	5,39	5,53	0,52	0,66	1,15	1,15	0,79	0,82
Lý Sơn	4,37	3,31	3,63	-1,07	-0,75	1,33	0,95	0,74	0,82

So sánh với gió quan trắc ngày tại mỏ Bạch Hổ ở độ cao 50 m trong thời gian từ 2017-2020 của 2 nguồn số liệu ERA5 và CCMP cho thấy: Số liệu ERA5 và CCMP mô phỏng số liệu gió thiên thấp hơn so với thực tế khoảng 0,6 – 0,8 m/s với hệ số tương quan khá cao trên 0,95. Như vậy, số liệu CCMP mô phỏng tốt trị số tốc độ gió thực tế ở độ cao 50 m so với số liệu ERA5 (Bảng 2.4).

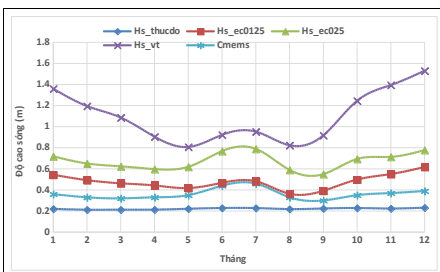
Bảng 2.4: Chỉ số đánh giá mô phỏng gió quan trắc tại mỏ Bạch Hổ ở mực 50 m của 2 nguồn số liệu ERA5, CCMP thời kỳ 2017-2020

Nguồn số liệu	Chỉ số đánh giá			
	ME	MAE	RMSE	HSTQ
ERA5	-0,21	0,78	1,02	0,96
CCMP	-0,21	0,68	1,01	0,97
CFSR	0,18	1,14	1,64	0,91

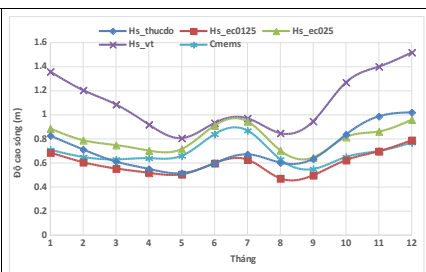
Như trình bày ở trên, số liệu vệ tinh CCMP sử dụng trường gió từ ERA5, kết hợp và hiệu chỉnh từ gió vệ tinh như SSM/I, SSMIS, AMSR, TMI, WindSat, GMI, cùng với so sánh đánh giá với các trạm quan trắc mực 10 m và trạm Bạch Hổ (50 m) thấy rằng hai bộ số liệu ERA5 và CCMP sai khác nhau không nhiều, CCMP có một số chỉ số thống kê tốt hơn. Do vậy số liệu CCMP sẽ được sử dụng để tính năng lượng gió trong các phần tiếp theo của Báo cáo này.

2.3.2. Đánh giá chất lượng các nguồn số liệu sóng

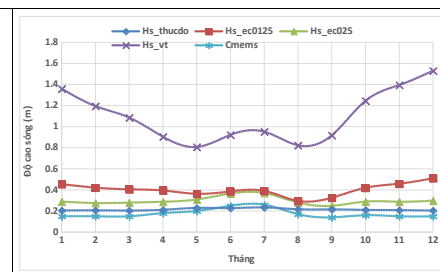
Đánh giá chất lượng của số liệu là điều kiện cần để đảm bảo kết quả tính toán có độ tin cậy cao. Với các nguồn số liệu thu thập được, báo cáo sẽ so sánh độ cao sóng của các số liệu tái phân tích với số liệu sóng thực đo tại trạm và số liệu vệ tinh. Như đã trình bày ở trên, số liệu sóng thực đo tại trạm chủ yếu được đo bằng mắt qua ống ngắm hoặc mắt thường vì vậy sẽ có sai số về độ chính xác, hơn nữa thang đo có bước là 0.25 m nên cũng không có được mức độ chi tiết của độ cao sóng thực đo. Tuy nhiên số liệu sóng tại các trạm hải văn vẫn 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...



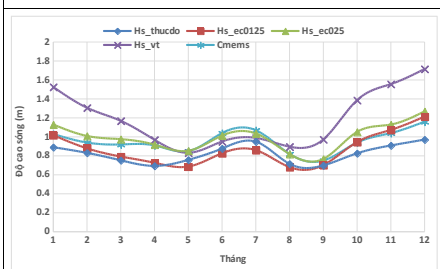
a) Cửa Ông



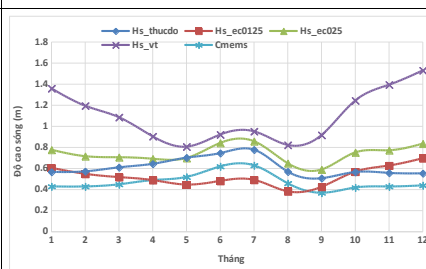
b) Cô Tô



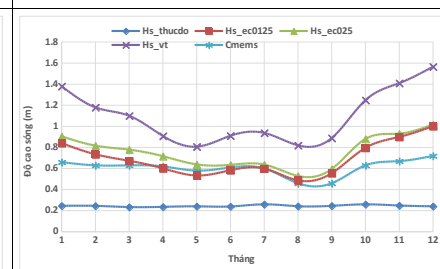
c) Bãi Cháy



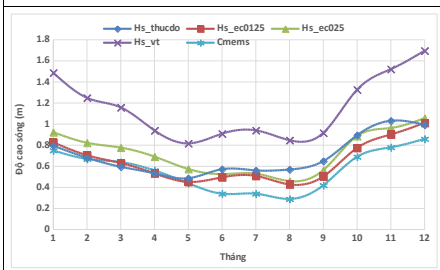
d) Bạch Long Vĩ



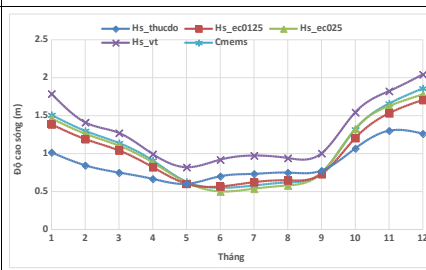
e) Hòn Dấu



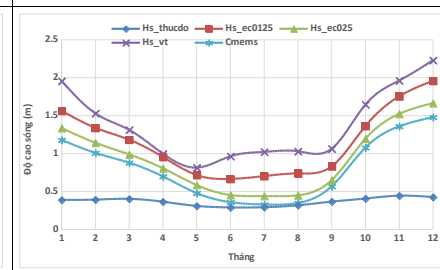
f) Sầm Sơn



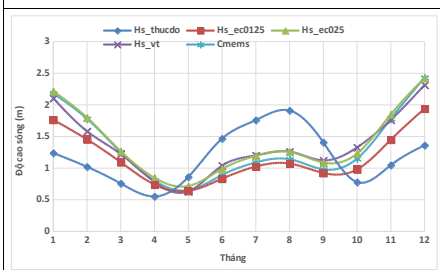
g) Hòn Ngư



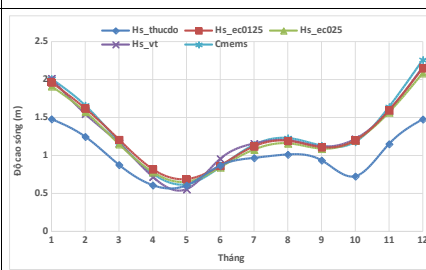
h) Cồn Cỏ



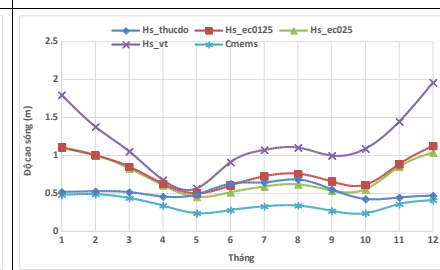
i) Sơn Trà



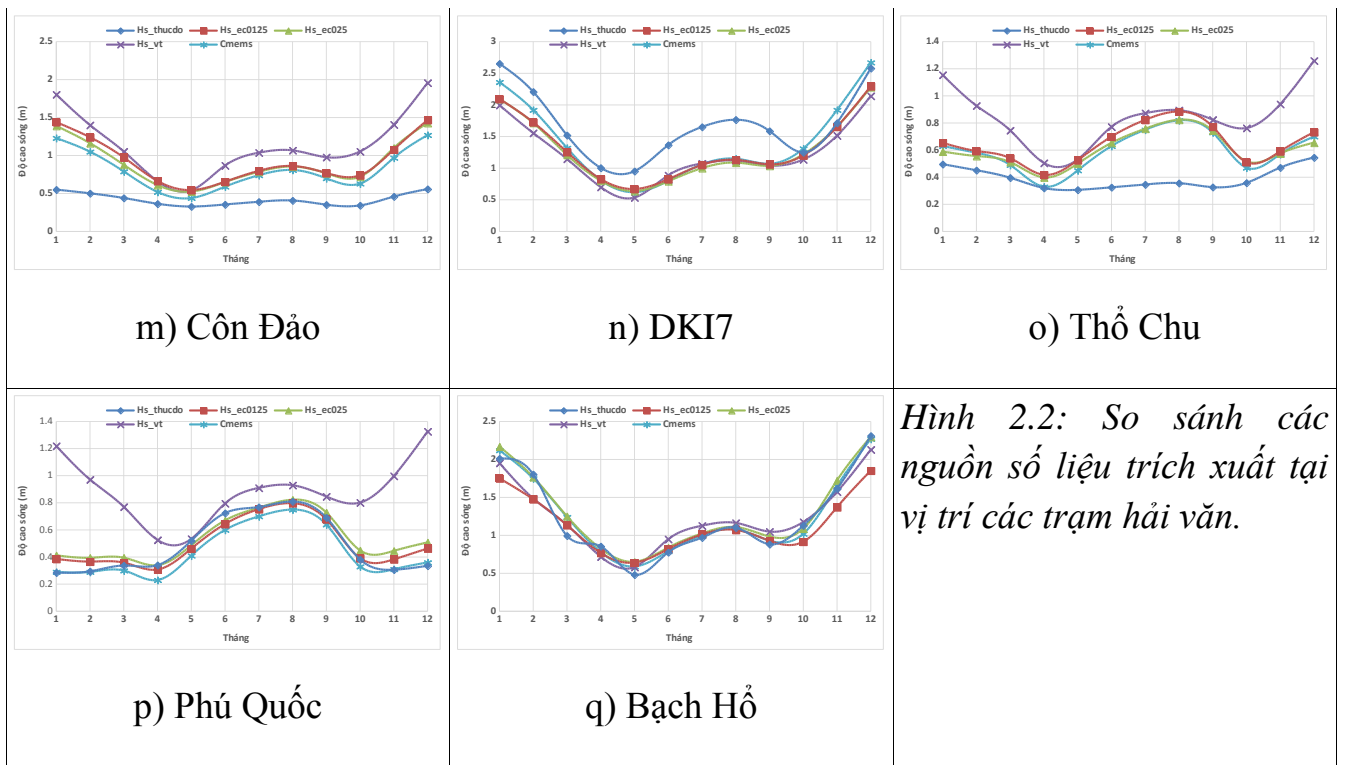
j) Phú Quý



k) Trường Sa



l) Vũng Tàu



Hình 2.2: So sánh các nguồn số liệu trích xuất tại vị trí các trạm hải văn.

Như vậy, có thể thấy 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.

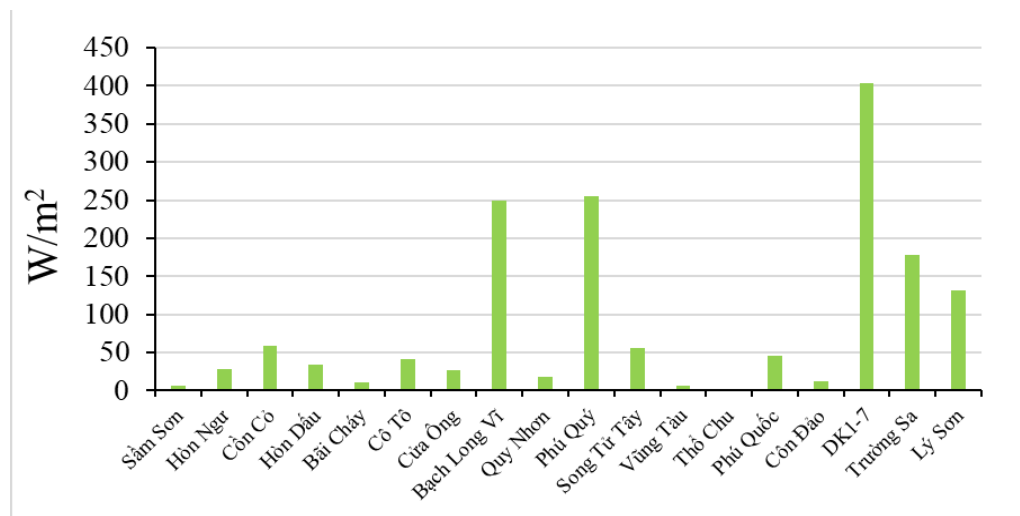
PHẦN III

KẾT QUẢ ĐÁNH GIÁ TIỀM NĂNG NĂNG LƯỢNG GIÓ, SÓNG

3.1. Kết quả đánh giá tiềm năng năng lượng gió tại các vùng biển Việt Nam

3.1.1. Phân tích, đánh giá tiềm năng năng lượng gió từ số liệu quan trắc

Nhìn chung, mật độ năng lượng gió ở mực 100 m khá thấp ở các trạm quan trắc phía Bắc (trừ Bạch Long Vĩ) và cao hơn ở các trạm phía Nam. Mật độ năng lượng gió từ 100-200 W/m^2 ở các trạm Trường Sa, Lý Sơn, từ 200-250 W/m^2 ở Bạch Long Vĩ, Phú Quý và lên đến 400 W/m^2 ở trạm DK1-7. Như vậy, trên khu vực Biển Đông và ven bờ, tiềm năng gió lớn nhất thuộc một phần các vùng biển Bắc vịnh Bắc Bộ (Bạch Long Vĩ), Bình Thuận-Cà Mau (Phú Quý) và Nam Biển Đông (DK1-7).



Hình 3.1: Mật độ năng lượng gió trung bình năm (W/m^2) ở độ cao 100m trên các trạm quan trắc trong thời kỳ 2011-2020

3.1.2 Phân tích, đánh giá từ tiềm năng năng lượng gió từ số liệu vệ tinh và số liệu tái phân tích

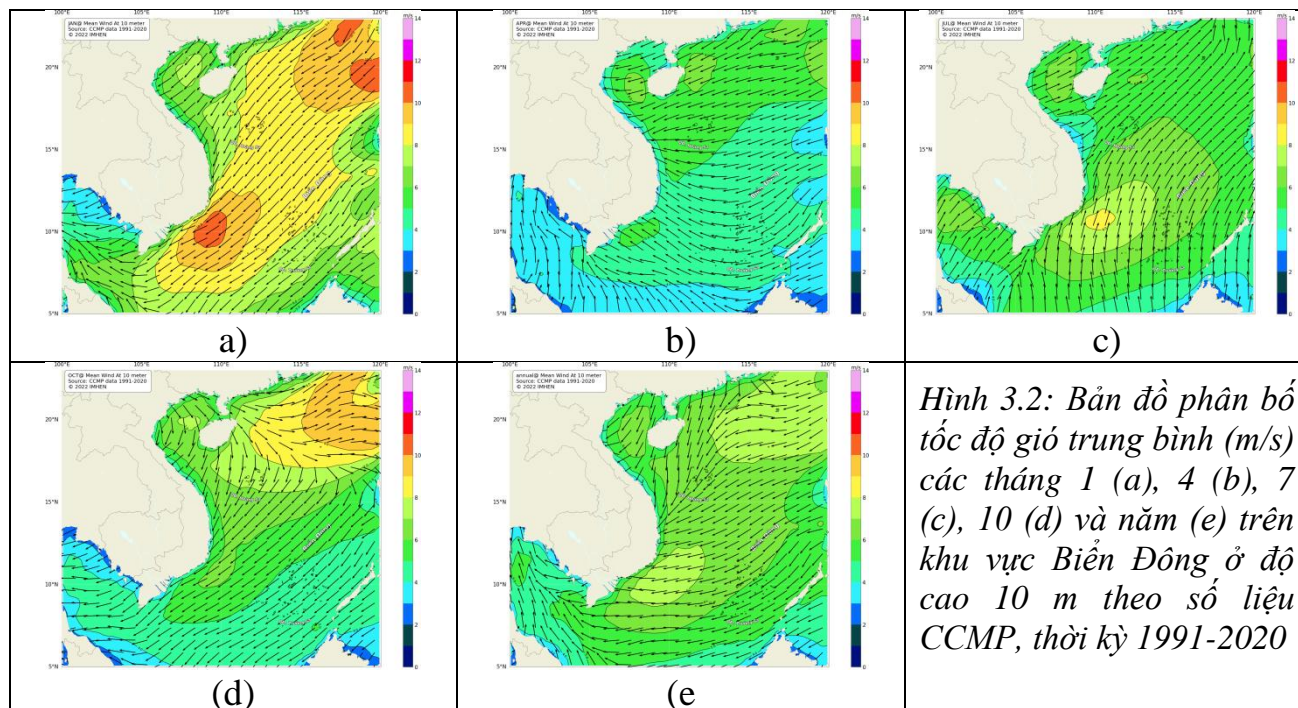
3.1.2.1. Phân bố gió và tiềm năng năng lượng gió trên khu vực Biển Đông

a. Phân bố tốc độ gió

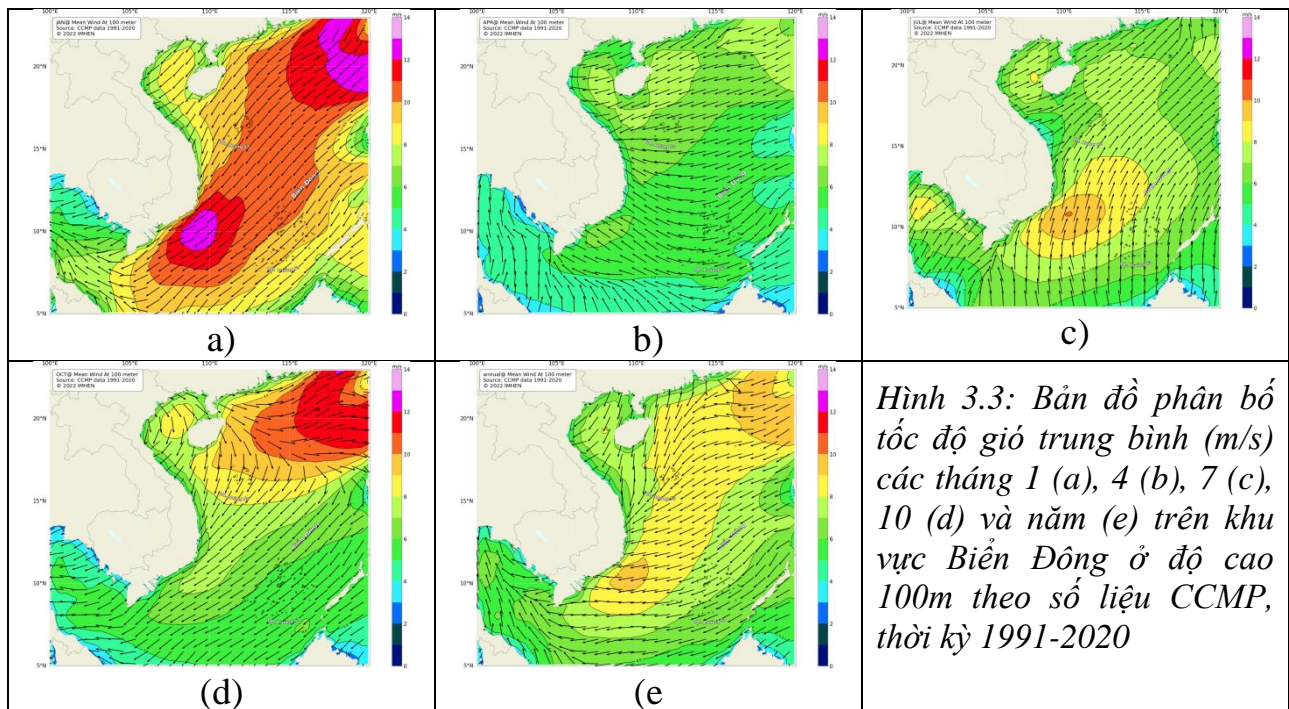
Về quy mô mùa, tốc độ gió trung bình ở độ cao 10 m trên toàn khu vực Biển Đông lớn nhất vào tháng 1 (6-11 m/s) và thấp nhất vào tháng 4 (3-7 m/s). Tuy nhiên, khi xem xét các vùng biển có thể thấy: Ở các vùng biển phía Bắc (vịnh Bắc Bộ, Quảng Ngãi- Quảng Ngãi và Bắc Biển Đông), tiềm năng gió lớn nhất trong các tháng 1, tháng 10 với tốc độ gió lần lượt là 6-11 m/s và 6-10 m/s; thấp nhất trong

các tháng 4, 7 với tốc độ gió lần lượt là 4-7 m/s và 5-7 m/s. Ở các vùng biển ven bờ phía nam (Bình Định trở vào và Nam Biển Đông), tiềm năng gió lớn nhất trong tháng chính đông và thấp hơn trong tháng chính hè, chuyển tiếp với tốc độ gió trung bình các tháng 1, 4, 7, 10 lần lượt là: 6-11 m/s, 3-6 m/s, 5-9 m/s và 4-7 m/s.

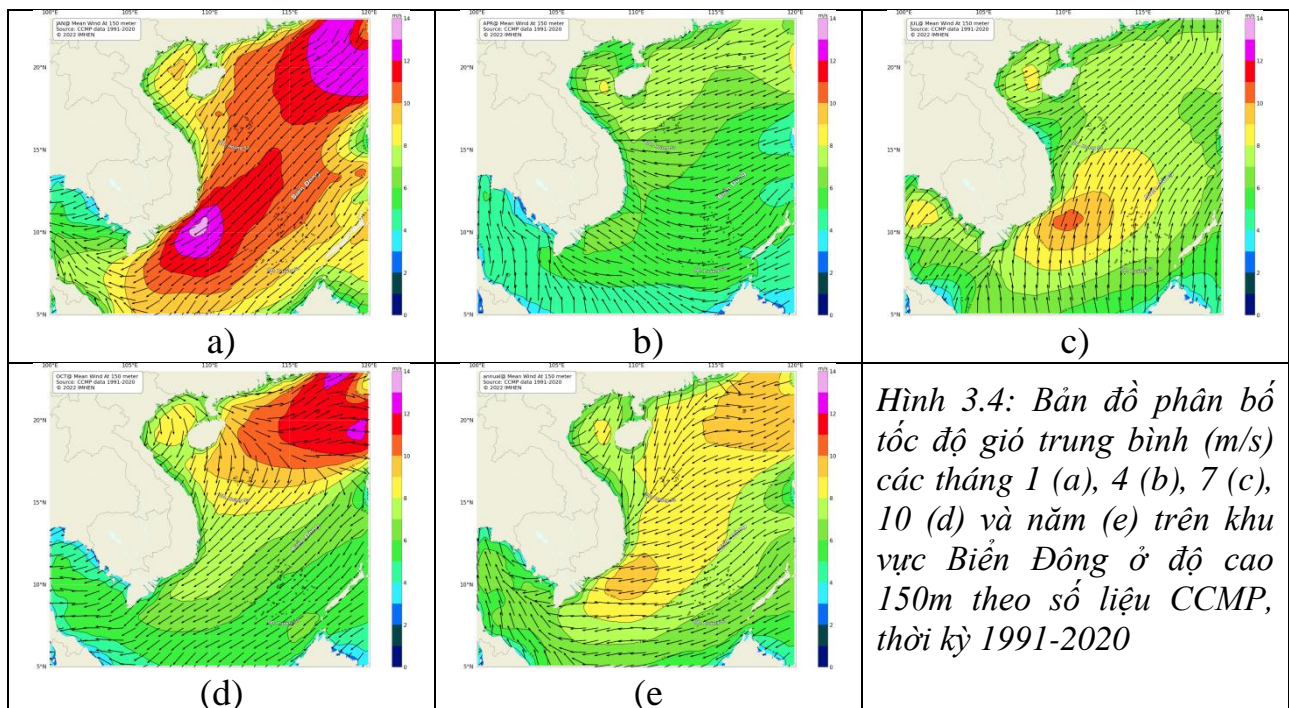
Trung bình cả năm (Hình 3.2e), tốc độ gió trung bình mực 10 m dao động phổ biến trong khoảng từ 5-8 m/s trong đó mạnh nhất ở khu vực Bắc Biển Đông. Càng về phía nam tốc độ gió càng giảm. Ở các vùng biển ven bờ, gió có xu hướng mạnh nhất ở vùng biển Bình Định đến Cà Mau với tốc độ gió phổ biến từ 6-8 m/s.



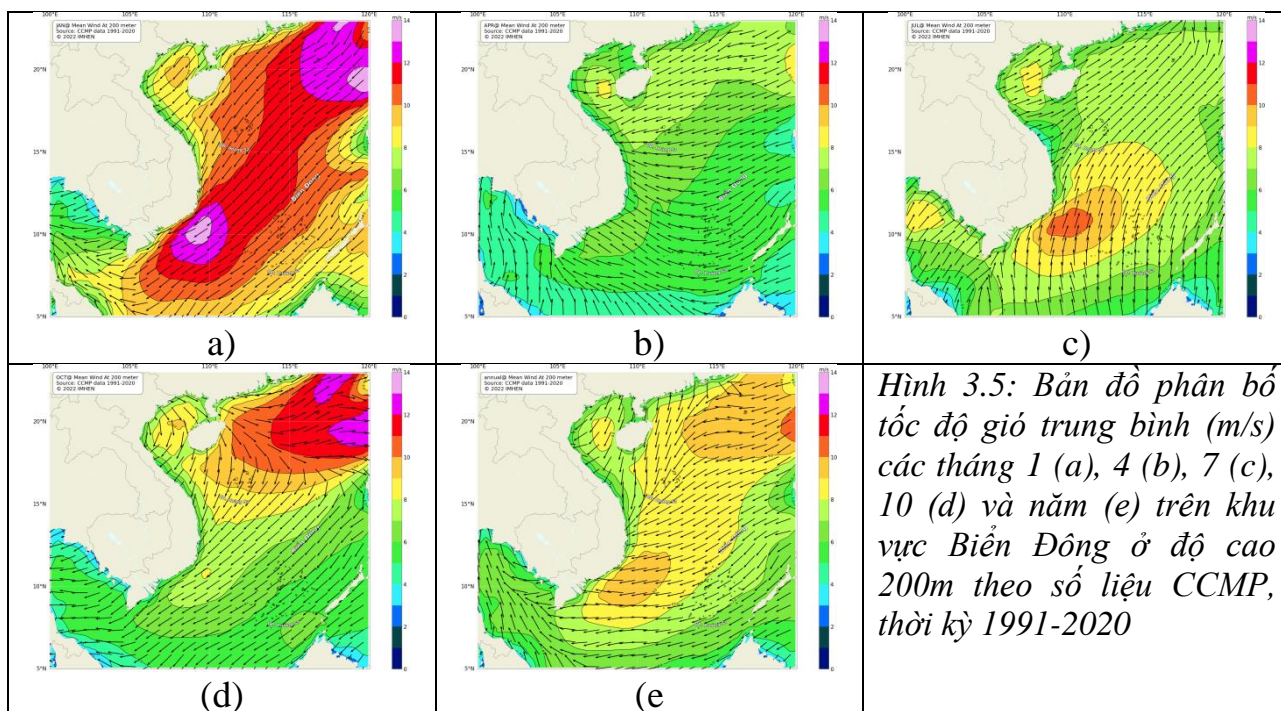
Ở độ cao 100 m, phân bố không gian và thời gian tốc độ gió trung bình các tháng 1, 4, 7, 10 và năm (Hình 3.3) tương tự như phân bố ở độ cao 10 m tuy nhiên tốc độ gió lớn hơn khoảng 1-2 m/s. Tốc độ gió trong các tháng 1, 4, 7, 10 lần lượt là 7-13 m/s, 5-8 m/s, 6-9 m/s và 7-12 m/s ở các vùng biển phía Bắc; lần lượt là 8-13 m/s, 4-7 m/s, 6-11 m/s và 6-8 m/s ở các vùng biển phía Nam. Tốc độ gió trung bình tháng cao nhất là tháng 1 tiếp đến là tháng 10 và thấp nhất vào tháng 4. Trung bình năm, tốc độ gió phổ biến từ 8-10 m/s ở Bắc Biển Đông, 7-9 m/s ở vùng biển Bình Định đến Ninh Thuận và từ 7-10 m/s ở vùng biển Bình Thuận đến Cà Mau. Khu vực ven biển Ninh Thuận đến Bà Rịa-Vũng Tàu, nơi giao giữa 2 vùng biển ven bờ, tốc độ gió trung bình năm phổ biến từ 8-10 m/s.



Ở độ cao 150 m, phân bố không gian và thời gian tốc độ gió trung bình các tháng 1, 4, 7, 10 và năm (Hình 3.4) tương tự như phân bố ở độ cao 10 và 100 m. Tuy nhiên, càng lên cao tốc độ gió tăng chậm hơn nên tốc độ gió trung bình trên hầu hết khu vực ở độ cao 150 m xấp xỉ ở độ cao 100 m ở quy mô năm và các tháng 4, tháng 7; cao hơn khoảng 1 m/s trong tháng 1. Trong tháng 10, tốc độ gió trung bình xấp xỉ độ cao 100 m ở các vùng biển Nam Biển Đông (15°N trở vào) và cao hơn khoảng 1 m/s ở các vùng biển phía Nam.



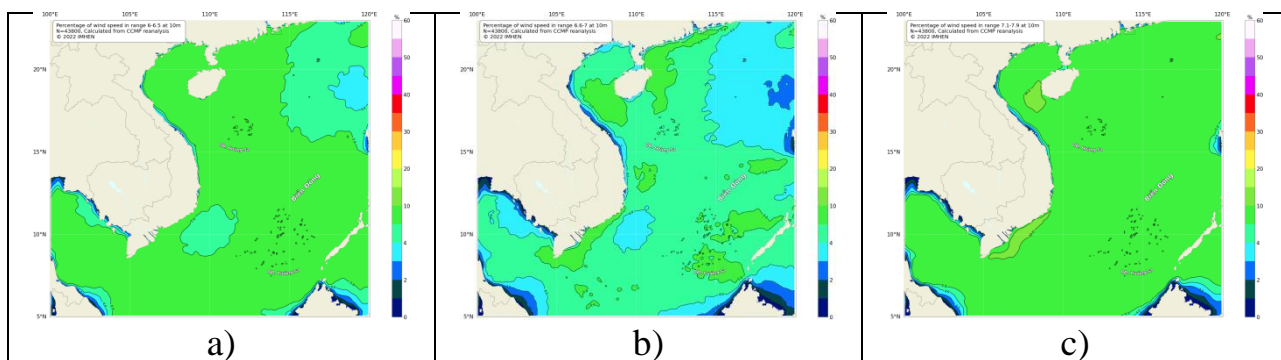
Ở độ cao 200 m (Hình 3.5), phân bố không gian và thời gian tốc độ gió trung bình năm và các tháng 1, 4, 7, 10 tương tự như phân bố ở độ cao 10 và 100 m. Về trị số, tốc độ gió trung bình năm và các tháng trên các vùng biển xấp xỉ độ cao 150 m.

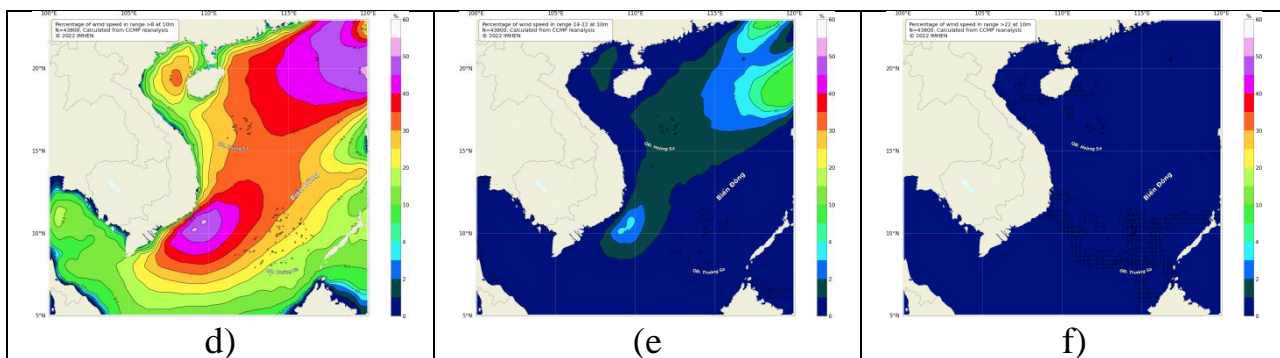


Hình 3.5: Bản đồ phân bố tốc độ gió trung bình (m/s) các tháng 1 (a), 4 (b), 7 (c), 10 (d) và năm (e) trên khu vực Biển Đông ở độ cao 200m theo số liệu CCMP, thời kỳ 1991-2020

b. Phân bố tần suất các ngưỡng tốc độ gió

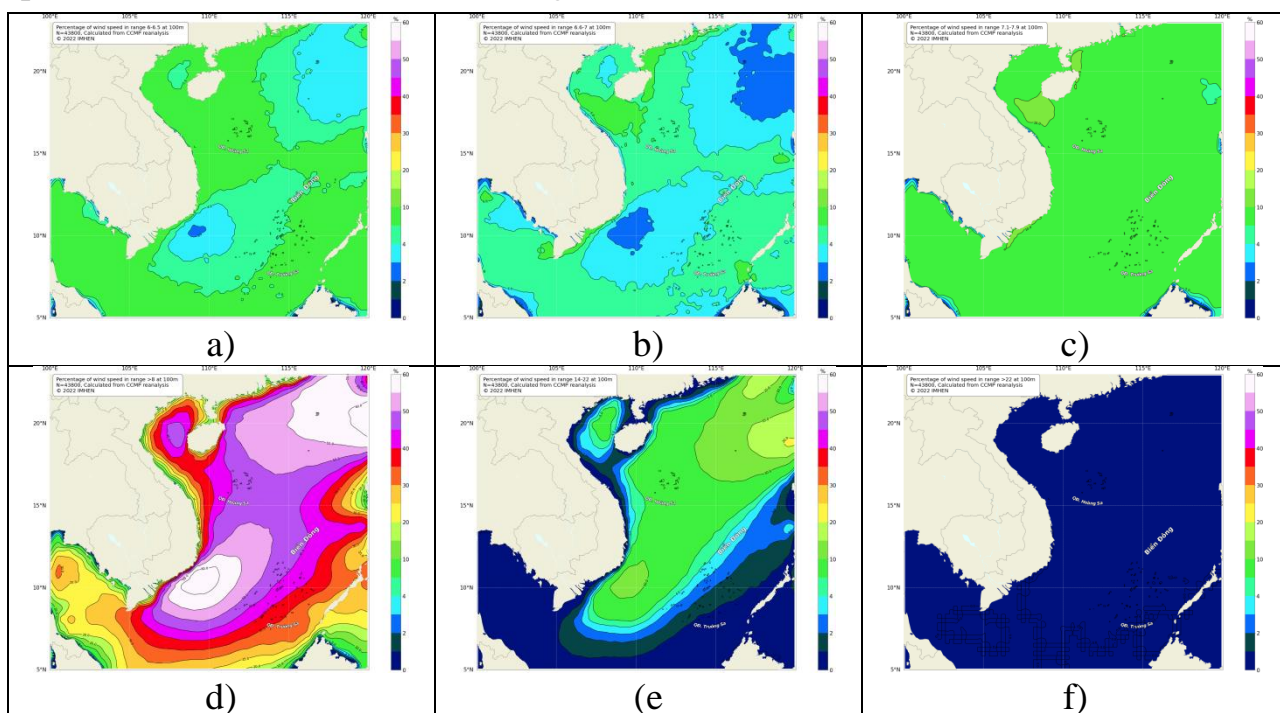
Ở độ cao 10 m (Hình 3.6), trên khu vực Biển Đông, tần suất xuất hiện khá là thấp đối với các ngưỡng tốc độ gió dưới 8 m/s (dưới 15%); cao hơn đối với ngưỡng tốc độ gió trên 8 m/s (15-50%). Xét riêng đối với các ngưỡng tốc độ gió 14-22 m/s và trên 22 m/s khá là thấp; tần suất trên 15% chỉ quan sát được ở một phần Bắc Biển Đông.





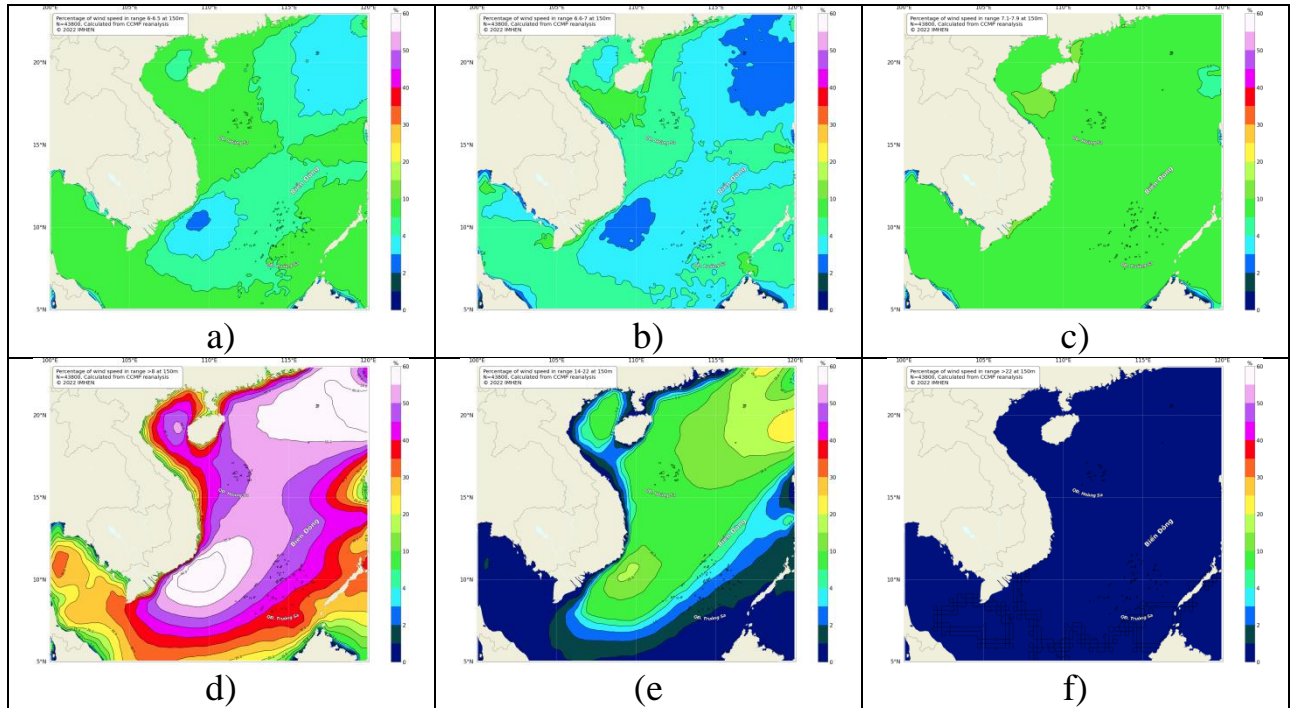
Hình 3.6: Bản đồ phân bố tần suất các ngưỡng tốc độ gió 6-6,5 m/s (a), 6,6-7 m/s (b), 7-7,9 m/s (c), lớn hơn 8 m/s (d), 14-22 m/s (e) và lớn hơn 22 m/s (f) trên khu vực Biển Đông ở độ cao 10 m theo số liệu CCMP, thời kỳ 1991-2020

Ở độ cao 100 m (Hình 3.7), tần suất xuất hiện ngưỡng tốc độ gió dưới 8 m/s tương tự mực 10 m, khá là thấp (dưới 15%). Tuy nhiên, tần suất xuất hiện ngưỡng tốc độ gió trên 8 m/s cao hơn so với mực 10m, khoảng 30-60%, phù hợp với quy luật gió tăng theo độ cao; trong đó cao nhất ở Bắc Biển Đông và Bình Thuận đến Cà Mau. Xét riêng đối với các ngưỡng tốc độ gió 14-22 m/s và lớn hơn 22 m/s cho thấy tần suất xuất hiện cao hơn so với mực 10 m ở ngưỡng tốc độ 14-22 m/s và vẫn rất thấp ở ngưỡng lớn hơn 22 m/s. Ở ngưỡng tốc độ 14-22 m/s, tần suất xuất hiện dưới 10% ở các vùng biển ven bờ từ vịnh Bắc Bộ đến Ninh Thuận, Cà Mau đến Kiên Giang và Nam Biển Đông; từ 3-15% ở vùng biển Bình Thuận đến Cà Mau; phổ biến từ 5-20% ở Bắc Biển Đông.



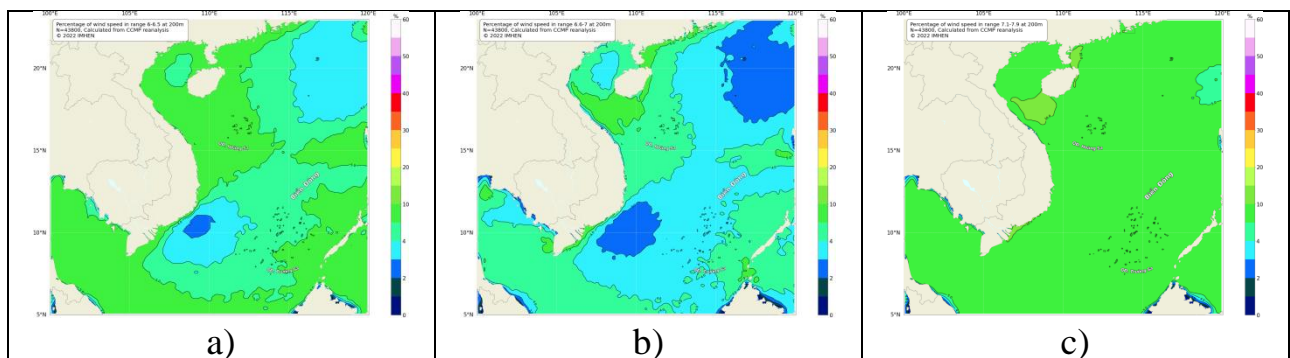
Hình 3.7: Bản đồ phân bố tần suất các ngưỡng tốc độ gió 6-6,5 m/s (a), 6,6-7 m/s (b), 7-7,9 m/s (c), lớn hơn 8 m/s (d), 14-22 m/s (e) và lớn hơn 22 m/s (f) trên khu vực Biển Đông ở độ cao 100 m theo số liệu CCMP, thời kỳ 1991-2020

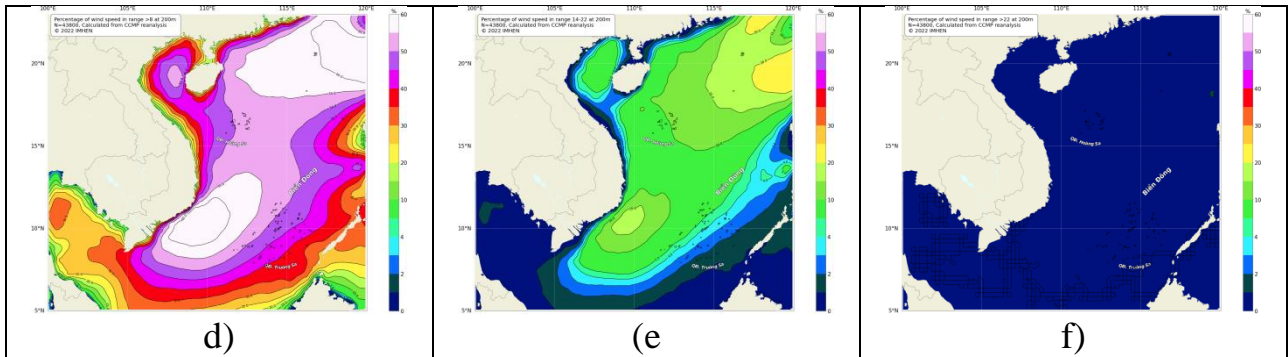
Ở độ cao 150 m (Hình 3.8), phân bố không gian và giá trị tần suất ở các ngưỡng tốc độ tương tự và xấp xỉ mực 100 m. Điểm khác biệt rõ nhất chỉ được nhìn thấy ở khu vực Bắc Biển Đông với ngưỡng tốc độ từ 14-22 m/s, giá trị tần suất cao hơn không nhiều so với mực 100 m (phổ biến từ 5-25%).



Hình 3.8: Bản đồ phân bố tần suất các ngưỡng tốc độ gió 6-6,5 m/s (a), 6,6-7 m/s (b), 7-7,9 m/s (c), lớn hơn 8 m/s (d), 14-22 m/s (e) và lớn hơn 22 m/s (f) trên khu vực Biển Đông ở độ cao 150 m theo số liệu CCMP, thời kỳ 1991-2020

Ở độ cao 200 m (Hình 3.9), tần suất các ngưỡng tốc độ có phân bố không gian cũng như sự tập trung cao nhất tương tự các mực 10, 100, 150 m. Tuy nhiên, về giá trị tần suất các ngưỡng tốc độ tương tự mực 150 m.



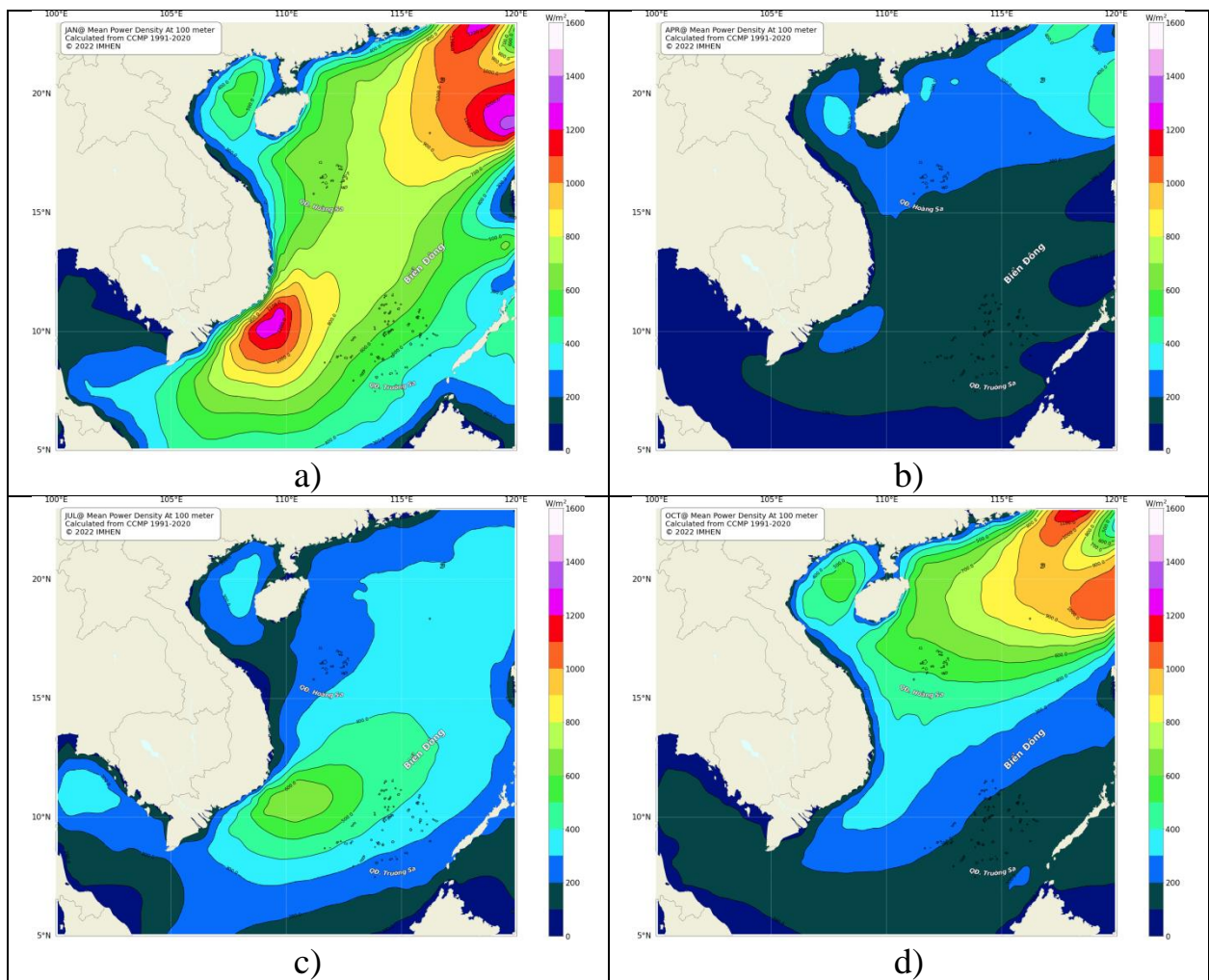


Hình 3.9: Bản đồ phân bố tần suất các ngưỡng tốc độ gió 6-6,5 m/s (a), 6,6-7 m/s (b), 7-7,9 m/s (c), lớn hơn 8 m/s (d), 14-22 m/s (e) và lớn hơn 22 m/s (f) trên khu vực Biển Đông ở độ cao 200 m theo số liệu CCMP, thời kỳ 1991-2020

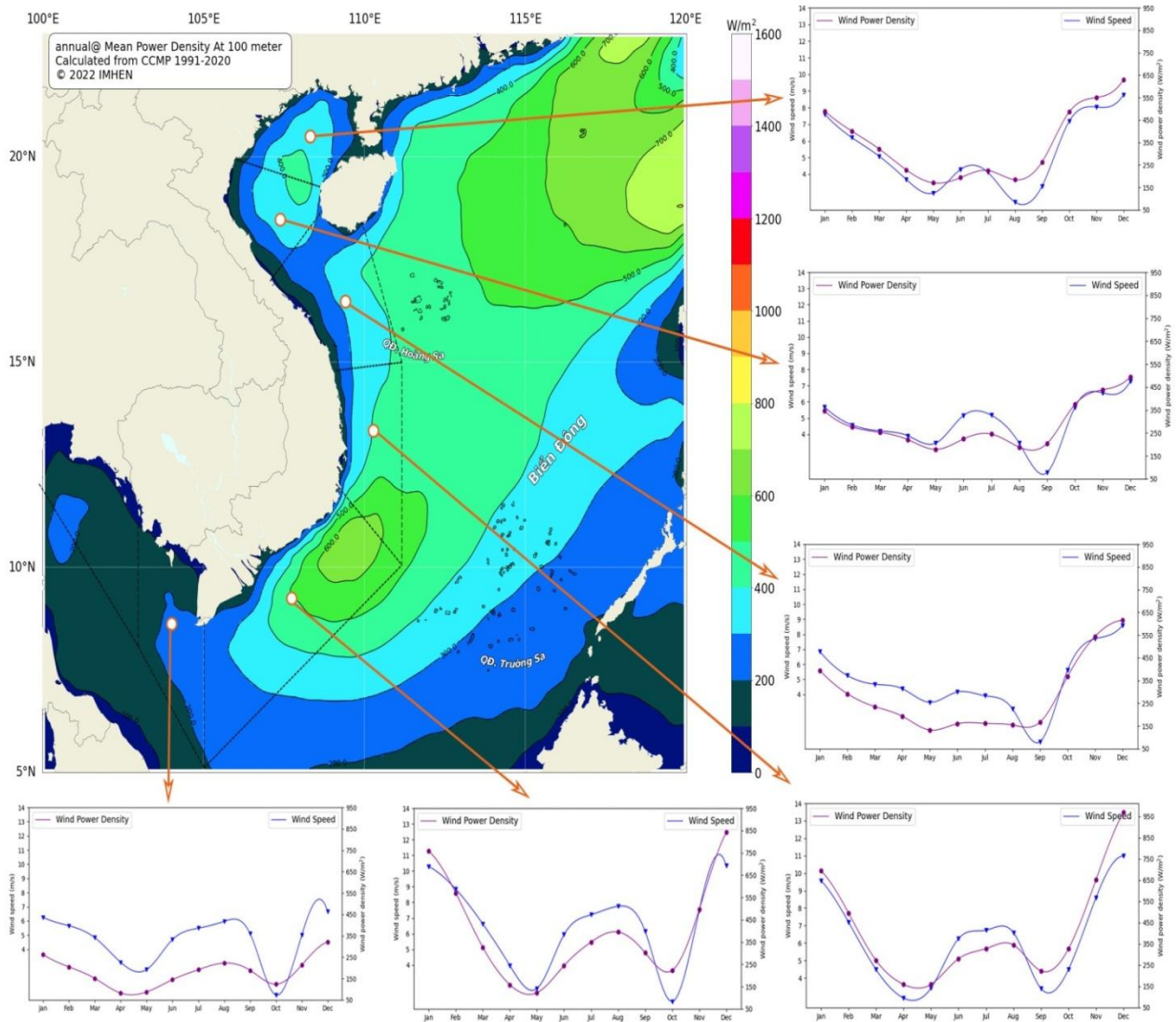
c. Phân bố mật độ năng lượng gió ở các độ cao

Mật độ năng lượng gió trên toàn khu vực Biển Đông ở độ cao 100m lớn nhất vào tháng 1 ($300-1300 \text{ W/m}^2$) và thấp nhất vào tháng 4 (dưới $100-500 \text{ W/m}^2$). Khi xem xét trên các vùng biển: Ở các vùng biển phía Bắc (vịnh Bắc Bộ, Quảng Ngãi-Quảng Ngãi và Bắc Biển Đông), mật độ năng lượng gió lớn nhất trong các tháng 1, tháng 10 với giá trị lần lượt là $300-1300 \text{ W/m}^2$ và $300-1200 \text{ W/m}^2$; thấp nhất trong các tháng 4, tháng 7 với giá trị lần lượt là dưới $100-500 \text{ W/m}^2$ và $100-400 \text{ W/m}^2$. Ở các vùng biển ven bờ phía nam (Bình Định trở vào và Nam Biển Đông), mật độ năng lượng gió lớn nhất trong tháng 1 và thấp hơn trong các tháng mùa hè, chuyển tiếp với mật độ năng lượng gió trung bình các tháng 1, 4, 7, 10 lần lượt là: từ $300-1300 \text{ W/m}^2$, dưới $100-300 \text{ W/m}^2$, $200-700 \text{ W/m}^2$ và $100-400 \text{ W/m}^2$. Mật độ năng lượng gió trung bình cao nhất là tháng 1 tiếp đến là tháng 10 và thấp nhất vào tháng 4.

Ở quy mô năm (Hình 3.11), mật độ năng lượng gió (E) trung bình phổ biến từ 200 đến 800 W/m^2 ở ngoài khơi, trong đó lớn nhất ở Bắc Biển Đông (phổ biến từ $400-800 \text{ W/m}^2$). Ở ven bờ, phân bố E cao nhất có xu hướng lệch hơn về phía nam, thuộc vùng biển Bình Định-Ninh Thuận, phổ biến từ $300-600 \text{ W/m}^2$ và Bình Thuận-Cà Mau, phổ biến từ $300-700 \text{ W/m}^2$, trong đó tập trung cao nhất ở khu vực ven biển Ninh Thuận đến Bà Rịa-Vũng Tàu, phổ biến $400-700 \text{ W/m}^2$.

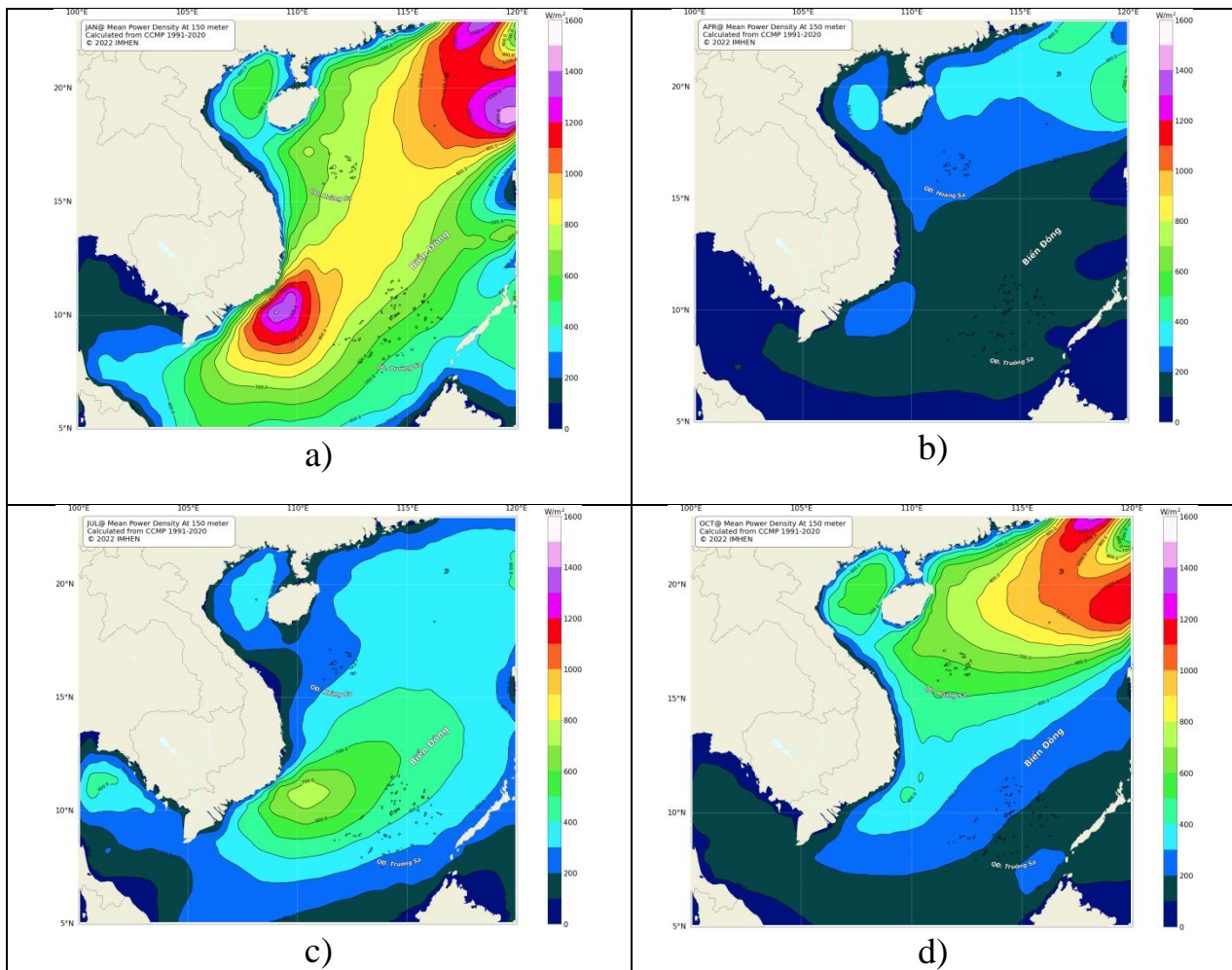


Hình 3.10: Bản đồ phân bố mật độ năng lượng gió (W/m^2) trung bình các tháng 1 (a), 4 (b), 7 (c), 10 (d) trên khu vực Biển Đông ở độ cao 100m theo số liệu CCMP, thời kỳ 1991-2020

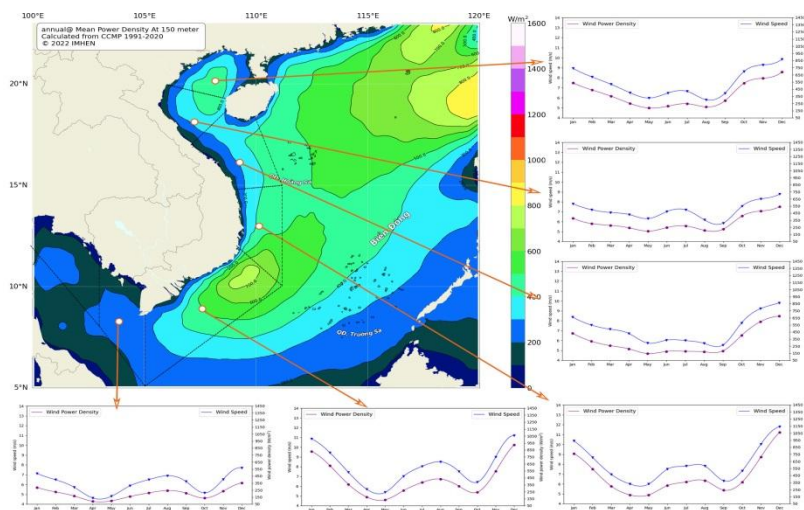


Hình 3.11: Bản đồ phân bố mật độ năng lượng gió năm (W/m^2) trên khu vực Biển Đông và 6 vùng ven biển ở 100m theo số liệu CCMP, thời kỳ 1991-2020

Ở độ cao 150 m, phân bố không gian và thời gian mật độ năng lượng gió trung bình các tháng 1, 4, 7, 10 và năm (Hình 3.12, 3.13) tương tự như phân bố ở độ cao 100 m. Về giá trị, mật độ năng lượng gió trong các tháng ở độ cao 150 m xấp xỉ 100 m trên hầu hết Biển Đông. Sự chênh lệch giá trị trong các tháng khoảng $100 W/m^2$ so với 100 m được nhìn thấy ở vùng biển Bình Thuận- Cà Mau và phía tây Nam Biển Đông. Ở quy mô năm, có thể thấy mật độ năng lượng gió có xu thế tăng theo độ cao và mở rộng những vùng có trị số mật độ năng lượng lớn. Mật độ năng lượng gió trung bình năm dao động từ $200-900 W/m^2$; trong đó từ $400-900 W/m^2$ ở vùng Bắc Biển Đông, từ $300-600 W/m^2$ ở vùng biển Bình Định-Ninh Thuận và từ $300-800 W/m^2$ ở vùng biển Bình Thuận-Cà Mau (Hình 3.12).



Hình 3.12: Bản đồ phân bố mật độ năng lượng gió (W/m^2) trung bình các tháng 1 (a), 4 (b), 7 (c), 10 (d) trên khu vực Biển Đông ở độ cao 150m theo số liệu CCMP, thời kỳ 1991-2020

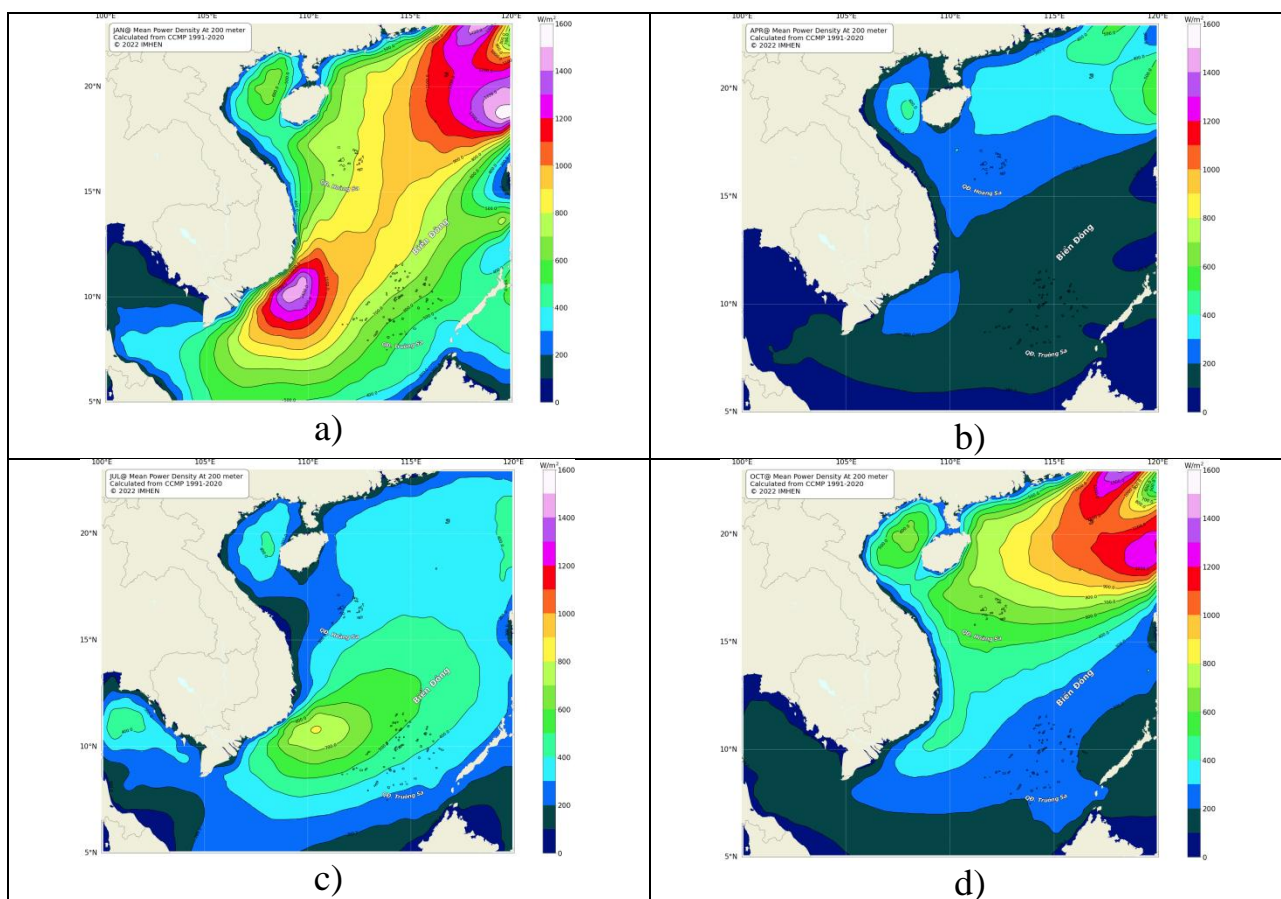


Hình 3.13: Bản đồ phân bố mật độ năng lượng gió năm (W/m^2) trên khu vực Biển Đông và 6 vùng ven biển ở 150m theo số liệu CCMP, thời kỳ 1991-2020

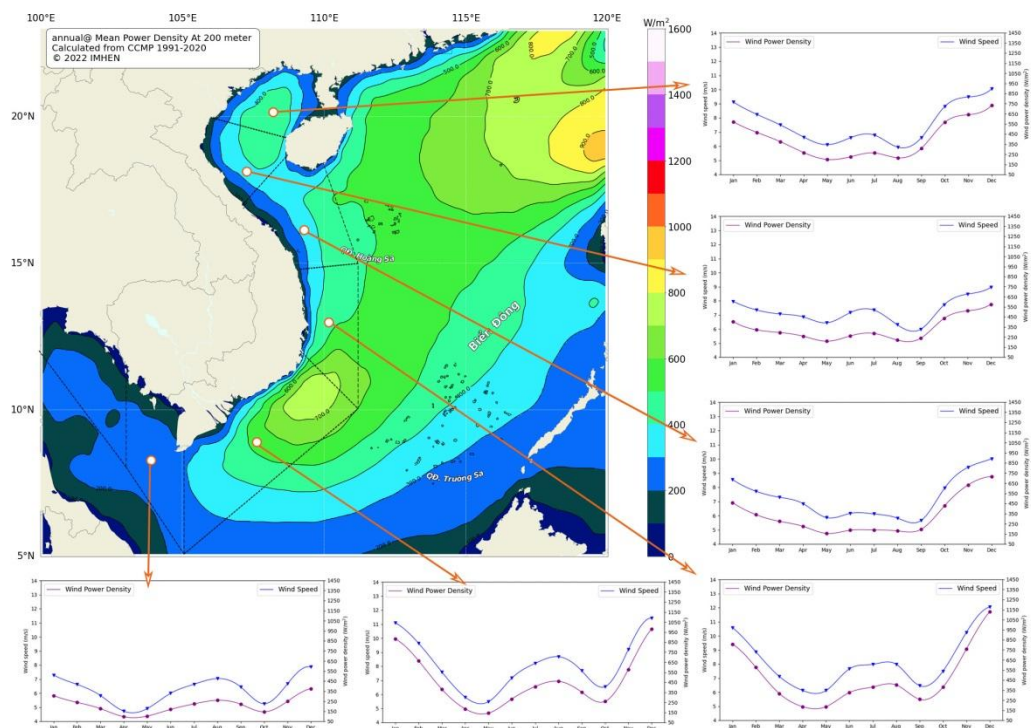
Ở độ cao 200 m (Hình 3.14, 3.15), phân bố không gian và thời gian mật độ năng lượng trung bình các tháng 1, 4, 7, 10 và năm tương tự ở độ cao 10 và 100 m.

Ở quy mô tháng, mật độ năng lượng gió ở độ cao 200 m cao hơn so với mực 150 m khoảng 100 W/m^2 ở các vùng biển Bắc vịnh Bắc Bộ, Bắc vịnh Bắc Bộ, Bắc Biển Đông, Bình Thuận-Cà Mau.

Ở quy mô năm, trị số mật độ năng lượng gió xấp xỉ mực 150 m trên hầu hết các vùng biển. Điểm khác biệt rõ nhất là vùng biển Bắc Biển Đông với trị số cao hơn không nhiều so với mực 150 m, dao động ở mức $400\text{-}1000 \text{ W/m}^2$.



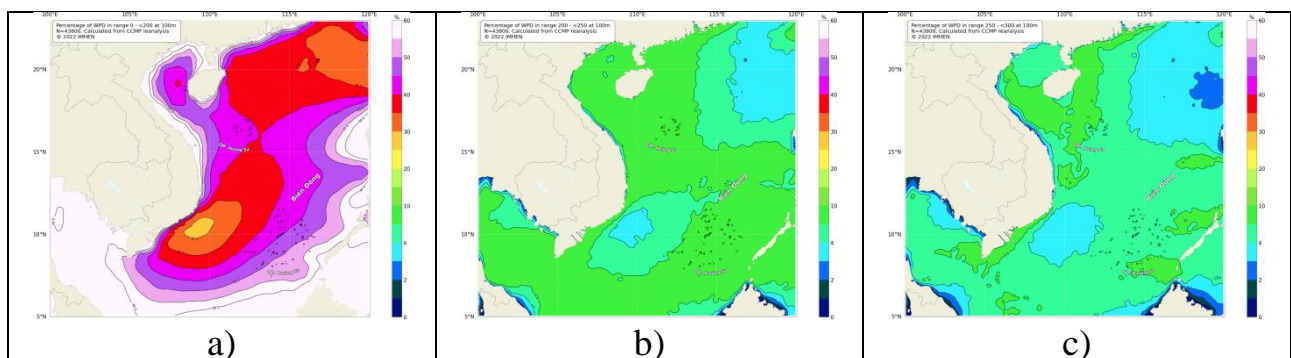
Hình 3.14: Bản đồ phân bố mật độ năng lượng gió (W/m^2) trung bình các tháng 1 (a), 4 (b), 7 (c), 10 (d) trên khu vực Biển Đông ở độ cao 200m theo số liệu CCMP, thời kỳ 1991-2020

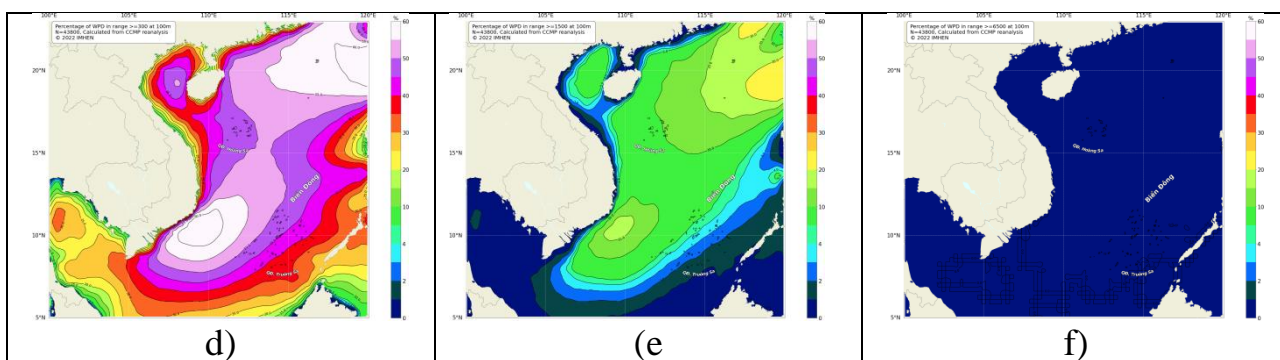


Hình 3.15: Bản đồ phân bố mật độ năng lượng gió năm (W/m^2) trên khu vực Biển Đông và 6 vùng ven biển ở 200m theo số liệu CCMP, thời kỳ 1991-2020

d. Phân bố tần suất các ngưỡng mật độ năng lượng gió

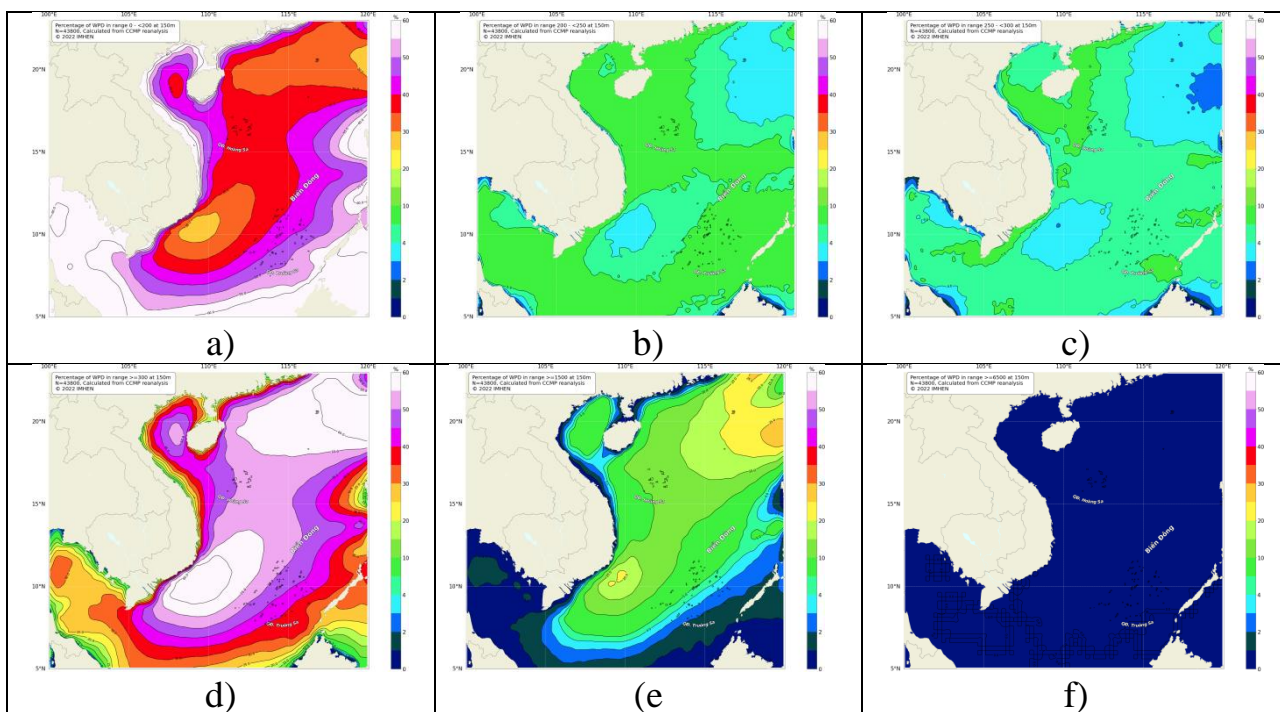
Ở độ cao 100m (Hình 3.16), trên khu vực Biển Đông, tần suất xuất hiện khá là thấp đối với các ngưỡng mật độ năng lượng gió từ 200-300 W/m^2 (dưới 10%); cao hơn đối với ngưỡng dưới 200 W/m^2 (25-60%) và từ 300 W/m^2 trở lên (20-60%). Tần suất xuất hiện ngưỡng mật độ năng lượng từ 1500 W/m^2 trở lên từ 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 ngưỡng mật độ năng lượng từ 300 W/m^2 và xét riêng cho ngưỡng 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.





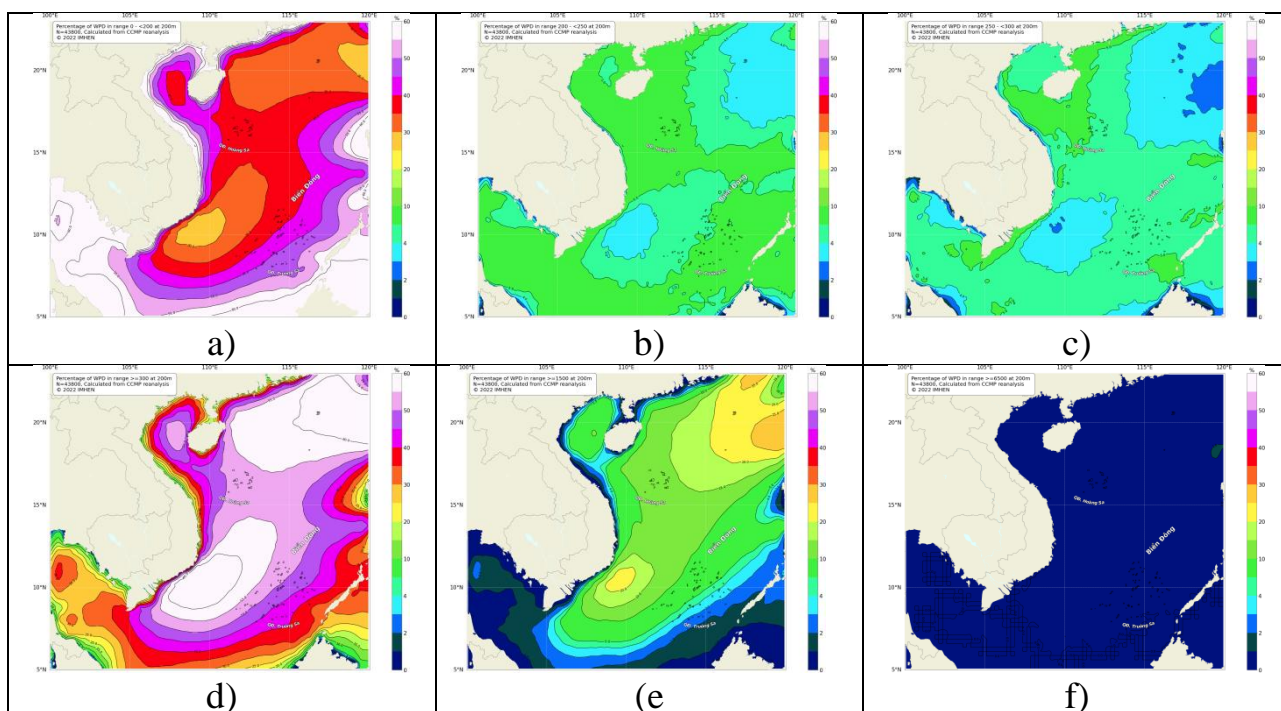
Hình 3.16. Bản đồ phân bố tần suất các ngưỡng mật độ năng lượng gió nhỏ hơn 200 W/m^2 (a), $200\text{-}250 \text{ W/m}^2$ (b), $250\text{-}300 \text{ W/m}^2$ (c), $\geq 300 \text{ W/m}^2$ (d), $\geq 1500 \text{ W/m}^2$ (e) và $\geq 6500 \text{ W/m}^2$ (f) trên khu vực Biển Đông ở độ cao 100 m theo số liệu CCMP, thời kỳ 1991-2020

Ở độ cao 150 m (Hình 3.17), phân bố không gian và giá trị tần suất ở các ngưỡng mật độ năng lượng gió tương tự và xấp xỉ mực 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 mực 100 m.



Hình 3.17. 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 150m theo số liệu CCMP, thời kỳ 1991-2020

Ở độ cao 200 m (Hình 3.18), tần suất các ngưỡng mật độ năng lượng gió có phân bố không gian cũng như sự tập trung 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.



Hình 3.18. Bản đồ phân bố tần suất các ngưỡng mật độ năng lượng gió nhỏ hơn 200 W/m^2 (a), $200-250 \text{ W/m}^2$ (b), $250-300 \text{ W/m}^2$ (c), $\ge 300 \text{ W/m}^2$ (d), $\ge 150 \text{ W/m}^2$ (e) và $\ge 6500 \text{ W/m}^2$ (f) trên khu vực Biển Đông ở độ cao 200m theo số liệu CCMP, thời kỳ 1991-2020

3.1.2.2. Hoa gió và mật độ năng lượng gió trên các vùng biển Việt Nam

a) Hoa gió ở độ cao 10 m

Phân bố tần suất hướng gió theo các cấp tốc độ trong năm ở 6 vùng ven biển Việt Nam cho trên hình 3.19 có thể nhận xét như sau:

1) *Bắc vịnh Bắc Bộ*: Trong năm, hướng gió chủ đạo là hướng Đông đến Đông Bắc, trong đó tần suất gió hướng đông bắc ($\approx 50\%$) cao hơn so với gió hướng đông (trên 40%). Gió Đông Bắc đạt tốc độ lớn nhất là 7-8 m/s với tần suất xấp xỉ 10% ; tốc độ 6-7 m/s với tần suất 20% . Gió Đông đạt tốc độ lớn nhất 6-7 m/s với tần suất xấp xỉ 20% .

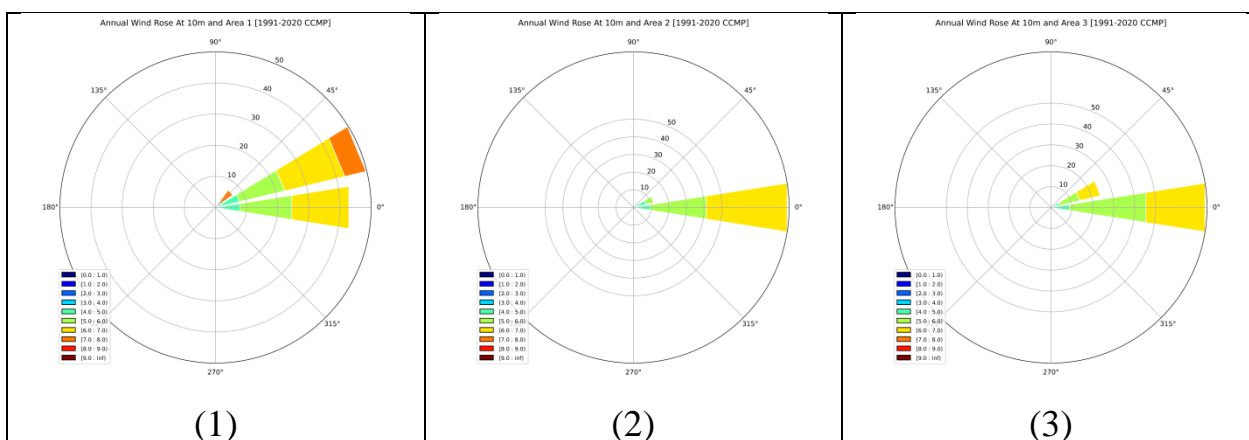
2) *Nam vịnh Bắc Bộ*: Hướng gió chủ đạo là hướng Đông với tốc độ gió lớn nhất đạt 6-7 m/s (chiếm tần suất khoảng 60%).

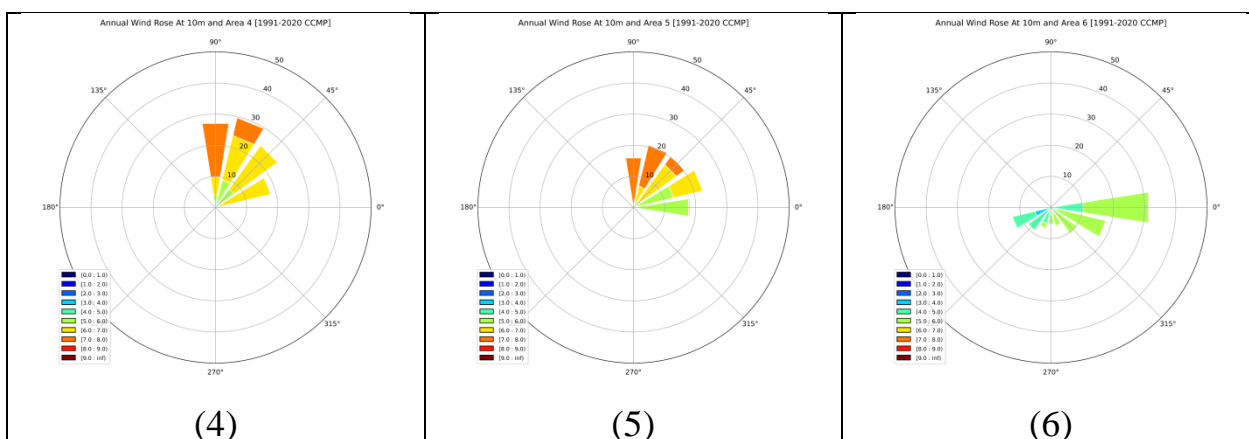
3) *Vùng biển từ Quảng Trị đến Quảng Ngãi*: Hướng gió thịnh hành là hướng Đông với tốc độ gió từ 5-7 m/s chiếm tần suất khoảng 70%.

4) *Vùng biển từ Bình Định đến Bình Thuận*: Trong năm, hướng gió chủ đạo là các hướng từ Bắc đến Đông Đông Bắc trong đó chiếm tần suất nhiều nhất là hướng Bắc và Bắc Đông Bắc. Đây cũng là hai hướng có tốc độ gió mạnh nhất đạt 7-8 m/s tuy nhiên tần suất xuất hiện ngưỡng gió này không lớn (5-15%). Gió Đông và Đông Đông Bắc ở vùng biển này thường xuất hiện ở cấp tốc độ gió 6-7 m/s.

5) *Vùng biển từ Bình Thuận đến Cà Mau*: Hướng gió chủ đạo gồm 5 hướng: Bắc, Bắc Đông Bắc, Đông Bắc, Đông Đông Bắc, Đông tuy nhiên tần suất không lớn, các thành phần chủ yếu có tần suất dưới 20%. Tốc độ gió lớn nhất có thể đạt 8-9 m/s ở thành phần gió Bắc đến Đông Bắc. Nhìn chung, hướng gió thổi phổ biến nhất ở vùng biển này là Bắc Đông Bắc đến Đông Đông Bắc với tốc độ phổ biến ở ngưỡng 6 -8 m/s.

6) *Vùng biển từ Cà Mau đến Kiên Giang*: Ở vùng biển này gió thay đổi hướng khá nhiều, tuy nhiên hướng gió có tần suất xảy ra lớn nhất cũng như có tốc độ lớn nhất là hướng Đông và Đông Đông Nam. Trong đó nổi trội vẫn là gió có thành phần hướng Đông với tần suất khoảng 30%. Tốc độ gió 5-6 m/s chiếm tần suất khoảng 20% ở hướng Đông và 18% ở hướng Đông Đông Nam.





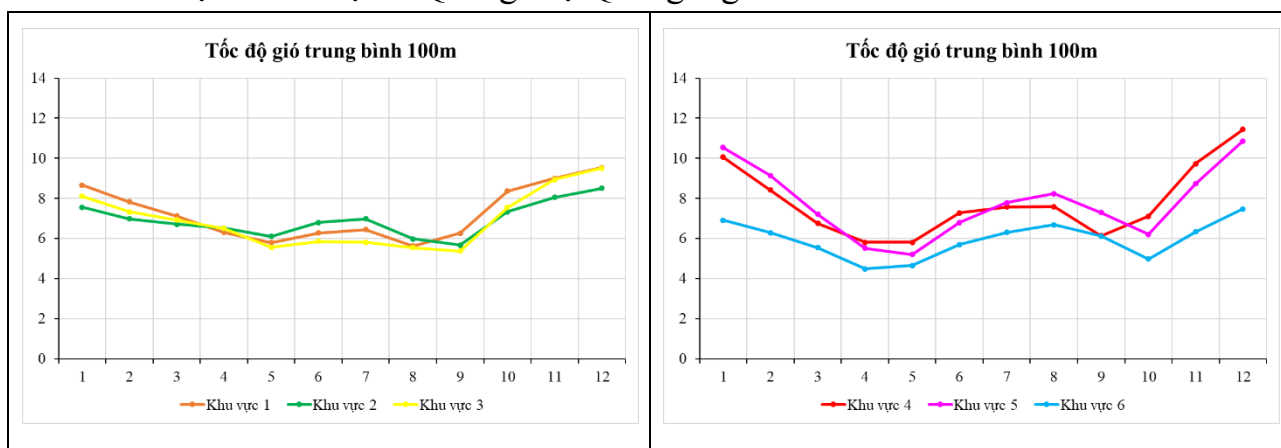
Hình 3.19. Hoa gió năm ở độ cao 10m theo số liệu CCMP trên các vùng biển ven bờ Việt Nam: Bắc vịnh Bắc Bộ (1), Nam vịnh Bắc Bộ (2), vùng biển từ Quảng Trị đến Quảng Ngãi (3), vùng biển từ Bình Định đến Ninh Thuận (4), vùng biển từ Bình Thuận đến Cà Mau (5), vùng biển từ Cà Mau đến Kiên Giang (6)

b. Mật độ năng lượng gió

Biến trình tốc độ gió trung bình gió các vùng ven biển Việt Nam ở độ cao 100m cho trên hình 3.20 có thể thấy rằng, 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 9,5 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 m/s) đến trung bình (6- 7 m/s). 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 8 m/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 8 m/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 8 m/s. Tiềm năng gió nghèo nàn nhất 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 8 m/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.



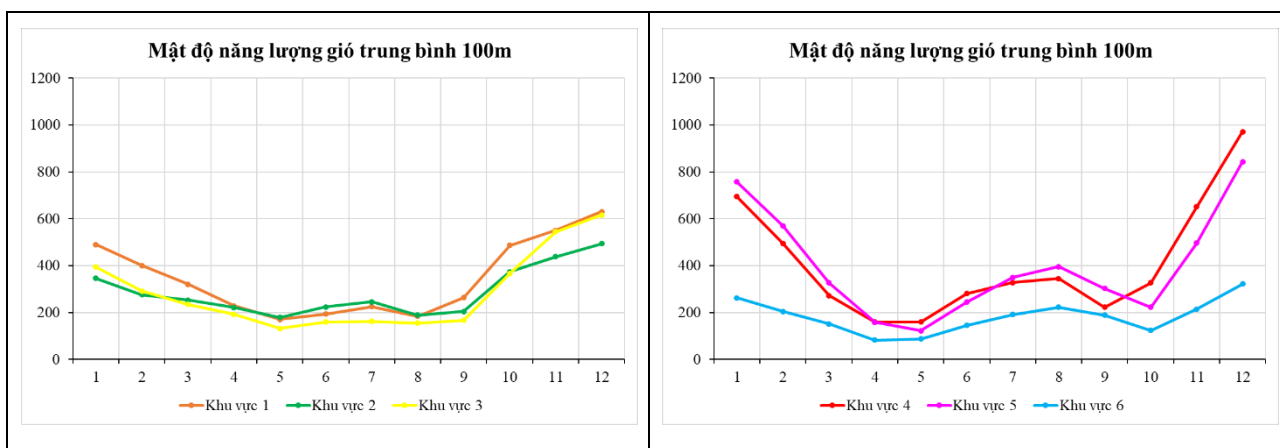
Hình 3.20: Biến trình tốc độ gió (m/s) ở độ cao 100 m theo số liệu CCMP trên các vùng biển ven bờ Việt Nam: Bắc vịnh Bắc Bộ (khu vực 1), Nam vịnh Bắc Bộ (khu vực 2), vùng biển từ Quảng Trị đến Quảng Ngãi (khu vực 3), vùng biển từ Bình Định đến Ninh Thuận (khu vực 4), vùng biển từ Bình Thuận đến Cà Mau (khu vực 5), vùng biển từ Cà Mau đến Kiên Giang (khu vực 6)

Hình 3.21 biểu diễn biến trình mật độ năng lượng gió các vùng ven biển Việt Nam ở độ cao 100 m cho thấy, nhìn chung biến trình năng lượng gió 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 trên 600 W/m² từ tháng 2 đến tháng 10 và phổ biến dưới 300 W/m² 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 500 W/m^2 ; trong đó có thể đạt xấp xỉ 700 đến trên 950 W/m^2 trong tháng 12-2 ở vùng biển Bình Định-Ninh Thuận và từ trên 750 đến gần 100 W/m^2 ở vùng biển Bình Thuận-Cà Mau. Mật độ năng lượng từ 200-400 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 hai mùa gió mang năng lượng nhiều nhất này.

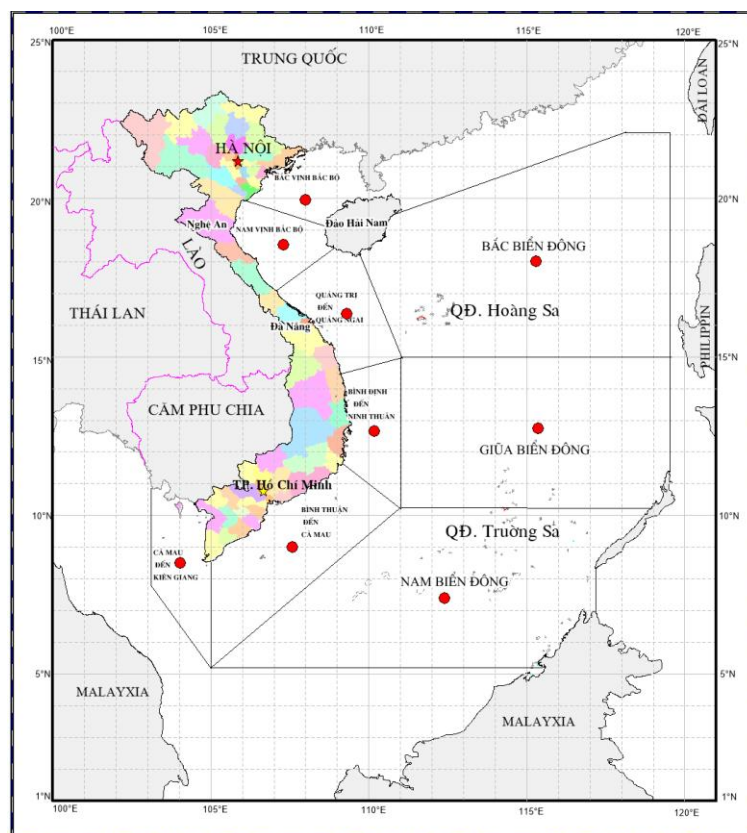


Hình 3.21: Biến trình mật độ năng lượng gió (W/m^2) ở độ cao 100 m theo số liệu CCMP trên các vùng biển ven bờ Việt Nam: Bắc vịnh Bắc Bộ (khu vực 1), Nam vịnh Bắc Bộ (khu vực 2), vùng biển từ Quảng Trị đến Quảng Ngãi (khu vực 3), vùng biển từ Bình Định đến Ninh Thuận (khu vực 4), vùng biển từ Bình Thuận đến Cà Mau (khu vực 5), vùng biển từ Cà Mau đến Kiên Giang (khu vực 6)

3.2. Kết quả đánh giá tiềm năng năng lượng sóng tại các vùng biển Việt Nam

3.2.1. Đặc trưng trường sóng tại các vùng biển Việt Nam

Do không có đầy đủ số liệu quan trắc sóng từ các trạm cố định để có thể sử dụng đánh giá đặc trưng sóng trên các vùng biển của Việt Nam, do vậy trong báo cáo này sử dụng nguồn số liệu tái phân tích từ Trung tâm Dự báo hạn vừa Châu Âu (ECMWF) để phân tích các đặc trưng thống kê. Theo các nghiên cứu trước đó, mặc dù trong một số trường hợp số liệu quan trắc sóng từ ECMWF còn nhiều khác biệt về độ lớn, tuy nhiên về xu thế tương đối phù hợp với quan trắc. Các khu vực biển được đánh giá bao gồm 09 vùng theo quy định, đó là: vùng biển bắc vịnh Bắc Bộ, vùng biển nam vịnh Bắc Bộ, vùng biển từ Quảng Trị đến Quảng Nam, vùng biển từ Bình Định đến Ninh Thuận, vùng biển từ Ninh Thuận đến Cà Mau, vùng biển từ Cà Mau đến Kiên Giang, khu vực Bắc Biển Đông, khu vực Giữa Biển Đông và khu vực Nam Biển Đông. Sơ đồ phân chia khu vực và vị trí điểm lấy số liệu quan trắc sóng thể hiện trên hình 3.22.



Hình 3.22: Sơ đồ khu vực và vị trí điểm trích xuất số liệu sóng

Trên hình 3.23(a)-(i) là hoa sóng theo hướng và độ cao tại 09 khu vực. Từ kết quả phân tích, có thể tóm tắt như sau đặc trưng sóng cho từng khu vực như sau:

- Bắc vịnh Bắc Bộ:

Đặc trưng sóng vùng biển vịnh Bắc Bộ có hướng sóng chủ yếu là đông bắc, đông và nam với độ cao sóng chiếm ưu thế khoảng 0,5-1,0 m chiếm tần suất khoảng 70,8%. Với khoảng độ cao từ 1,0-2,0 m, tần suất độ cao sóng trung bình chiếm khoảng 26,7%. Độ cao sóng trung bình tại vùng biển Bắc vịnh Bắc Bộ dao động trong khoảng 0,9-1,7 m.

- Nam vịnh Bắc Bộ:

Vùng biển Nam vịnh Bắc Bộ, hướng sóng trung bình chủ yếu là hướng đông, đông bắc, đông và đông nam. Tuy nhiên, độ cao sóng trung bình ở vùng biển này cao hơn vùng Bắc vịnh Bắc Bộ. Độ cao sóng trung bình tại vùng biển Nam vịnh Bắc Bộ dao động từ 1,0-2,2 m. Tần suất với độ cao sóng từ 0,5-1,0m và 1,0-2,0 m lần lượt chiếm 55,4% và 44,2%. Với độ cao sóng trung bình lớn hơn 2,0 m, tần suất chiếm rất nhỏ, chỉ khoảng 0,42%.

- Vùng biển từ Quảng Trị đến Quảng Ngãi:

Độ cao sóng trung bình với hướng đông bắc tần suất lớn nhất 35,8%, hướng đông và đông nam với tần suất tương ứng là 33,3% và 29,2%. Độ cao sóng trung bình trong khoảng từ 1,0-2,0 m chiếm tần suất lớn nhất (50,0%), sau đó là sóng có độ cao từ 0,5-1,0 m chiếm 40,8%. Tần suất sóng có độ cao lớn hơn 2,0 m chiếm tỉ lệ khá lớn, khoảng 9%.

- Vùng biển từ Bình Định đến Ninh Thuận:

Tại vùng biển này độ cao sóng trung bình có hướng chủ yếu là hướng đông bắc (50,0%) và hướng nam (30%). Độ cao sóng trung bình tại vùng biển này phổ biến từ 1,0-2,0 m, chiếm tần suất 57,9%. Tại vùng biển này, độ cao sóng trung bình có thể đạt trên 3,0 m, tần suất chiếm 2,1%.

- Vùng biển từ Bình Thuận đến Cà Mau:

Tại vùng biển từ Bình Thuận đến Cà Mau, độ cao sóng trung bình có hướng chủ yếu là đông bắc và tây nam với tần suất tương ứng là 52,5% và 30,4% và độ cao sóng trung bình chủ yếu trong khoảng 1,0-2,0 m chiếm 46,7%, độ cao sóng trung bình trong khoảng 0,5-1,0 m chiếm 32,1%. Độ cao sóng trung bình từ 2,0-3,0 m

cũng chiếm tần suất khá lớn, khoảng 19,5% nhưng độ cao sóng trung bình không vượt quá 3,0 m.

- Vùng biển từ Cà Mau đến Kiên Giang:

Tại vùng biển từ Cà Mau đến Kiên Giang sóng trung bình có hướng đông (37,9%) và hướng tây nam (27,9%). Độ cao sóng trung bình tại vùng biển này chỉ phổ biến từ 0,5-1,0 m chiếm tỉ lệ lớn đến 80%. Độ cao sóng trung bình tháng tại vùng biển này dao động từ 0,6-1,1 m.

- Khu vực Bắc Biển Đông:

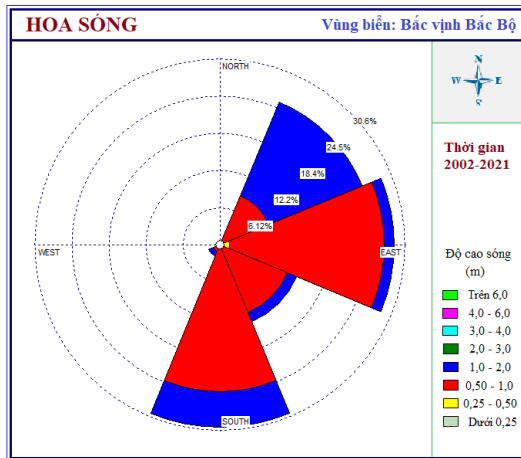
Trên khu vực Bắc Biển Đông, độ cao sóng trung bình có hướng thịnh hành là đông bắc với tần suất khoảng 52,5% phổ biến dao động, sau đó là hướng nam với tần suất 21,7%, các hướng còn lại chiếm tần suất dưới 15%. Độ cao sóng trung bình ở Bắc Biển Đông phổ biến từ 1,0-3,0 m. Tần suất ứng với khoảng độ cao sóng trung bình từ 1,0-2,0 m và 2,0-3,0 m tương ứng lần lượt là 58,3% và 25,5%. Độ cao sóng trung bình lớn hơn 3,0 m chiếm tần suất khá nhỏ, khoảng 5,8%.

- Khu vực Giữa Biển Đông:

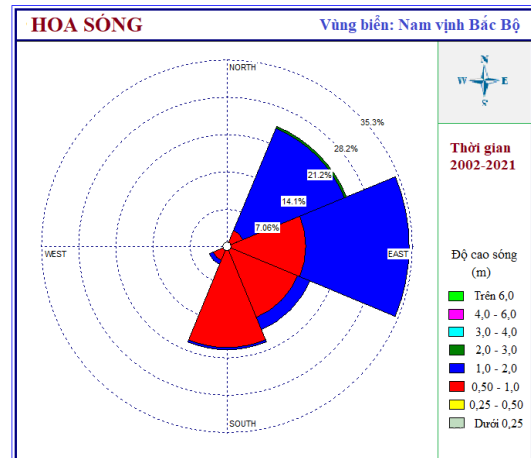
Tương tự như khu vực Bắc Biển Đông, trên khu vực Giữa Biển Đông hướng sóng trung bình là đông bắc chiếm ưu thế, tần suất đạt 53,8% và sau đó là hướng tây nam chiếm tần suất 23,3%, các hướng còn lại chiếm tần suất rất ít, dưới 6%. Độ cao sóng trung bình tại Giữa Biển Đông phổ biến từ 1,0-2,0 m với tần suất lên đến 60,8%, với độ cao từ 2,0-3,0 m tần suất đạt 18,8%. Với độ cao sóng trung bình lớn hơn 3m, tần suất khá nhỏ, khoảng 0,4%.

- Khu vực Nam Biển Đông:

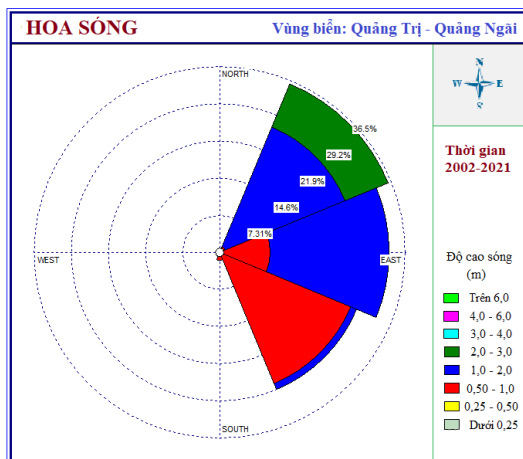
Hướng sóng trung bình tại khu vực Nam Biển Đông có hướng thịnh hành chủ yếu là hướng đông bắc và hướng tây với tần suất tương ứng là 38,3% và 29,2%. Trên khu vực Nam Biển Đông, độ cao sóng trung bình không vượt quá 3,0 m. Độ cao sóng trung bình phổ biến là từ 1,0-2,0 m, chiếm tần suất 55,4%. Với khoảng độ cao từ 0,5-1,0 m, tần suất là 35,8%. Với độ cao trung bình lớn hơn 2,0 m, tần suất khá nhỏ chỉ vào khoảng 3,8%.



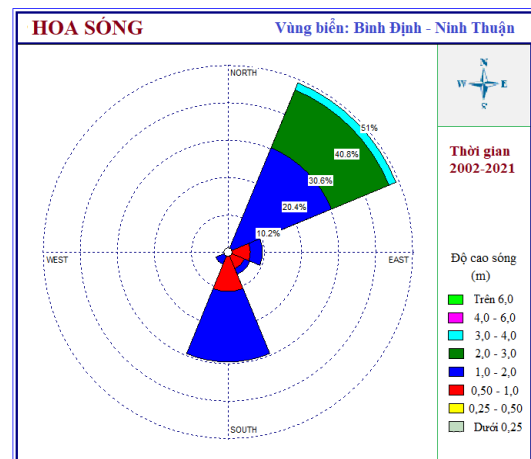
(a) Hoa sóng khu vực Bắc vịnh Bắc Bộ



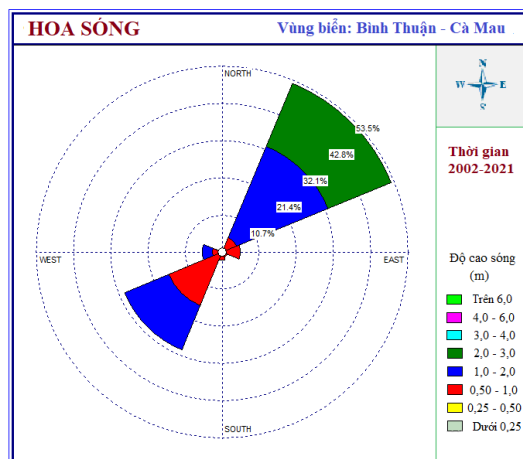
(b) Hoa sóng khu vực Nam vịnh Bắc Bộ



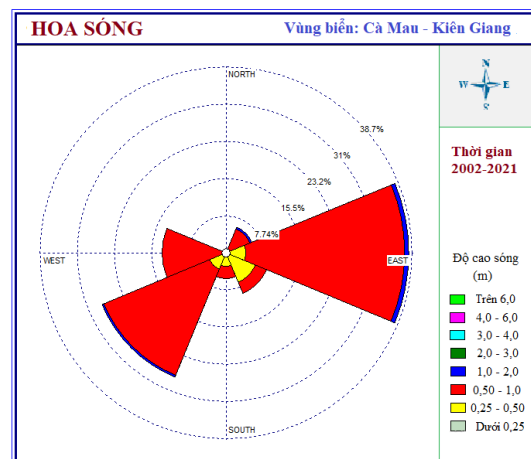
(c) Hoa sóng khu vực Quảng Trị - Quảng Ngãi



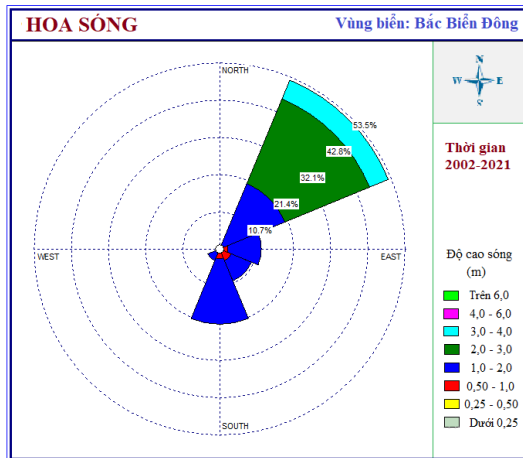
(d) Hoa sóng khu vực Bình Định - Ninh Thuận



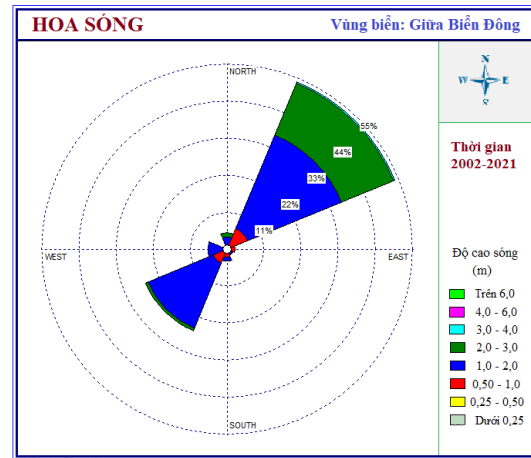
(e) Hoa sóng khu vực Bình Thuận - Cà Mau



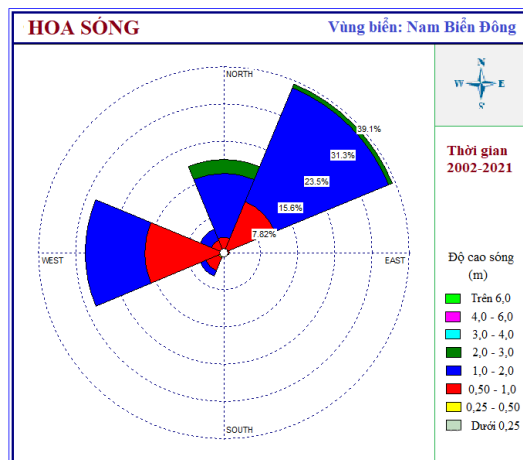
(f) Hoa sóng khu vực Cà Mau - Kiên Giang



(g) Hoa sóng khu vực Bắc Biển Đông



(h) Hoa sóng khu vực Giữa Biển Đông



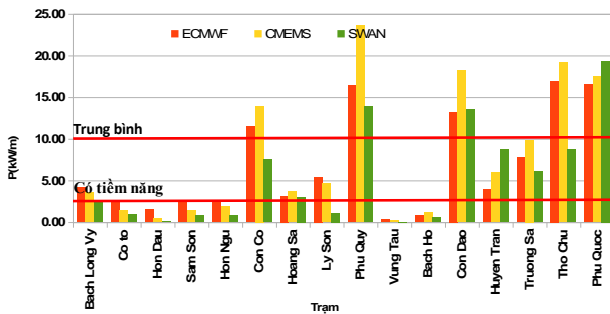
(i) Hoa sóng khu vực Nam Biển Đông

Hình 3.23: Hoa sóng tại các khu vực trên Biển Đông

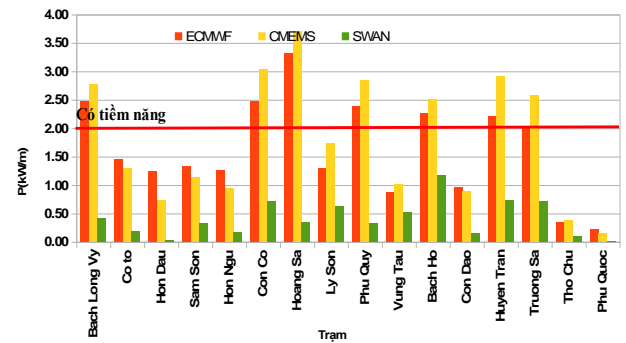
3.2.1. Tiềm năng năng lượng sóng tại các vùng biển

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

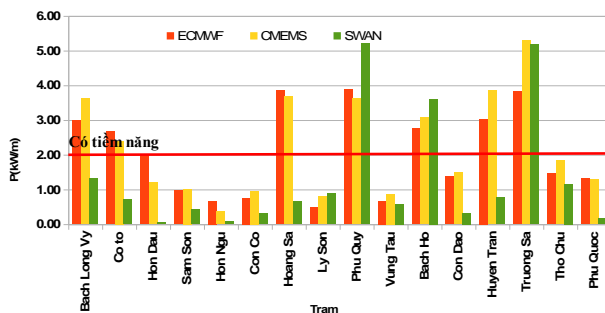
Trên hình 3.24 so sánh kết quả tính toán tiềm năng năng lượng sóng tại một số trạm hải văn ven bờ, đảo của Việt Nam từ nguồn số liệu tái phân tích của ECMWF, CMEMS và kết quả mô phỏng từ mô hình SWAN theo trường gió tái phân tích của ECMWF. Kết quả cho thấy có sự chênh lệch tương đối lớn của trị số tiềm 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.



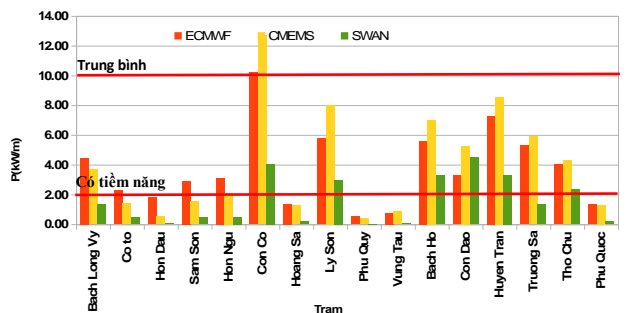
(a) Tháng 1



(c) Tháng 4



(c) Tháng 7



(c) Tháng 10

Hình 3.24: 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

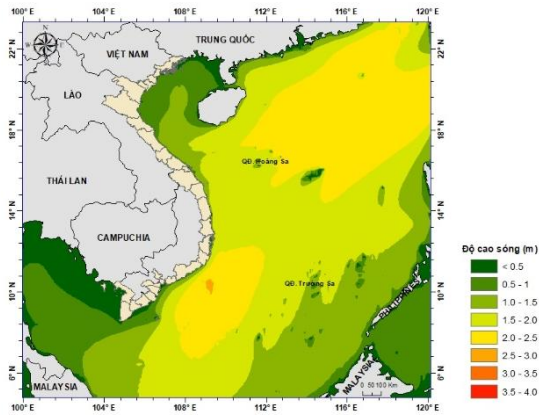
Những kết quả phân tích đánh giá tiềm năng năng lượng sóng trên Biển Đông và một số vị trí dưới đây sử dụng chuỗi số liệu sóng tái phân tích của ECMWF trong 20 năm.

- Phân bố tiềm năng năng lượng sóng

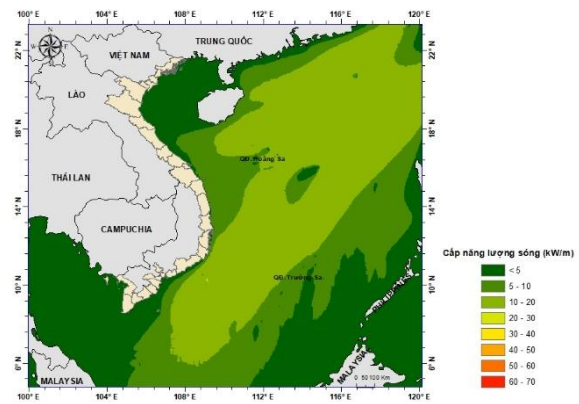
Trên Hình 3.25 a-i là phân bố trường sóng trung bình và năng lượng sóng trung bình nhiều năm trong các tháng đặc trưng theo mùa tính từ chuỗi số liệu 20 năm tại các tháng 1, 4, 7, 10, 12 và trung bình trong các mùa Xuân, Hạ, Thu, Đông và trung bình nhiều năm. Kết quả cho thấy trong các tháng đặc trưng 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.

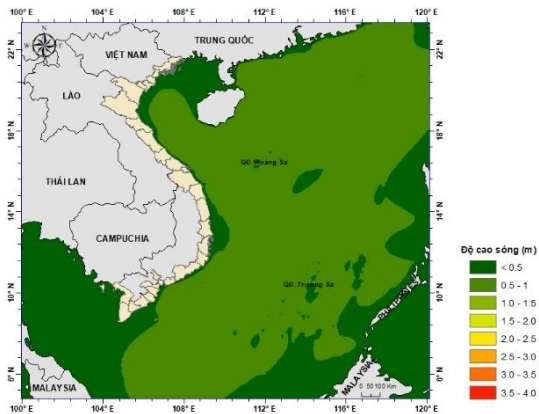


(a) Độ cao sóng

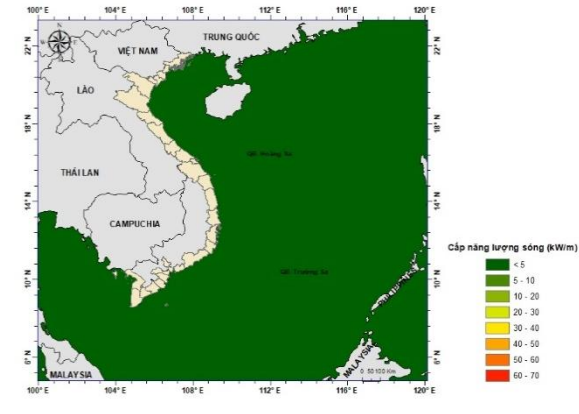


(b) Năng lượng sóng

(a) Tháng 1

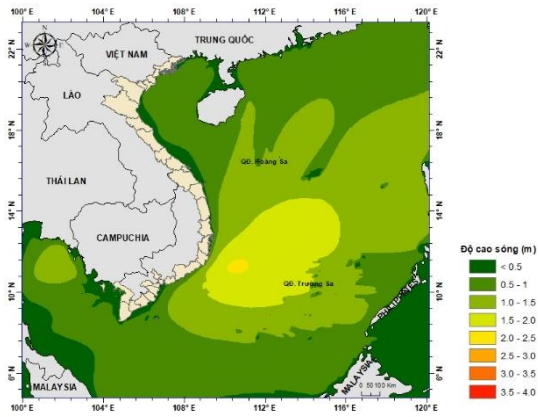


(a) Độ cao sóng

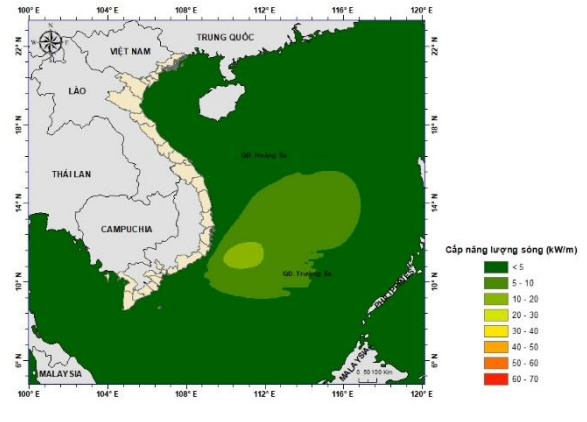


(b) Năng lượng sóng

(b) Tháng 4

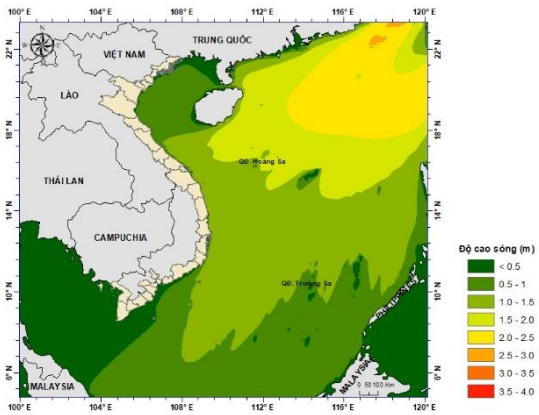


(a) Độ cao sóng

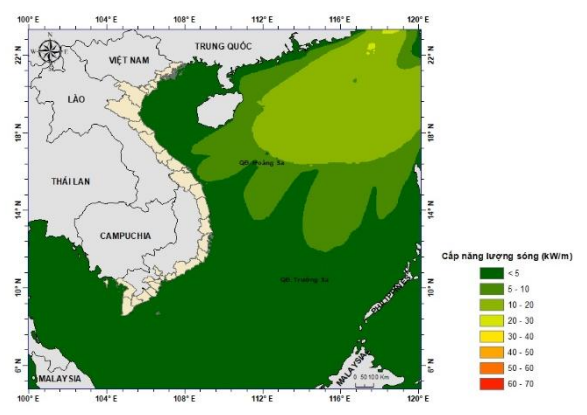


(b) Năng lượng sóng

(c) Tháng 7

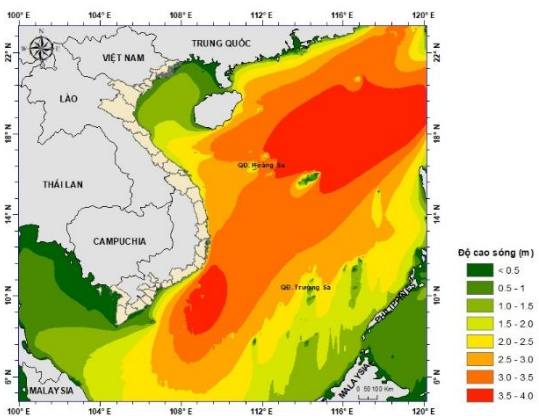


(a) Độ cao sóng

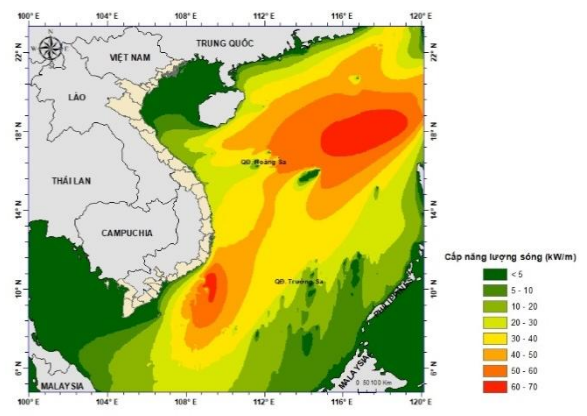


(b) Năng lượng sóng

(c) Tháng 10

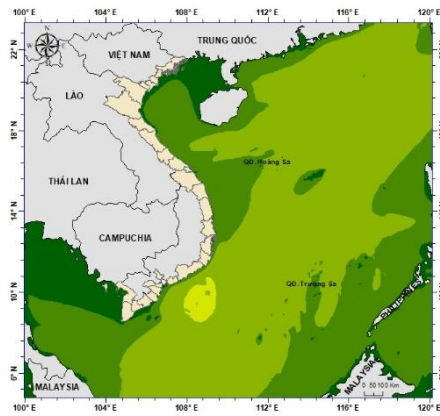


(a) Độ cao sóng

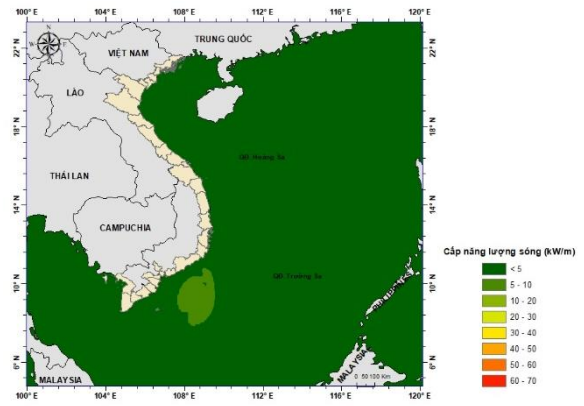


(b) Năng lượng sóng

(d) Tháng 12

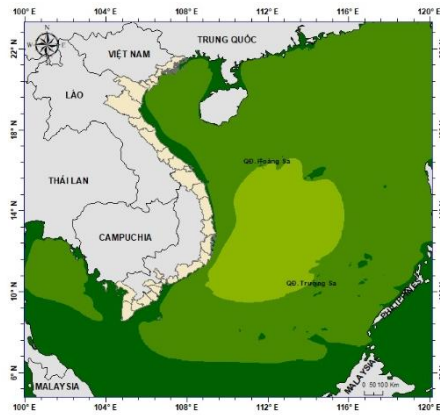


(a) Độ cao sóng

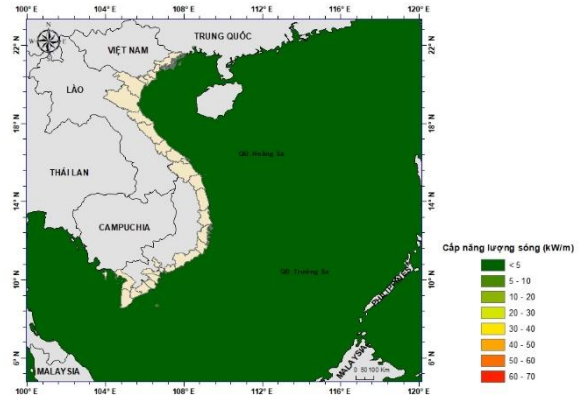


(b) Năng lượng sóng

(e) Mùa Xuân

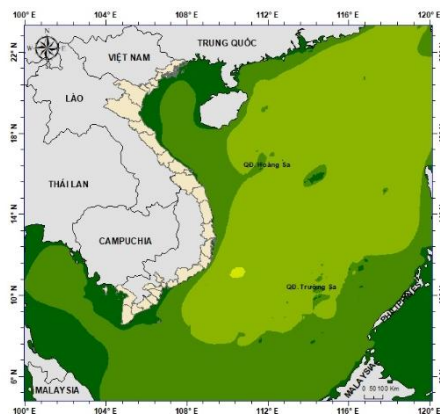


(a) Độ cao sóng

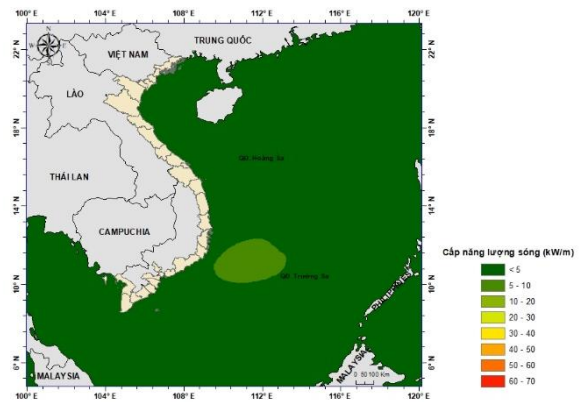


(b) Năng lượng sóng

(f) Mùa Hạ

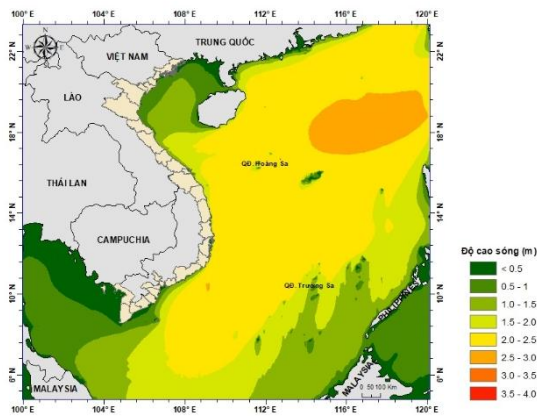


(a) Độ cao sóng

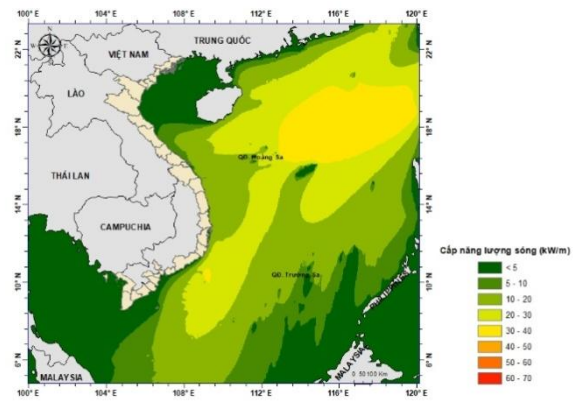


(b) Năng lượng sóng

(g) Mùa Thu

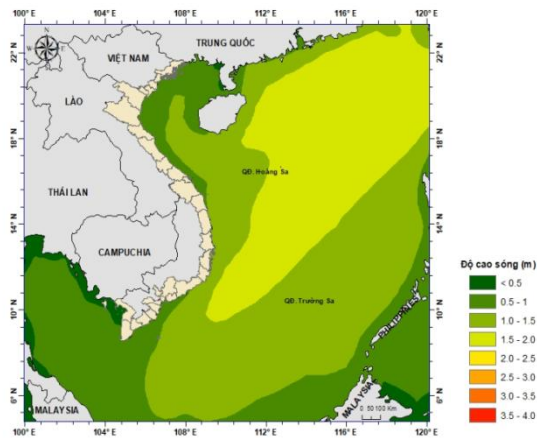


(a) Độ cao sóng

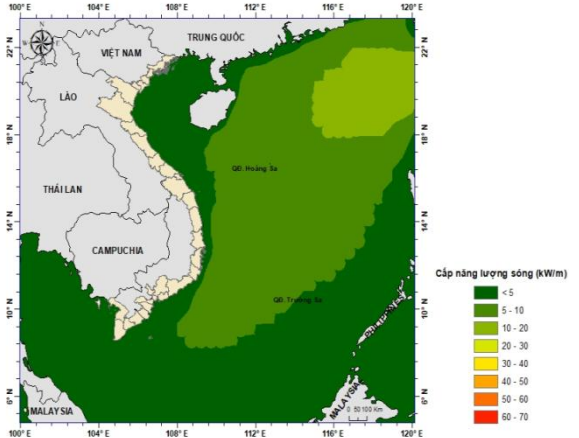


(b) Năng lượng sóng

(h) Trung bình Mùa Đông



(a) Độ cao sóng



(b) Năng lượng sóng

(i) Trung bình nhiều năm

Hình 3.25: 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.

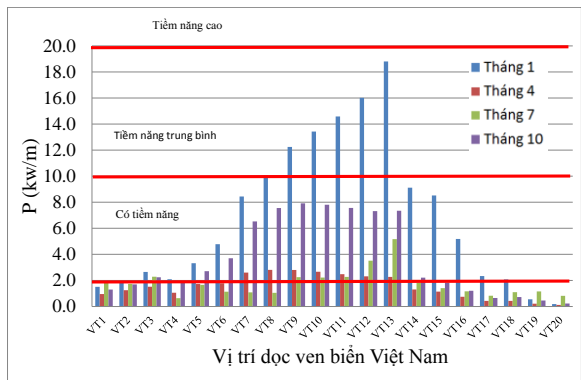
- Khu vực vịnh Thái Lan:

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.

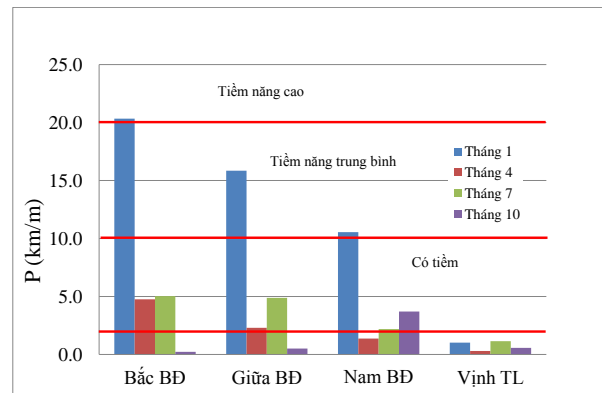
- Tiềm năng năng lượng sóng tại các vị trí ven biển, đảo Việt Nam và khu vực ngoài khơi Biển Đông

Kết quả tính toán tiềm năng năng lượng sóng tại các vị trí dọc ven bờ biển Việt Nam và ngoài khơi Biển Đông (vị trí trên bảng 2.2) trong các tháng 1, 4, 7, 10 và theo trung bình các mùa và nhiều năm trên Hình 3.26 và Hình 3.27 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.

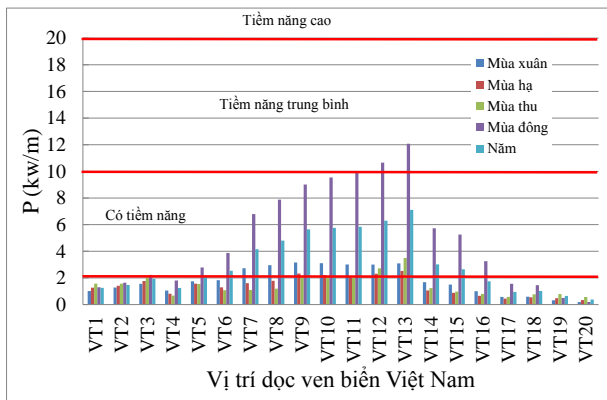


(a)

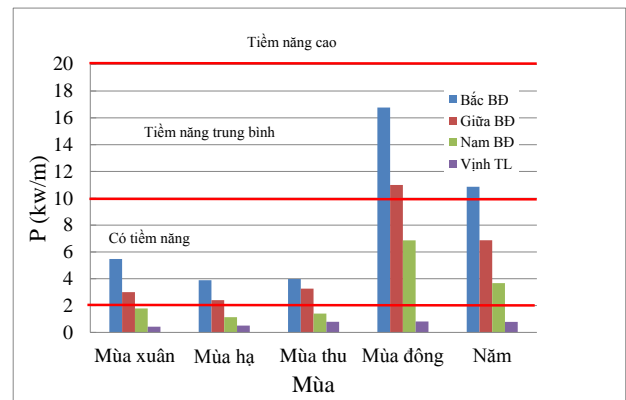


(b)

Hình 3.26: Mật độ năng lượng sóng trung bình các tháng đặc trưng cho mùa tại các vị trí dọc ven bờ Việt Nam (a), ngoài khơi Biển Đông (b)

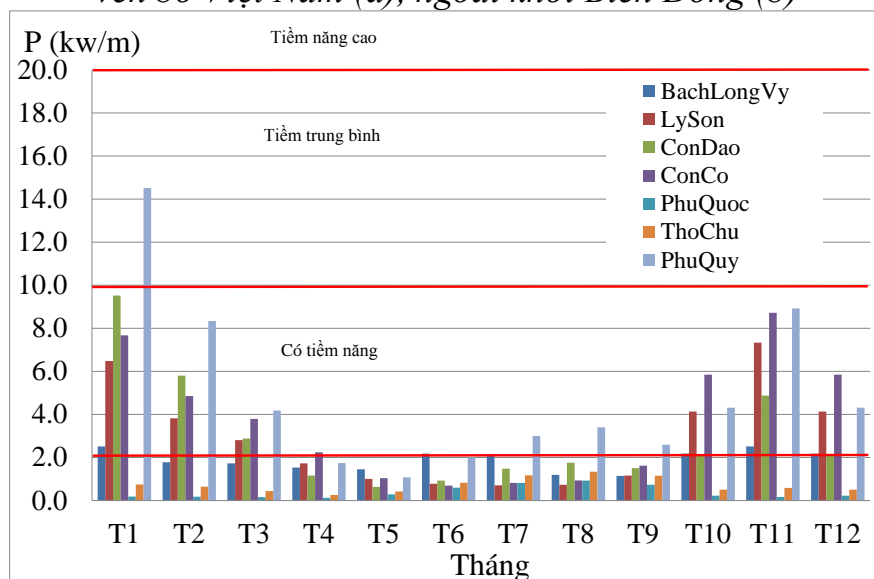


(a)



(b)

Hình 3.27: Mật độ năng lượng sóng trung bình mùa và năm tại các vị trí dọc ven bờ Việt Nam (a), ngoài khơi Biển Đông (b)



Hình 3.28: Mật độ năng lượng sóng trung bình các tháng tại đảo xa bờ của Việt Nam

- *Đánh giá tiềm năng năng lượng sóng theo các mức tiềm năng*

- *Tần suất xuất hiện độ cao sóng hiệu dụng EWHO:*

Độ cao sóng hiệu dụng (EWHO) là khoảng độ cao sóng trung bình 1.3m - 4,0m được coi là khoảng độ cao tạo ra tiềm năng năng lượng sóng phù hợp cho khai thác.

Kết quả tính toán tần suất xuất hiện độ cao sóng hiệu dụng EWHO từ chuỗi số liệu 20 năm trên khu vực Biển Đông và ven bờ Việt Nam trong các tháng đặc 1, 4, 7, 10 và trung bình năm thể hiện trên các Hình 3.29 a-e có thể đưa ra một số nhận xét về tần suất xuất hiện độ cao sóng hiệu dụng như sau:

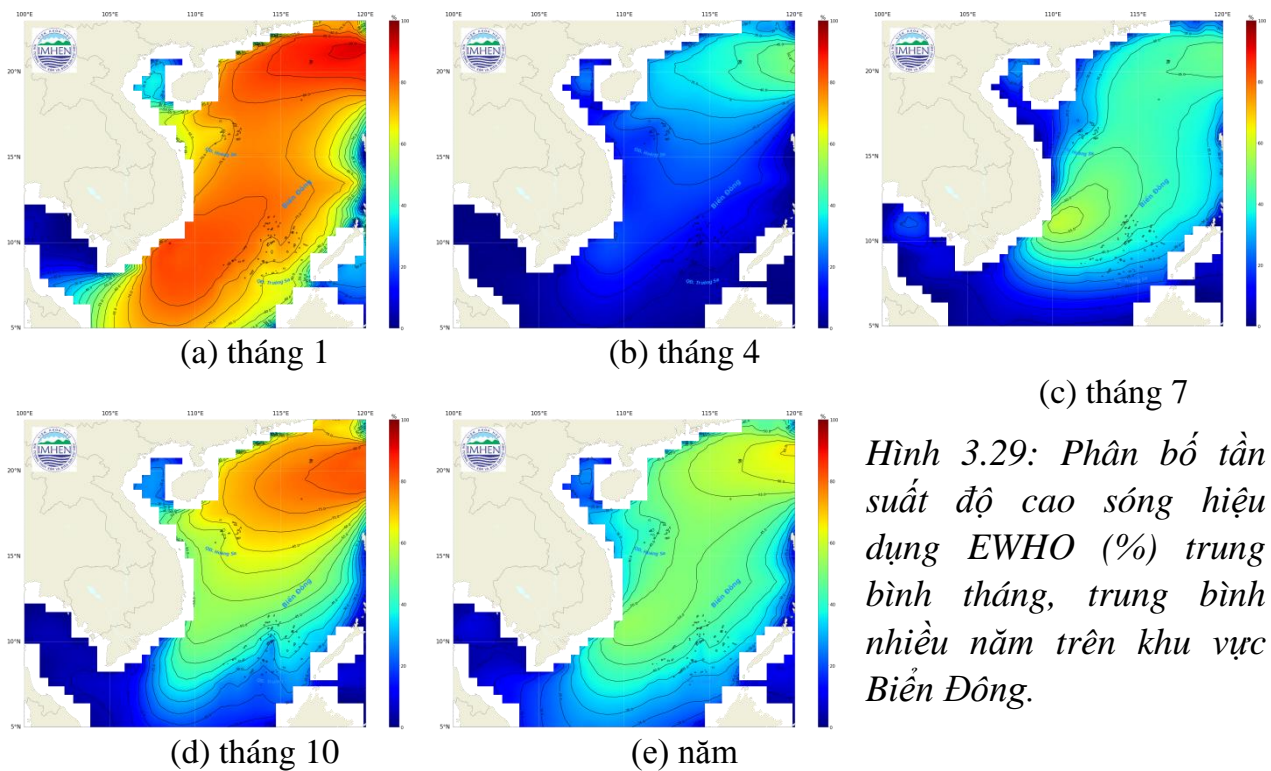
- Trong tháng 1, EWHO ở phần lớn Biển Đông đều lớn hơn 50%. Hai khu vực có EWHO lớn nhất là eo biển Luzon trên 90% và khu vực biển Nam Trung Bộ của Việt Nam trên 80%. vịnh Bắc Bộ EWHO khoảng 10-30%. Vịnh Thái Lan EWHO dưới 20%.

- Trong tháng 4, EWHO ở phần lớn Biển Đông đều lớn hơn 5%. Khu vực eo biển Luzon có EWHO trên 45%. Khu vực biển Nam Trung Bộ của Việt Nam có EWHO khoảng 15%. vịnh Bắc Bộ EWHO khoảng 5-20%. Vịnh Thái Lan EWHO dưới 5%.

- Trong tháng 7, EWHO ở phần lớn Biển Đông đều lớn hơn 10%. Hai khu vực có EWHO lớn nhất là eo biển Luzon trên 45% và khu vực biển Nam Trung Bộ của Việt Nam 30-55%. Vịnh Bắc Bộ EWHO khoảng 5-25%. Vịnh Thái Lan EWHO dưới 20%.

- Trong tháng 10, EWHO ở phần lớn Biển Đông đều lớn hơn 50%. Khu vực có EWHO lớn nhất là Bắc Biển Đông và eo biển Luzon trên 80%. Khu vực biển Nam Trung Bộ của Việt Nam có EWHO từ 30%-55%. Vịnh Bắc Bộ EWHO khoảng 20-40%. Vịnh Thái Lan EWHO dưới 5%.

- Trong cả năm, EWHO ở phần lớn Biển Đông đều lớn hơn 15%. Hai khu vực có EWHO lớn nhất là eo biển Luzon trên 65% và khu vực biển Nam Trung Bộ của Việt Nam 35-50%. Vịnh Bắc Bộ EWHO khoảng 5-25%. Vịnh Thái Lan EWHO dưới 15%.



Hình 3.29: Phân bố tần suất độ cao sóng hiệu dụng EWHO (%) trung bình tháng, trung bình nhiều năm trên khu vực Biển Đông.

- Tần suất xuất hiện các ngưỡng mật độ năng lượng sóng:

Theo phân loại, mật độ năng lượng sóng được đánh giá theo các mức: $P > 2$ kW/m: Có tiềm năng, ký hiệu ALO; $P > 10$ kW/m: Tiềm năng trung bình, ký hiệu MLO; $P > 20$ kW/m: Tiềm năng cao, ký hiệu RLO.

Kết quả tính toán tần suất mật độ năng lượng sóng cho các khu vực trên Biển Đông với các mức có tiềm năng, tiềm năng trung bình và tiềm năng cao cho các tháng 1, 4, 7, 10 và trung bình năm thể hiện trên các Hình 3.16 đến Hình 3.18.

- *Mức có tiềm năng (ALO):*

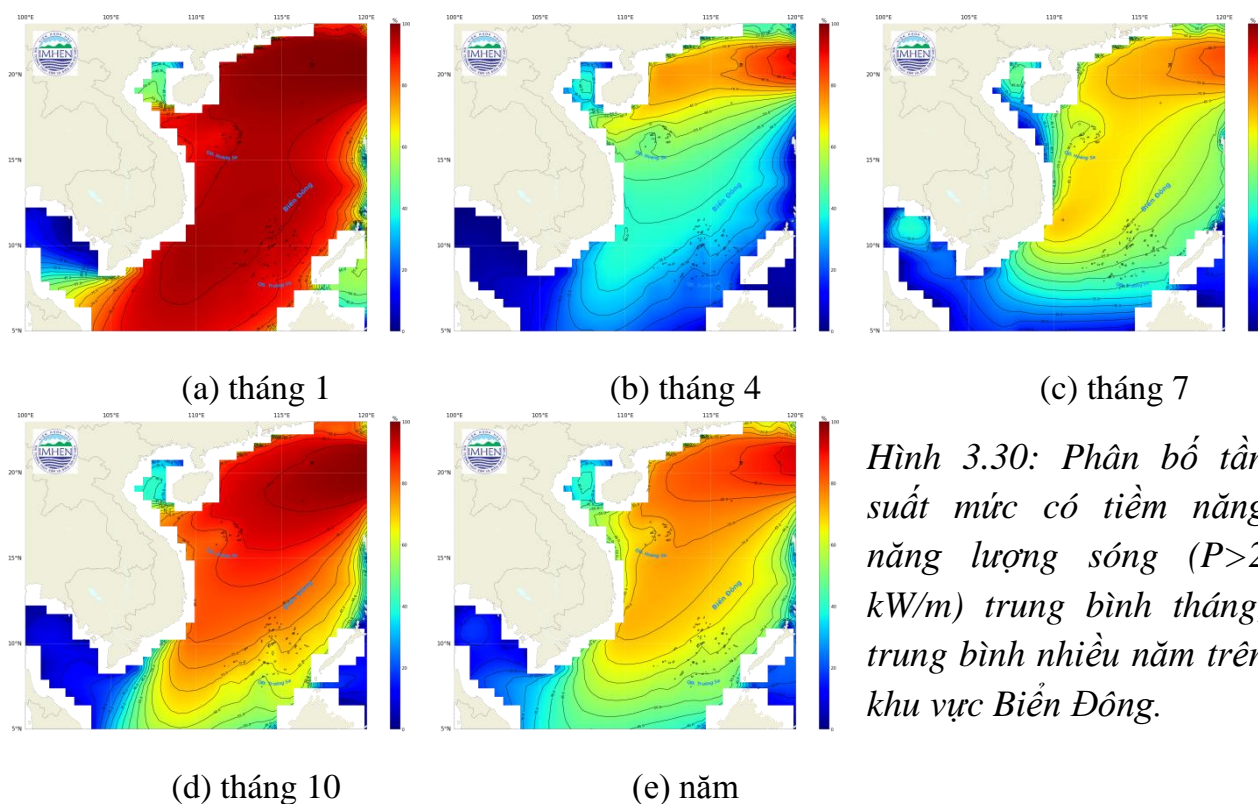
+ Trong tháng 1, ALO ở Biển Đông đều lớn hơn 90% bao phủ hầu hết các khu vực nước sâu. Trên vịnh Bắc Bộ ALO khoảng 20-80%. Tại vịnh Thái Lan ALO dưới 50%.

+ Trong tháng 4, ALO ở phần lớn Biển Đông đều lớn hơn 20%. Khu vực eo biển Luzon có ALO trên 80%. Khu vực biển Nam Trung Bộ của Việt Nam có ALO trên 30%. vịnh Bắc Bộ có ALO khoảng 10-50%. Vịnh Thái Lan có ALO dưới 10%.

+ Trong tháng 7, ALO ở phần lớn Biển Đông đều lớn hơn 20%. Khu vực Đông Bắc Biển Đông có ALO trên 70%. Khu vực biển Nam Trung Bộ của Việt Nam có ALO 40-65%. Khu vực vịnh Bắc Bộ ALO khoảng 5-25%. Vịnh Thái Lan ALO dao động từ 5-25%.

+ Trong tháng 10, ALO ở phần lớn Biển Đông đều lớn hơn 80%. Khu vực Đông Bắc Biển Đông có ALO trên 90%. Khu vực biển Nam Trung Bộ của Việt Nam có ALO 60-80%. Vịnh Bắc Bộ ALO khoảng 30-50%. Vịnh Thái Lan ALO từ 5-20%.

+ Trong cả năm, ALO ở phần lớn Biển Đông đều lớn hơn 20%. Khu vực có ALO lớn nhất là eo biển Luzon trên 60%. Vịnh Bắc Bộ ALO khoảng 5-50%. Vịnh Thái Lan ALO dưới 20%.



Hình 3.30: Phân bố tần suất mức có tiềm năng năng lượng sóng ($P > 2$ kW/m) trung bình tháng, trung bình nhiều năm trên khu vực Biển Đông.

- *Mức có tiềm năng trung bình (MLO):*

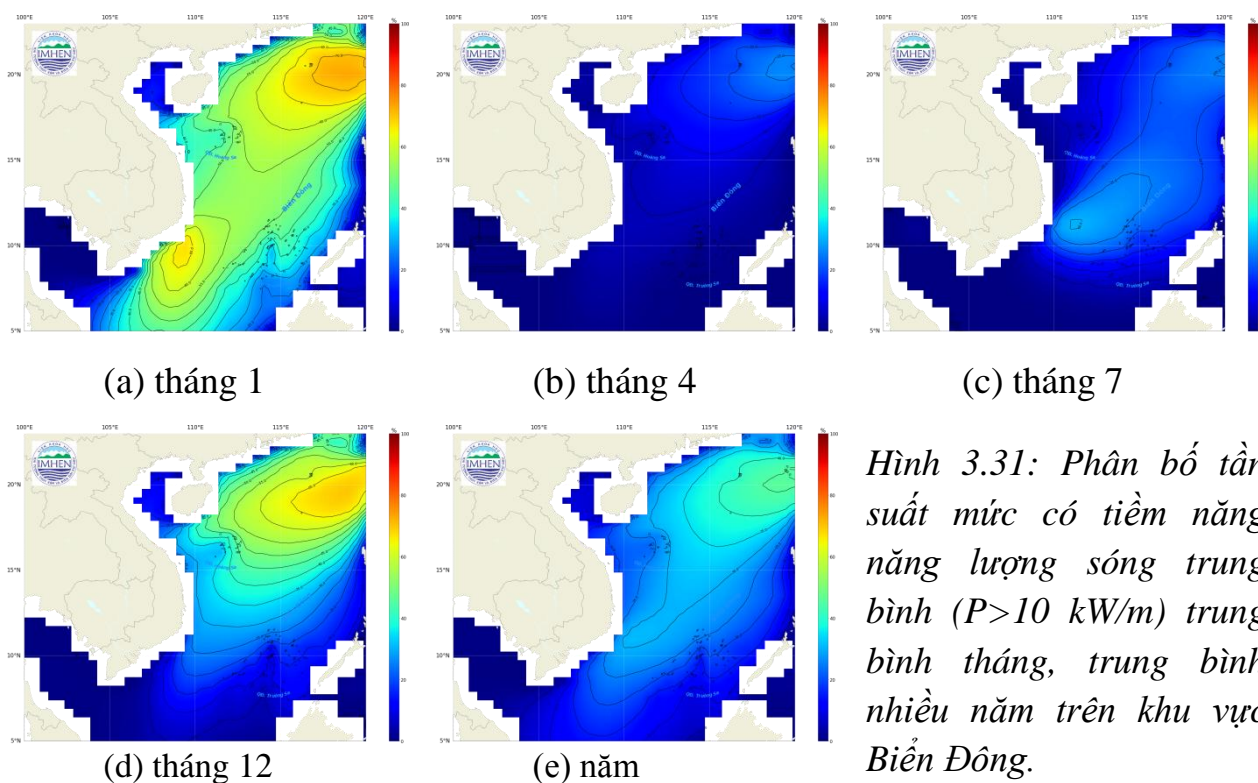
+ Trong tháng 1, MLO ở phần lớn Biển Đông hơn 40%. Hai khu vực có MLO lớn nhất Biển Đông là khu vực eo Luzon trên 70% và khu vực biển Nam Trung Bộ của Việt Nam trên 60%. Vịnh Bắc Bộ MLO dưới 30%. Vịnh Thái Lan MLO dưới 10%.

+ 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%.



- *Mức có tiềm năng cao (RLO):*

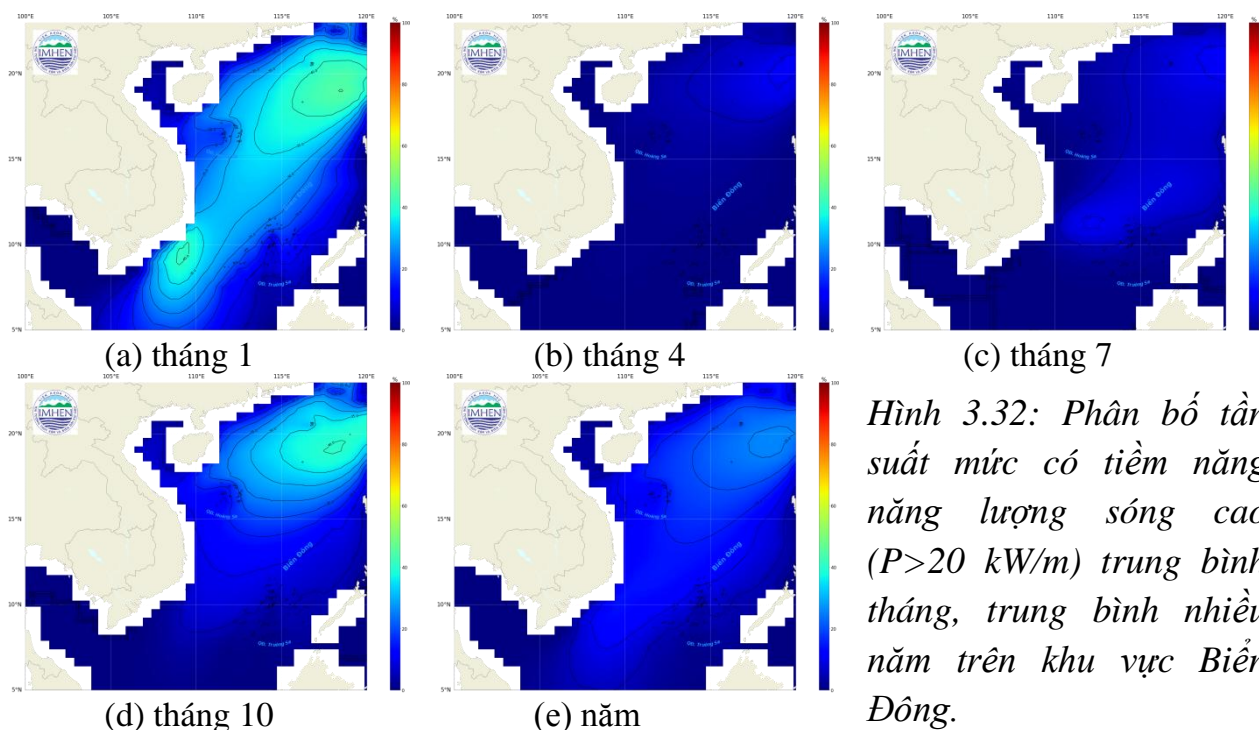
+ Trong tháng 1, RLO ở phần lớn Biển Đông khoảng 10-45%. Hai khu vực có RLO lớn nhất Biển Đông là khu vực eo Luzon 40-45% và khu vực biển Nam Trung Bộ của Việt Nam trên 35-40%. Vịnh Bắc Bộ RLO dưới 10%. Vịnh Thái Lan RLO dưới 5%.

+ 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%.



Hình 3.32: Phân bố tần suất mức có tiềm năng năng lượng sóng cao ($P > 20$ kW/m) trung bình tháng, trung bình nhiều năm trên khu vực Biển Đông.

3.3. Dự báo tiềm năng năng lượng gió, sóng theo kịch bản biến đổi khí hậu

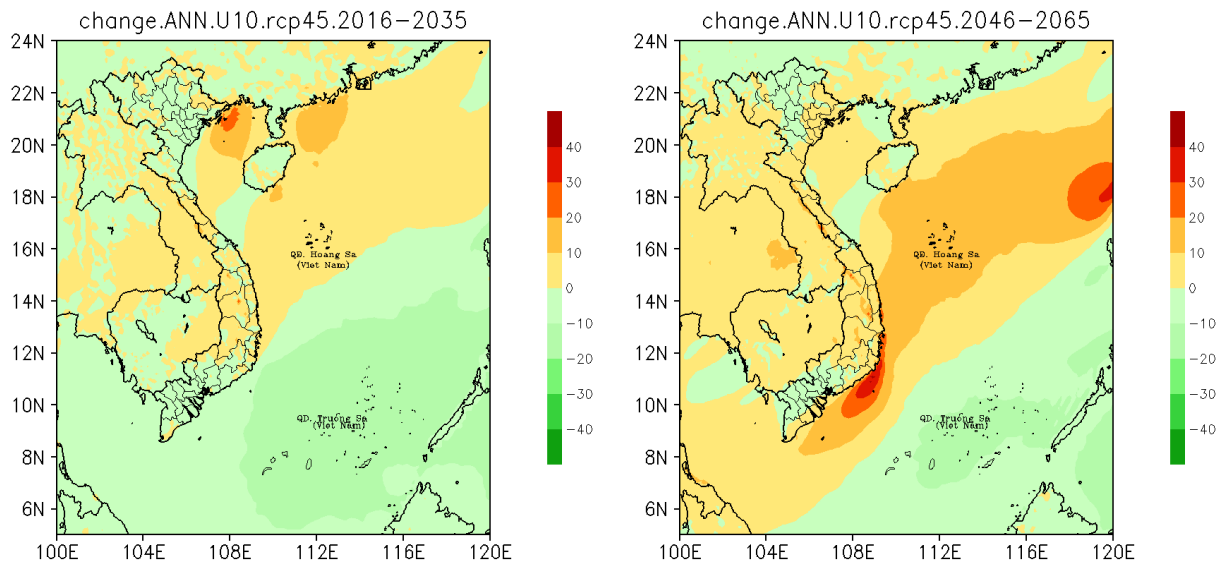
Theo kịch bản RCP4.5, vào đầu thế kỷ 21, mật độ năng lượng gió trung bình năm mực 10 m có xu hướng tăng ở các vùng biển phía bắc và giảm ở các vùng biển phía nam, cũng có vùng biển cho mật độ năng lượng giảm ở vùng sát ven bờ, xa bờ hơn mật độ năng lượng gió lại tăng. Các vùng biển cho mật độ năng lượng gió tăng trong toàn bộ khu vực là vùng Bắc vịnh Bắc Bộ và vùng biển từ Quảng Trị đến Quảng Ngãi, từ Bình Định đến Ninh Thuận với mức tăng ở Bắc vịnh Bắc Bộ là 0-30 W/m², hai vùng còn lại có mức tăng thấp hơn, từ 0-10 W/m². Vùng Nam vịnh Bắc Bộ có mật độ năng lượng gió giảm ở vùng ven bờ, tăng ở vùng xa bờ với trị số tuyệt đối của mức biến đổi đều trong khoảng 0-10 W/m². Hai vùng biển có mật độ năng lượng gió giảm là vùng từ Bình Thuận đến Cà Mau và từ Cà Mau đến Kiên Giang, mức giảm từ 0-20 W/m², càng xa bờ mức giảm càng tăng (Hình 3.33 trái).

Theo kịch bản RCP4.5, vào giữa thế kỷ 21, mật độ năng lượng gió trung bình năm mực 10 m có xu hướng tăng trên hầu hết các vùng biển ven bờ Việt Nam với

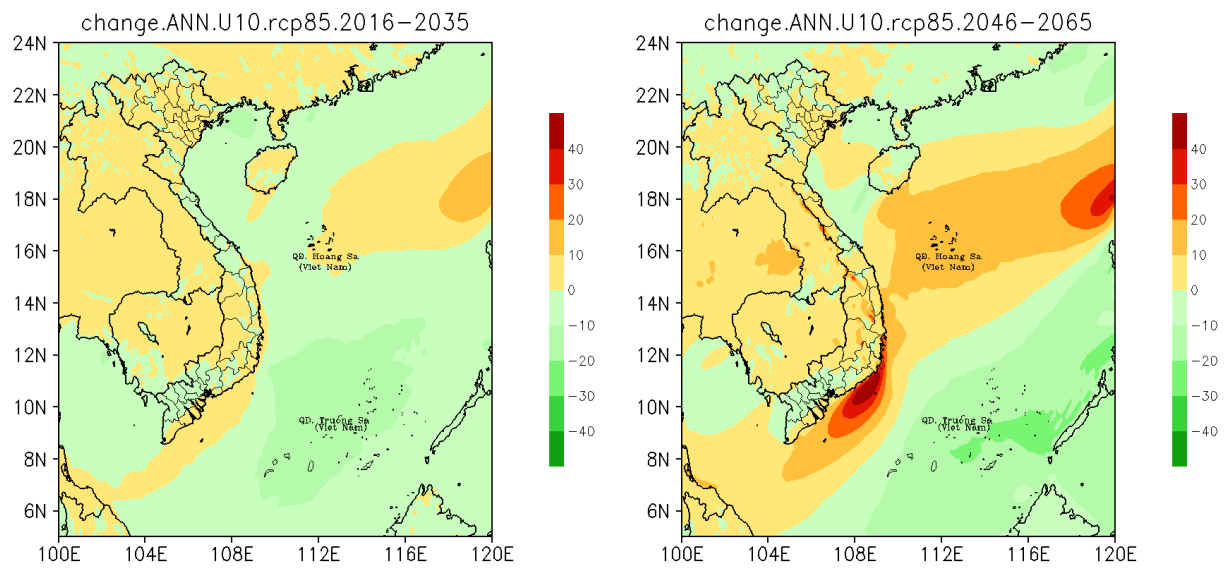
xu hướng tăng cao hơn ở các vùng biển phía nam. Mức tăng mật độ năng lượng gió lớn nhất ở vùng biển từ Bình Định đến Ninh Thuận và từ Bình Thuận đến Cà Mau, với mức tăng từ $10\text{-}40\text{ W/m}^2$, tuy nhiên phạm vi có mức tăng cao có xu hướng mở rộng xa bờ hơn ở vùng biển từ Bình Thuận đến Cà Mau. Các vùng biển phía bắc mức tăng dao động chủ yếu ở $0\text{-}10\text{ W/m}^2$, tuy nhiên vẫn có những phạm vi nhỏ trong những vùng này cho mật độ năng lượng gió giảm từ $0\text{-}10\text{ W/m}^2$ (Hình 3.33 phải).

Theo kịch bản RCP8.5, vào đầu thế kỷ 21, mật độ năng lượng gió trung bình năm mực 10m có xu hướng tăng ở các vùng biển phía nam và giảm ở các vùng biển phía bắc, và đều có mức biến đổi không lớn, chỉ dao động trong khoảng trị số $0\text{-}10\text{ W/m}^2$. Xu thế tăng thể hiện rõ rệt nhất ở vùng biển từ Bình Thuận đến Cà Mau. Vùng biển từ Bình Định đến Ninh Thuận chỉ thể hiện xu thế tăng ở khu vực sát ven bờ (Hình 3.34 trái).

Theo kịch bản RCP8.5, vào giữa thế kỷ 21, mức biến đổi mật độ năng lượng gió trung bình năm mực 10m có phân bố không gian tương tự như đối với kịch bản RCP4.5, đó là mật độ năng lượng gió có xu hướng tăng mạnh ở các vùng biển phía nam, xu thế giảm và tăng nhẹ ở các vùng biển phía bắc. Mật độ năng lượng gió có mức tăng lớn nhất ở vùng biển từ Bình Thuận đến Cà Mau, phổ biến từ $10\text{-}50\text{ W/m}^2$. Vùng Nam vịnh Bắc Bộ thể hiện xu thế giảm là chủ yếu (Hình 3.34 phải).



Hình 3.33: Biến đổi của mật độ năng lượng gió trung bình năm mực 10 m thời kỳ đầu và giữa thế kỷ 21 theo kịch bản RCP4.5



Hình 3.34: Biến đổi của mật độ năng lượng gió trung bình năm mực 10 m thời kỳ đầu và giữa thế kỷ 21 theo kịch bản RCP8.5

PHẦN IV

CÁC NHÂN TỐ TÁC ĐỘNG ĐẾN KHAI THÁC NĂNG LƯỢNG GIÓ, SÓNG VÀ ẢNH HƯỞNG CỦA CÔNG TRÌNH KHAI THÁC TỚI MÔI TRƯỜNG VÀ HOẠT ĐỘNG KINH TẾ - XÃ HỘI

4.1. Tác động của các thiên tai trên biển đến khai thác năng lượng gió, sóng

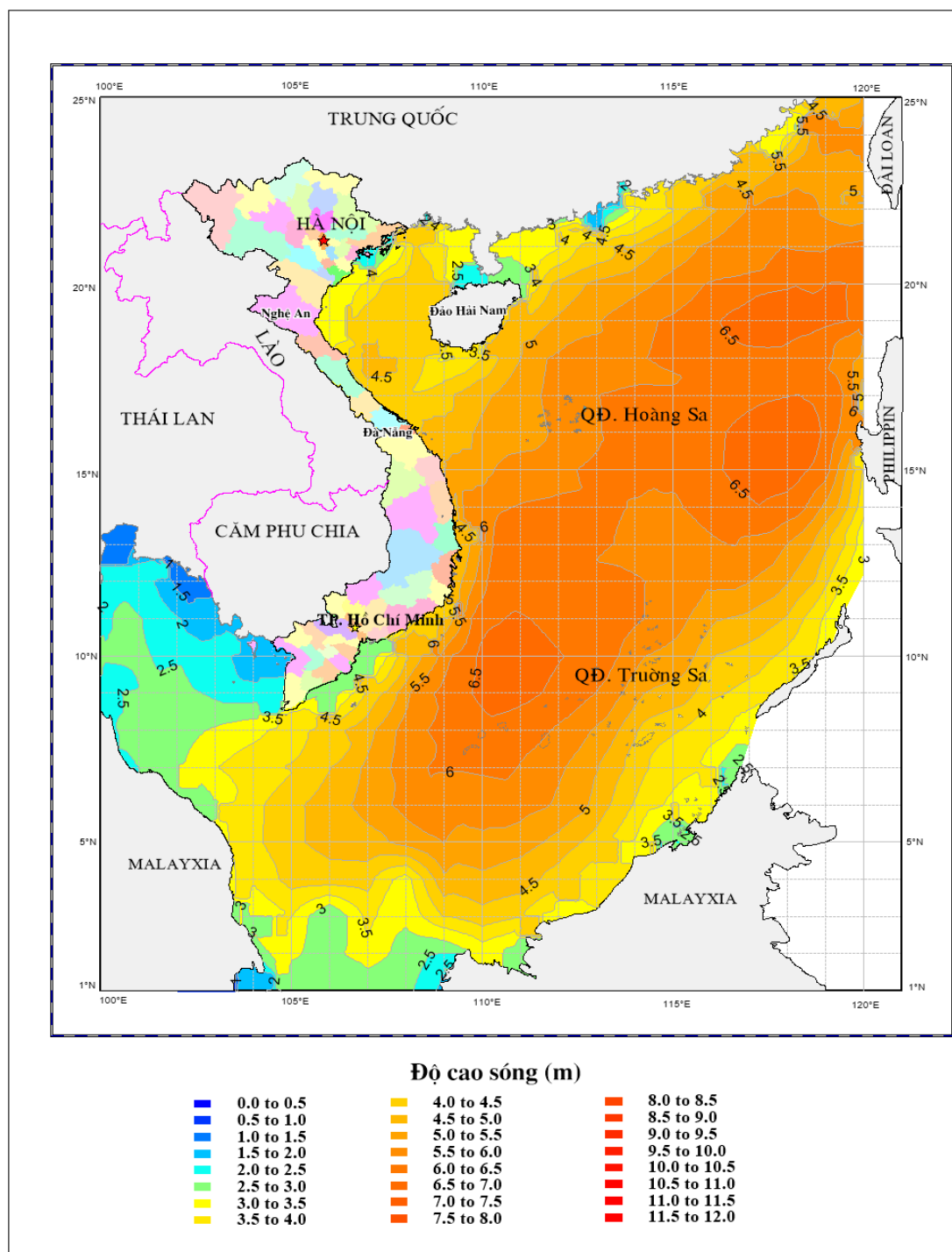
4.1.1. Sóng lớn trên khu vực Biển Đông

Thời kỳ gió mùa Đông Bắc thịnh hành (điển hình tháng 1), độ cao sóng cực đại trong khu vực giữa Biển Đông có giá trị lớn nhất lên tới 11 m. Độ cao sóng lớn nhất khu vực vịnh Bắc Bộ là 8 m trong khi độ cao sóng cực đại tại vịnh Thái Lan có giá trị là 4 m. Giá trị sóng cực đại giảm dần từ bắc xuống nam.

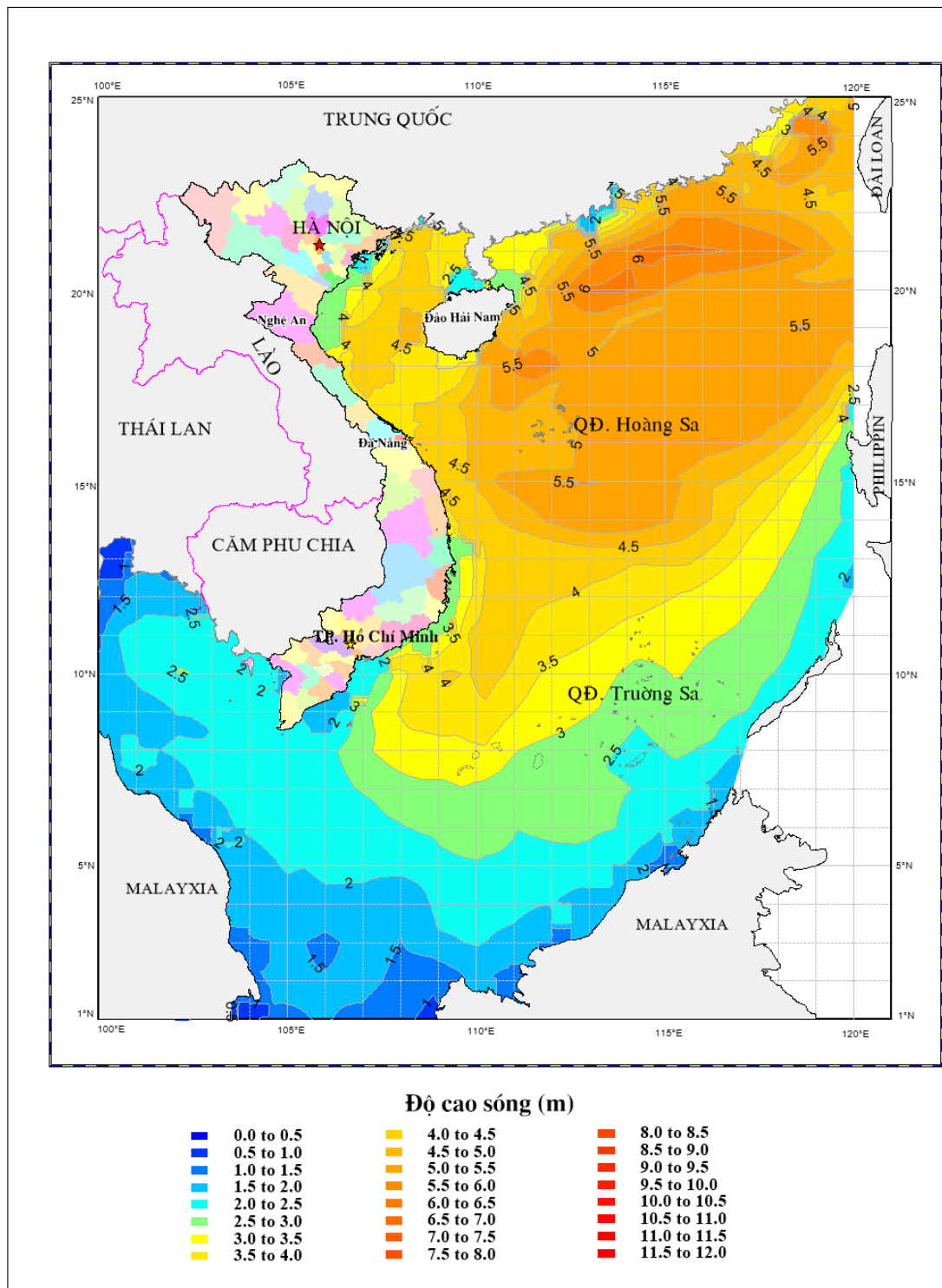
Thời kỳ chuyển tiếp giữa gió mùa Đông Bắc sang gió mùa Tây Nam (tháng 4) giá trị sóng cực đại trên toàn Biển Đông giảm so với thời kỳ gió mùa Đông Bắc. Khu vực đông bắc Biển Đông có giá trị sóng cực đại lớn nhất. Độ cao sóng cực đại tại khu vực đông bắc Biển Đông có giá trị 9 m. Độ cao sóng lớn nhất tại vịnh Bắc Bộ có giá trị 7 m. Tại vịnh Thái Lan độ cao sóng cực đại là 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) độ cao sóng cực đại tại khu vực đông bắc Biển Đông (gần eo Đài Loan và eo Luzon) có giá trị lớn nhất, đạt tới 12 m. Do thời kỳ này 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. Giá trị sóng cực đại giảm dần từ bắc xuống nam. Khu vực vịnh Bắc Bộ sóng lớn nhất đạt độ cao 8m trong khi khu vực vịnh Thái Lan sóng cực đại có giá trị 4 m. Khu vực Nam Biển Đông sóng cực đại có giá trị bé nhất với giá trị 3 m.

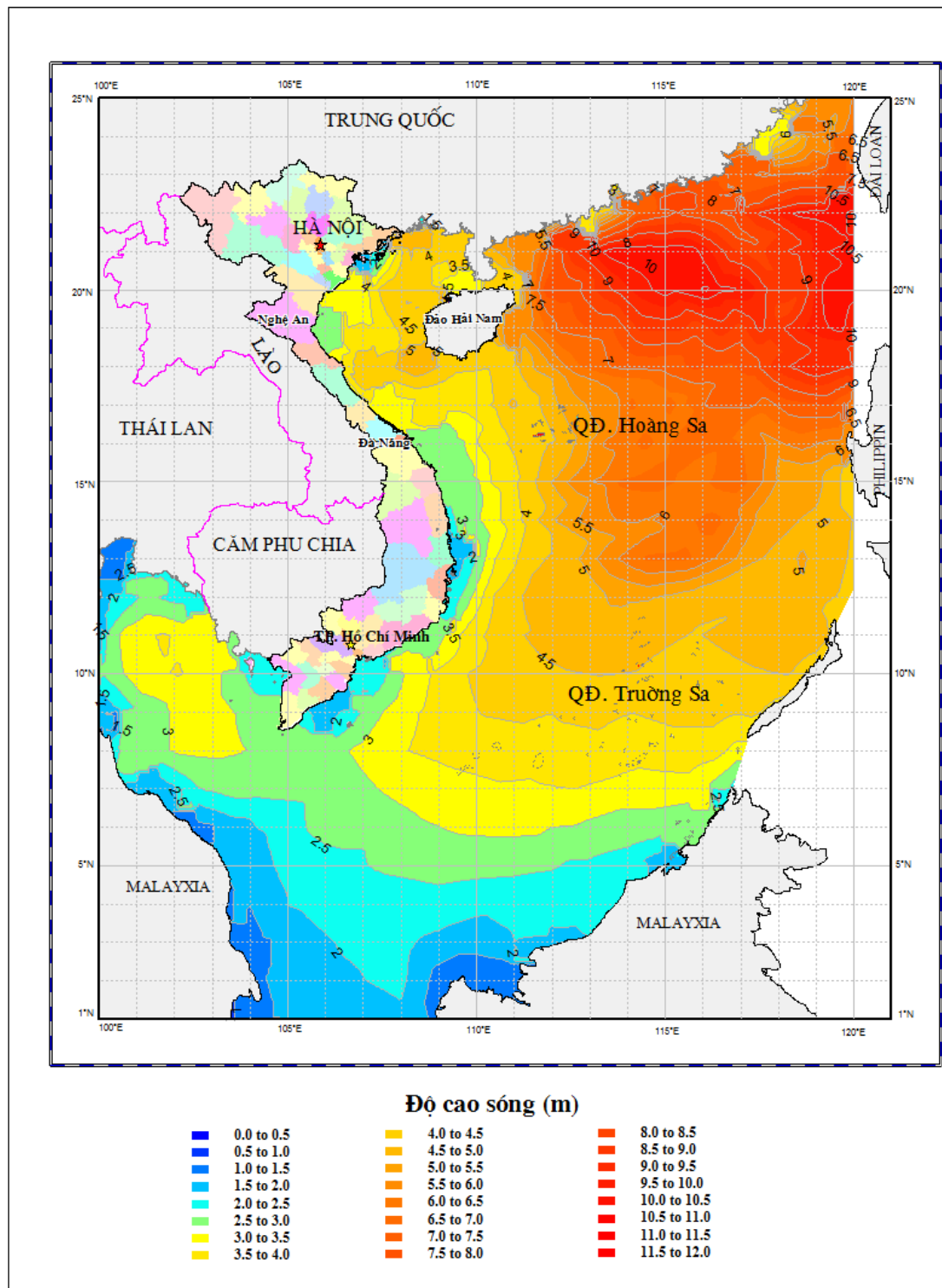
Thời kỳ chuyển tiếp từ gió mùa Tây Nam sang gió mùa Đông Bắc (tháng 10), độ cao sóng cực đại có giá trị tới 12 m mở rộng hầu hết toàn khu vực Biển Đông. Đây là thời kỳ các cơn bão mạnh ảnh hưởng với tần suất đáng kể. Tại vịnh Bắc Bộ độ cao sóng cực đại đạt tới 12 m. Trong khi đó vịnh Thái Lan sóng lớn nhất có giá trị 5 m. Khu vực phía Nam sóng cực đại chỉ là 3 m.



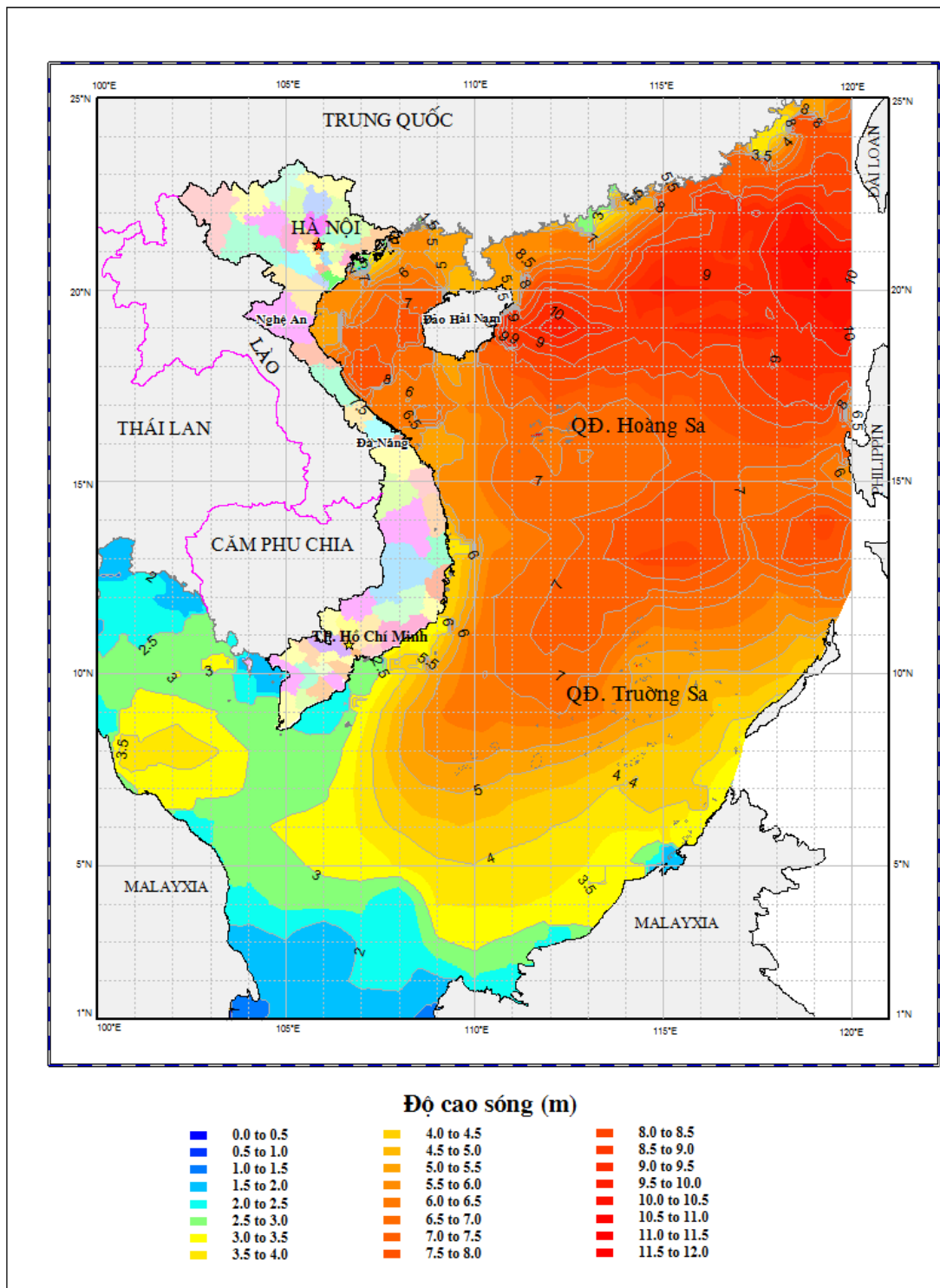
Hình 4.1: Trường sóng cực đại tháng 1 trên Biển Đông



Hình 4.2: Trường sóng cực đại tháng 4 trên Biển Đông



Hình 4.3: Trường sóng cực đại tháng 7 trên Biển Đông



Hình 4.4: Trường sóng cực đại tháng 10 trên Biển Đông

4.1.2. Bão, gió mạnh và các thiên tai khác 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.

Số liệu thu thập được trong 27 năm qua (1990-2016) cho thấy trên khu vực Biển Đông không có bất kỳ một cơn bão nào có nguồn gốc phát sinh tại Biển Đông hay di chuyển từ Tây Bắc Thái Bình Dương vào có cường độ trên cấp 15. 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 (95 Knots) đó là cơn bão số 1 (ChanChu, 2006) và cơn bão số 6 (Megi, 2010); cơn bão số 9 (RAI, 2021), tại trạm khí tượng hải văn Song Tử Tây đã quan trắc được gió mạnh cấp 14, giạt 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, bão số 9 luôn duy trì cường độ trên cấp 13 suốt 54 tiếng.

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 số bão ảnh hưởng nhiều nhất

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.

Ảnh hưởng của các thiên tai trên biển (bão, nước dâng, sóng lớn, động đất,...) tới các khu vực biển Việt Nam. Biển của Việt Nam được chia là 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 Bình Thuận đến Cà Mau, khu vực Bắc Biển Đông, Giữa Biển Đông, khu vực Nam Biển Đông.

Các khu vực này đều là những vùng thường xuyên xuất hiện thiên tai, tuy nhiên phân bố và ảnh hưởng của các loại hình thiên tai ở các khu vực là khác nhau.

(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. 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, giật 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, giật 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.

(2) 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. 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.

(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. 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.

(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. 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.

(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. 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.

(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 1996) 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.

(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. 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. 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. Theo tính toán khả năng xuất hiện bão mạnh siêu bão trên khu vực giữa Biển Đông có thể mạnh tới cấp 16-17. 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. 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. 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.

Nguy cơ gió mạnh trong bão đối với các vùng đất liền và vùng ven biển Việt Nam:

Vùng I (Đông Bắc): Nguy cơ trong tương lai, gió bão tại vùng này có thể đạt cấp 11 - 12, giạt trên cấp 13.

Vùng II (Tây Bắc): Nguy cơ trong tương lai, gió bão tại vùng này có thể đạt cấp 10 - 11, giạt trên cấp 13.

Vùng III (Quảng Ninh – Thanh Hóa): Nguy cơ trong tương lai, gió bão tại vùng này có thể đạt cấp 15 - 16, giạt trên cấp 17. Riêng khu vực ven biển Quảng Ninh - Hải Phòng, gió bão có thể đạt cấp 16, giạt trên cấp 17, tại các đảo như Bạch Long Vĩ, Cô Tô,... nguy cơ cấp gió bão và gió giạt trong bão mạnh nhất có thể mạnh hơn trong đất liền từ 1 - 2 cấp.

Vùng IV (Nghệ An – Thừa Thiên Huế): Nguy cơ trong tương lai, gió bão tại vùng này có thể đạt cấp 15 - 16, giạt trên cấp 17. Tại các đảo ven bờ như Cồn Cỏ, Hòn Ngư, gió bão mạnh nhất có thể mạnh hơn trong đất liền từ 1 - 2 cấp.

Vùng V (Đà Nẵng – Bình Định): Nguy cơ trong tương lai, gió bão tại vùng này có thể đạt cấp 14 - 15, giạt trên cấp 16.

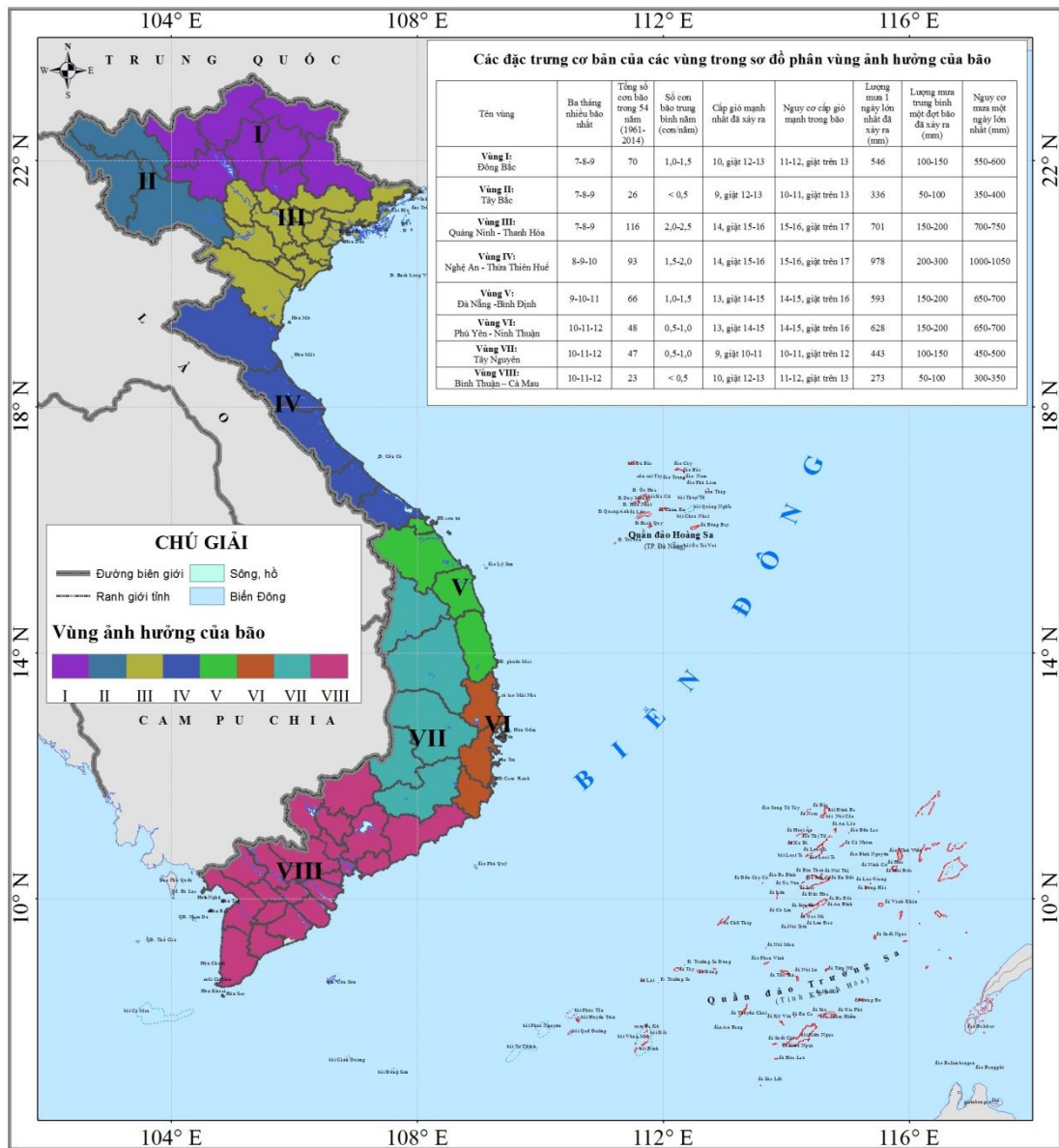
Vùng VI (Phú Yên – Ninh Thuận): Nguy cơ trong tương lai, gió bão tại vùng này có thể đạt cấp 14 - 15, giạt trên cấp 16.

Vùng VII (Tây Nguyên): Nguy cơ trong tương lai, gió bão tại vùng này có thể đạt cấp 10 - 11, giạt trên cấp 12.

Vùng VIII (Bình Thuận - Cà Mau - Kiên Giang): Nguy cơ trong tương lai, gió bão tại vùng này có thể đạt cấp 11 - 12, giạt trên cấp 13. Đối với các đảo ven bờ như Phú Quý, Côn Đảo nguy cơ cấp gió bão và gió giạt trong bão mạnh nhất có thể mạnh hơn trong đất liền từ 1-2 cấp.

Bảng 4.1: Nguy cơ gió mạnh trong bão

Vùng	Nguy cơ tốc độ gió mạnh nhất (Cấp gió Beaufort)
<i>Vùng I:</i> Đông Bắc	11-12, giạt trên 13
<i>Vùng II:</i> Tây Bắc	10-11, giạt trên 13
<i>Vùng III:</i> Quảng Ninh - Thanh Hóa	15-16, giạt trên 17
<i>Vùng IV:</i> Nghệ An - Thừa Thiên Huế	15-16, giạt trên 17
<i>Vùng V:</i> Đà Nẵng - Bình Định	14-15, giạt trên 16
<i>Vùng VI:</i> Phú Yên - Ninh Thuận	14-15, giạt trên 16
<i>Vùng VII:</i> Tây Nguyên	10-11, giạt trên 12
<i>Vùng VIII:</i> Bình Thuận - Cà Mau - Kiên Giang	11-12, giạt trên 13



Hình 4.5: Sơ đồ phân vùng ảnh hưởng của bão

4.1.3. Nguy cơ động đất

(1) Vùng động đất vịnh Bắc Bộ

Đây là vùng động đất nằm chủ yếu trong dải ven bờ vịnh Bắc Bộ thuộc lãnh hải Việt Nam. Các đứt gãy chính gây ra động đất trong vùng gần như vuông góc với đới đứt gãy sâu Sông Hồng và có phương Đông Bắc - Tây Nam, giới hạn bởi 2 đứt gãy Móng Cái - Cát Hải và Cô Tô - Bắc Hải. 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, Mmax có thể lên tới 7,0.

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

Tiếp theo vùng động đất tây bắc vịnh Bắc Bộ là vùng động đất ven bờ phía trái đứt gãy chạc ba. Các đứt gãy trong khu vực có phương chủ đạo Tây Bắc - Đông Nam và dọc theo dải ven bờ có những tâm động đất với năng lượng trung bình và yếu.

Dải động đất 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 tỏa.

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. Ảnh hưởng của các công trình khai thác năng lượng gió, sóng ngoài khơi tới môi trường và hoạt động kinh tế - xã hội

4.2.1. Ảnh hưởng của các công trình đến luồng hàng hải

Các hệ thống khai thác năng lượng biển chắc chắn sẽ hạn chế việc giao thông đi lại của tàu bè, thuyền đánh cá của ngư dân địa phương. Tuy nhiên khi quy hoạch xây dựng sẽ lựa chọn khu vực khai thác sao cho gây ảnh hưởng nhỏ nhất đến giao thông của các tàu thuyền trên biển. Các khu vực có mật độ đi lại ra vào cao như các cửa sông, lạch triều chắc chắn sẽ phải được loại trừ khi xây dựng trạm khai thác năng lượng [1].

4.2.2. Ảnh hưởng của các công trình đến các khu bảo tồn, khu vực cấm khai thác

a. Ảnh hưởng đến hệ sinh thái

Việc khai thác năng lượng gió có thể gây ảnh hưởng đến loài chim còn các thiết bị khai thác năng lượng sóng, dòng chảy sẽ ảnh hưởng đến loài cá, động vật có vú và động vật sinh sống tại đáy biển. Tuy nhiên, cho đến nay, những tác động này chưa được nghiên cứu chi tiết, cụ thể.

Một số tác động thấy rõ do việc lắp đặt và vận hành thiết bị chuyển đổi năng lượng biển gây ra: Mất môi trường sống do sự xáo trộn từ việc phát thải tiếng ồn của các thiết bị khai thác năng lượng biển và từ việc xây dựng và tàu bảo dưỡng các thiết bị khai thác. Sự xáo trộn trong suốt thời kỳ xây dựng được cho là nhất thời trong khi sự xáo trộn trong quá trình hoạt động của thiết bị chuyển đổi năng lượng biển và tàu bảo dưỡng lại là những ảnh hưởng lâu dài; Những loại thiết bị năng lượng biển khác nhau tạo ra tác động về tiếng ồn rất khác nhau; Có thể có một vài xáo trộn về nguồn thức ăn và hành vi quần xã sinh vật, nhưng tóm lại, những tác động này là không đáng kể; Tại Thụy Điển đã nghiên cứu và thấy rằng các hoạt động khoan thăm dò địa chất tại một trang trại khai thác năng lượng gió ngoài khơi ở Thụy Điển không làm mất sự yên tĩnh của quần thể hải cẩu trong khoảng cách bán kính hơn 2km; Âm thanh phát ra dưới trong lòng khối nước có thể ảnh hưởng đến hệ thống định vị của động vật, khiến chúng rất khó khăn để tìm kiếm thức ăn; Ảnh hưởng tiềm tàng từ việc phát ra âm thanh có tần số thấp và trường điện từ trong dây cáp có thể gây hại cho sinh vật biển. Các tính toán từ trường của cáp ngầm được đặt sâu dưới đáy biển 1 m đã chỉ ra rằng mức từ trường ở đáy biển phía

trên dây cáp sẽ nhỏ hơn từ trường của trái đất. Do đó, sẽ không có tác động nào xảy ra nếu dây cáp được chôn một cách phù hợp.

Cho đến nay, chỉ mới có một vài nghiên cứu về tác động từ những trang trại gió ngoài khơi lên các loài cá, và vẫn chưa có một nghiên cứu nào được thực hiện liên quan tới năng lượng sóng và dòng chảy. Dựa vào những nghiên cứu về các trang trại gió ngoài khơi, ta có thể dự đoán một số tác động của việc xây dựng và vận hành thiết bị chuyển đổi năng lượng sóng tới các loài cá: Một số tác động tích cực lên nguồn cá có thể được dự kiến trong phạm vi thiết bị chuyển đổi năng lượng biển thành điện năng là vừa ngăn cấm đánh bắt cá, với các thiết bị đánh bắt bằng lưới vừa nâng cao môi trường sống như là khu vực sinh sản và nghỉ ngơi cho các loài thủy sản. Việc ngăn chặn đánh bắt cá trong một vài trường hợp sẽ dẫn tới xung đột, dự kiến trong giai đoạn ngắn, với công nghiệp đánh bắt cá, đó là “xung đột về quyền lợi”; Nền đáy của khu vực khai thác năng lượng biển có thể trở thành các rặng đá ngầm nhân tạo trong hệ sinh thái địa phương. Điều này sẽ thu hút cá đông hơn; Ảnh hưởng của sự phát ra tiếng ồn và dao động lên đời sống của cá, chủ yếu là trong thời kì xây dựng, có thể dẫn tới mất môi trường sống. Tàu bảo dưỡng cũng có thể gây tác động tiêu cực, nhưng khi so sánh với tác động từ các thuyền đánh cá và các tàu vận tải đi lại, nó được xem như là tác động thứ yếu; Thay đổi trong trầm tích và độ đục của nước có thể tác động đến cá và ấu trùng cá. Đây là tác động tạm thời chủ yếu trong suốt quá trình xây dựng. Những ảnh hưởng này có thể lớn hơn trong khu vực nuôi cá hoặc vùng nước nông, nơi mà các loài cá chưa trưởng thành có xu hướng tới sống, vì vậy cần một vài chú ý khi xây dựng trong những vùng này, như là tránh xa mùa sinh sản.

Đối với các loại cáp dẫn điện vào bờ để nối với mạng lưới điện quốc gia, một số hướng dẫn về các mức tác động tiềm tàng có thể tham khảo từ việc đặt đường ống khí đốt tự nhiên. Lắp đặt đường ống đó gây ra một hành lang nhiễu khoảng 5 m, với các hiệu ứng từ ảnh hưởng đến các sinh vật trong khoảng 50 m. Tuy nhiên, đây được coi là tác động tạm thời vì khu vực này sẽ nhanh chóng được tái ổn định nền đáy một cách tự nhiên sau khi việc xây dựng hoàn tất. Vùng từ trường và điện từ xung quanh dây cáp có thể ảnh hưởng tới loài cá và sự sinh sản của cá, nhưng chưa có kết quả nghiên cứu nào được công bố về những tác động này, mặc dù việc chôn cáp ở đáy biển đã được tiến hành trong khoảng 80 năm qua. Vì vậy có thể xem như trong thực tế các loại cáp biển không tác động hoặc chỉ tác động rất ít tới đời sống sinh vật biển.

b. Ảnh hưởng đến trầm tích và sinh vật đáy biển

Nói chung những xáo trộn của đáy biển, và có liên quan tới cộng đồng sinh vật đáy sẽ chủ yếu diễn ra trong giai đoạn xây dựng (và tháo dỡ), nhưng đối với

hầu hết các loại thiết bị chuyển đổi năng lượng sóng và thủy triều, điều này sẽ được giới hạn theo mục đích và thời gian, ví dụ: triển khai các hệ thống neo, việc hạ chìm và các bộ gia cố thiết bị, việc lắp đặt dây cáp.

Tất cả các hoạt động xây dựng ngoài khơi sẽ ảnh hưởng cục bộ đến độ trong của nước và trầm tích đáy. Hoạt động khoan, đào rãnh, đóng cọc hoặc nạo vét trong suốt quá trình làm móng, và lắp đặt dây cáp sẽ làm tăng chất rắn lơ lửng, có thể ảnh hưởng tới sinh vật đáy. Tương tự, việc phục hồi các mương xung quanh dây cáp hoặc nền móng dẫn tới việc phá hủy hoàn toàn môi trường sống hiện tại xung quanh khoảng vài mét. Sinh vật đáy rất dễ bị tổn thương, dù chỉ là những tác động nhỏ.

Một số tác động dự kiến:

- Mất môi trường sống và các cá thể sinh vật do hoạt động xây dựng. Tuy nhiên, sự xáo trộn đáy biển do quá trình lắng cặn trong suốt thời gian xây dựng chỉ là tạm thời.

- Tác động của dây cáp, tàu bảo dưỡng, bức xạ điện từ và tiếng động có thể làm giảm phần nào đó sự phong phú và mật độ của sinh vật đáy.

- Phần đáy được gắn kết của kết cấu xây dựng có xu hướng hoạt động như rặng đá ngầm tự nhiên và thu hút các loài sinh vật vào, tuy nhiên các loại bề mặt cứng nhân tạo này có thể gây ra một số thay đổi cấu trúc sinh học liên quan tới sinh vật đáy và chuỗi thức ăn của chúng.

- Sự vắng mặt của việc đánh bắt cá và tàu thuyền (trừ tàu bảo dưỡng) sẽ có tác động tích cực cục bộ lên quần xã sinh vật và đáy biển.

c. Ảnh hưởng đến chim biển

Chim biển chịu ảnh hưởng lớn nhất đối với năng lượng gió, thì dường như ít xảy ra hơn đối với năng lượng sóng thủy triều, dòng chảy. Những thiết bị chuyển đổi năng lượng này thông thường không cao vượt khỏi mực nước biển nhiều, và không có roto chuyển động trong không khí, nên những tác động đã được nhận biết thực sự và công khai được cho rằng là khá thấp. Do vậy nên tránh đặt những dự án khai thác năng lượng biển (đặc biệt là năng lượng gió) lớn trong vùng lân cận của khu vực chim quan trọng. Nếu đánh bắt cá, như dự kiến là bị cấm trong các khu vực khai thác năng lượng sóng, thủy triều thì diện tích của khu vực này có thể đáp ứng như là vùng kiếm ăn của loài chim, qua đó cải thiện điều kiện nuôi dưỡng và giảm tối đa việc đuổi các loài chim ra khỏi vùng cư trú và kiếm ăn truyền thống của chúng. Lý do quan trọng là những thiết bị năng lượng sóng được thiết kế theo cách mà không gây ra các tác hại vật lý đối với động vật. Điều đó hoàn toàn phù hợp để loài chim có thể sử dụng những thiết bị này để làm tổ và rửa lông nếu hình dạng cấu trúc cho phép làm điều đó.

d. Ảnh hưởng tới cảnh quan, tiếng ồn

Tác động về tiếng ồn và cảnh quan từ các thiết bị được đặt ở bờ biển là những tác động môi trường tiềm tàng nhất. Một số những tác động tiềm tàng khác cũng đã được nhận biết, nhưng nhìn chung chúng được kết luận là có thể giải quyết được bằng công nghệ, tuy nhiên điều này sẽ khiến cho giá thành tăng.

- Tác động lên quá trình thủy động lực học ven bờ:

Thiết bị chuyên đổi năng lượng biển có những tác động khác nhau lên chế độ sóng, dòng chảy như xáo trộn thẳng đứng, sự lan truyền thủy triều và các dòng chảy ven bờ. Ảnh hưởng dễ nhận thấy nhất là làm thay đổi chế độ sóng. Sự giảm năng lượng sóng tới có thể ảnh hưởng đến điều kiện tự nhiên của bờ biển, bãi triều và các quần xã động thực vật ở đó.

Cũng có những tác động tích cực có thể như việc làm giảm mức độ xói mòn bờ biển nhờ sự phản xạ và giảm năng lượng sóng, dòng chảy do các thiết bị khai thác năng lượng tuy nhiên, tác động này được dự kiến là mang tính cục bộ.

- Ảnh hưởng đến cảnh quan:

Khu vực bờ biển thường được xem là quan trọng cho mục đích vui chơi, giải trí, tạo cảnh quan và có ý nghĩa lớn trong vấn đề chính trị, vì thế đối với các thiết bị khai thác năng lượng biển xây dựng trên bờ và gần bờ cần được đánh giá sự ảnh hưởng đến cảnh quan đặc biệt là các cánh quạt gió vì thường đây là các tháp cao ảnh hưởng đến tầm nhìn và thậm chí ảnh hưởng đến sự đi lại ra vào cảng của tàu biển.

e. Ảnh hưởng trong quá trình lắp đặt và tháo dỡ công trình

Việc tháo dỡ cũng sẽ gây tác động xấu đến môi trường và sinh thái như việc lắp đặt các thiết bị khai thác năng lượng biển. Những yêu cầu liên quan tới tháo dỡ không chỉ làm tăng giá thành, mà việc di dời những hệ thống lắp đặt ngoài khơi cũng sẽ làm xáo trộn biển, và do đó việc tháo dỡ không nên diễn ra trong thời gian nhạy cảm để giảm thiểu tác động lên môi trường thông qua tiếng ồn, độ rung, và xáo trộn trầm tích đáy. Tuy nhiên, những tác động này được cho là tạm thời, và môi trường sẽ tự khôi phục trở lại như trước qua một thời gian nhất định.

Ảnh hưởng do những sự cố trong khai thác năng lượng biển: Ảnh hưởng môi trường do các sự cố được cho là rất nghiêm trọng như đối với trường hợp va chạm tàu chở dầu với các thiết bị khai thác năng lượng biển, trong trường hợp xấu nhất có thể gây lên sự phá hủy nghiêm môi trường khu vực.

Sự phá hủy dây cáp ngầm có thể dẫn tới sự giải phóng dầu cách ly trong dây cáp, nếu sử dụng loại cáp này. Mặc dù, đây là một lượng khá nhỏ, và mặc dù rủi ro của tai nạn này được tính toán là rất thấp (chỉ xảy ra 32.000 năm 1 lần) nhưng cũng

cần phải được tính trước. Do đó những biện pháp giảm thiểu sự cố này như là bảo vệ dây cáp (bằng cách đào rãnh nếu có thể) và cấm đánh cá trong khu vực của trang trại và xung quanh dây cáp cần phải được áp dụng. Hơn nữa, áp suất bên trong dây cáp được theo dõi liên tục để có giải pháp khắc phục ngay lập tức trong trường hợp rò rỉ [1].

4.2.3. Ảnh hưởng của các công trình đến các mỏ khai thác dầu khí

Hiện nay, tại Việt Nam có một số mỏ khai thác dầu khí lớn [7], cụ thể: Mỏ Kèn Bầu được phát hiện và bắt đầu khảo sát từ giữa năm 2019. Mỏ Kèn Bầu – được cho là lớn nhất trong lịch sử của ngành dầu khí trên Biển Đông. Tiềm năng trữ lượng khí rất lớn, ước tính từ 7 đến 9 nghìn tỷ feet khối khí tự nhiên (Tcf), tương đương 200 đến 255 tỷ mét khối khí tại chỗ và khoảng từ 400 đến 500 triệu thùng khí ngưng tụ (condensate). Mỏ Kèn Bầu nằm trong Lô Dầu khí 114, hiện do công ty điều hành dầu khí ENI Vietnam BV làm nhà điều hành thông qua Hợp đồng phân chia sản phẩm (PSC). Theo dự kiến, Mỏ Kèn Bầu có thể đưa vào phát triển khai thác từ năm 2028. Vị trí mỏ này gần bờ nhất so với các mỏ dầu khí khác của Việt Nam, nên khai thác sẽ thuận lợi, giá thành sẽ thấp hơn do giảm được chi phí đường ống và công nghệ tách và xử lý khí. Ngoài ra, về mặt pháp lý, Mỏ Kèn Bầu cũng không lo ngại có sự tranh chấp chủ quyền đối với các nước khác. Ngoài ra là các Mỏ Bạch Hổ, Cụm mỏ Sư tử Đen, Sư Tử Vàng, Sư Tử Trắng và Sư Tử Nâu, Mỏ Tê Giác Trắng, Mỏ Lan Tây, Mỏ Rạng Đông, Mỏ Hải Thạch – Mộc Tinh, Mỏ Rồng Đồi và Rồng Đồi Tây.... Các mỏ này chiếm diện tích sử dụng biển không lớn. Tuy nhiên, để xây quy hoạch và xây dựng các khu vực phục vụ cho việc khai thác năng lượng gió, sóng cần loại trừ các khu vực này theo đúng quy định của Luật Dầu khí và các khu vực trên các bể dầu khí ngầm, nơi có tiềm năng khai thác dầu khí lớn.

4.2.4. Ảnh hưởng của các công trình đến cáp ngầm biển

Các công trình cáp ngầm ở biển bao gồm cáp truyền tín hiệu viễn thông, cáp ngầm điện ra các đảo, ... Các công trình cáp ngầm không chiếm dụng diện tích sử dụng biển lớn cũng như việc ảnh hưởng của các công trình khác. Vì vậy các dự án khai thác năng lượng gió, sóng chỉ cần tập trung chú trọng về việc an toàn trong quá trình thi công xây dựng, lắp đặt cũng như tháo dỡ công trình. Trong quá trình khai thác, hầu như không có ảnh hưởng gì đến các công trình cáp ngầm dưới biển.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. Kết luận

a. *Tiềm năng năng lượng gió ở các vùng biển Việt Nam*

Từ kết quả tính toán tiềm năng năng lượng gió từ số liệu tái phân tích cho thấy phân bố gió và tiềm năng năng lượng gió ở mực độ cao 100 m trên các vùng ven biển Việt Nam như sau:

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. Cụ thể:

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.

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.

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.

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).

b. Tiềm năng năng lượng sóng ở các vùng biển Việt Nam

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) và thấp hơn dải ven biển Bắc Bộ và Nam Bộ. Hai khu vực ven bờ vịnh Bắc Bộ và vịnh Thái Lan có tiềm năng năng lượng sóng thấp nhất.

2. Kiến nghị

Qua các kết quả phân tích ở trên có thể nhận thấy nhiều khu vực biển tại Việt Nam có tiềm năng năng lượng gió và sóng cao, chưa được khai thác. Quan điểm,

chủ trương của Đảng, Nhà nước Việt Nam sẽ là hướng tới sử dụng năng lượng tái tạo, thay thế nguồn năng lượng hiện có đang cạn kiệt. Ngành Khí tượng Thủy văn đang sở hữu công nghệ dự báo khí tượng thủy văn hiện đại và năng lực tính toán cao ngang hàng các nước trong khu vực nên có thể đưa ra những dự báo dài hạn có độ tin cậy. Bên cạnh đó, trong thời gian tới, dự báo khí tượng thủy văn sẽ hướng dần tới dự báo xác suất (tiềm năng ảnh hưởng) và dự báo tác động đến một đối tượng, đơn vị vận hành cụ thể, do đó với việc phát triển các sản phẩm dự báo tác động cho các nhà máy điện nói chung và cho nhà máy khai thác năng lượng tái tạo nói riêng sẽ là hướng đi hết sức thiết thực, mang lại lợi ích phục vụ trực tiếp xã hội. Các dữ liệu khí tượng thủy văn bao gồm mô hình dự báo và quan trắc sẽ cho phép kết hợp với các cơ quan liên ngành để xây dựng những bài toán hiệu chỉnh, qua đó có những kết quả dự báo, đánh giá tiềm năng năng lượng sóng, gió một cách chính xác và tin cậy hơn. Mặt khác, khi công nghệ mô hình số trị khí tượng, hải dương được phát triển, việc tái xây dựng các bản đồ tiềm năng về gió, sóng ở mức độ chi tiết cao hơn là hoàn toàn khả thi, khi đó sẽ cho phép đánh giá được các khu vực có khả năng khai thác mới với các điều kiện phù hợp hơn, ví dụ mức độ ổn định của năng lượng thu được, mức độ ảnh hưởng của các điều kiện thiên tai đến địa điểm khai thác.

Tuy nhiên, việc chi tiết hóa dự báo sóng và gió đòi hỏi những sự phát triển về năng lực tính toán và các dữ liệu quan trắc phù hợp để hiệu chỉnh có được các sản phẩm dự báo tin cậy, đáp ứng được nhu cầu của nhà máy khai thác năng lượng tái tạo và các cơ quan vận hành điều độ điện cho các nhà máy năng lượng tái tạo. 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) và trên cao (từ vài km trở lên), 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 (nhằm đánh giá tiềm năng) và quan trắc liên tục (phục vụ vận hành thời gian thực).

Với những lý do trên, để phát triển năng lượng tái tạo ngoài khơi, các nhiệm vụ cần triển khai trong thời gian tới, bao gồm:

a. Tổ chức điều tra, khảo sát, quan trắc bổ sung điều kiện tự nhiên các vùng biển:

- Điều tra khảo sát, xây dựng trạm đo, thiết bị đo hiện đại, quan trắc các yếu tố gió, bức xạ mặt trời (tháp đo gió, bóng thám không quan trắc gió, thiết bị không người lái...). Dự kiến tại các trạm đảo: Xây dựng tháp đo gió tại các đảo Bạch Long Vĩ, Cô Tô, Côn Cỏ, Lý Sơn, Phú Quý, Côn Đảo, Thổ Chu, Phú Quốc, Song Tử Tây, Trường Sa.

- Nâng cấp thiết bị đo sóng hiện nay tại các trạm hải văn bằng các máy đo tự động sẽ thu thập được số liệu liên tục trong ngày với tần suất đo nhiều hơn và đầy đủ các tham số độ cao, chu kỳ và hướng.

- Tiếp tục duy trì và lắp đặt thêm các trạm radar biển dọc bờ biển Việt Nam để có thể đo được các yếu tố sóng, dòng chảy trên toàn dải ven bờ.

- Đối với vùng biển ngoài khơi không có đảo như ngoài khơi Nam Trung Bộ cần sử dụng bóng thám không, thiết bị không người lái hoặc các trạm phao nổi mang các thiết bị đo cấu trúc thẳng đứng của khí quyển (LIDAR).

b. Ứng dụng công nghệ mô hình số trị trong việc tái mô phỏng và đánh giá tiềm năng năng lượng gió chi tiết theo không gian

- Tính toán tiềm năng từ kết quả quan trắc, mô phỏng năng lượng gió, sóng (từ mô hình động lực khí tượng, hải văn độ phân giải cao) kết hợp hiệu chỉnh với dữ liệu quan trắc, vệ tinh và các nguồn dữ liệu khác cho các vùng biển, đảo Việt Nam với độ chi tiết theo không gian ngang từ 2-3 km.

- Xây dựng bộ bản đồ tiềm năng gió (ở các độ cao từ 60-200 m) và tiềm năng sóng cho các vùng biển Việt Nam.

- Đánh giá khả năng phát điện bằng năng lượng gió, sóng cho các vùng biển Việt Nam.

- Mở rộng nghiên cứu, đánh giá các tiềm năng năng lượng tái tạo khác trên biển như năng lượng thủy triều, dòng chảy...

c. Giám sát, dự báo năng lượng gió, sóng thời gian thực, cảnh báo thiên tai, dự báo tác động để phục vụ công tác sản xuất năng lượng tái tạo

- 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 để 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 để phục vụ công tác sản xuất năng lượng tái tạo.

d. Nghiên cứu, đánh giá, dự báo chi tiết tác động thiên tai, môi trường biển tới khả năng xây dựng và khai thác của các công trình điện gió, sóng ngoài khơi.

- Tác động của các thiên tai khí tượng thủy văn, động đất tới xây dựng và khai thác của các công trình điện gió, sóng tại từng khu vực.

- Tác động của môi trường, địa chất, các yếu tố động lực biển tới xây dựng và khai thác của các công trình điện gió, sóng ngoài khơi tại từng khu vực.

e. Nghiên cứu, đánh giá, dự báo các tác động của các công trình điện gió, sóng ngoài khơi đến môi trường và các hoạt động kinh tế - xã hội.

- Tác động của công trình điện gió, sóng đến môi trường khu vực.

- Tác động của công trình điện gió, sóng đến hoạt động kinh tế - xã hội, an ninh và an toàn hàng hải tại khu vực.

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. 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.
5. Lê Văn Lưu và cộng sự (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.
6. Lê Văn Lưu và cộng sự (2002), Profin tốc độ gió theo chiều cao, trong lớp khí quyển sát đất, khu vực phức tạp Hoà- Bình Định, Tạp chí các khoa học về trái đất, 24(2), 233-238.
7. Lê Văn Lưu và cộng sự (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.
8. Lương Phương Hậu (1984). Khai thác, sử dụng năng lượng sóng biển ở nước ta. Báo Nhân dân, số 11076, số ra ngày 28 tháng 10 năm 1984.
9. Ngô Nam Thịnh, Đỗ Vĩnh Nguyên, Lê Thị Phụng, Nguyễn Thị Bảy (2021). Nghiên cứu xác định năng lượng sóng biển khu vực Nam Trung Bộ. Tạp chí Khí tượng Thủy văn. Số 722, 58–67.
10. Nguyễn Hữu Nhật (2002). Nghiên cứu sử dụng năng lượng sóng biển làm nguồn chiếu sáng phao tín hiệu hoạt động ngoài khơi biển Việt Nam. Báo cáo tổng kết đề tài cấp Bộ, Viện Công nghệ GTVT, Bộ GTVT, Hà Nội.
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 Thế Tường (2006), Báo cáo chuyên đề Phân tích thống kê và chỉnh lý số liệu quan trắc tốc độ gió cho mục đích tính năng lượng gió thuộc Đề tài nghiên cứu Xây dựng tập bản đồ phân bố tiềm năng năng lượng gió và bức xạ mặt trời vùng duyên hải và một số đảo gần bờ của Việt Nam, Viện Địa lý - Hội Khoa học kỹ thuật biển, Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam, Hà Nội.
15. Nguyễn Thị Kiều Duyên (2009). Tính toán tiềm năng năng lượng sóng vùng biển khơi và ven bờ Việt Nam. Luận văn thạc sĩ khoa học. Trường Đại học Khoa học tự nhiên. Hà Nội.

16. 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 ENEREX-PRO Việt Nam, 2010.
17. 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.
18. 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.
19. Phan Thanh Tùng, Vũ Chi Mai và Angelika Wasielke, 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
20. 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.
21. Tạ Văn Đa (2007). Đánh giá khả năng khai thác năng lượng gió trên lãnh thổ Việt Nam.
22. Trần Đức Trứ, Lê Đức Dũng, Nguyễn Hoàng Anh, Đỗ Thị Thu Hà. Nghiên cứu, đánh giá tiềm năng năng lượng sóng vùng ven biển khu vực Hải Phòng. Tạp chí Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường. Số 66.
23. Trần Thanh Tùng và Lê Đức Dũng (2012). Nghiên cứu xác định năng lượng sóng ven bờ cho dải ven biển miền trung Việt Nam. Tạp chí Khoa học kỹ thuật thủy lợi và môi trường. Số 39, 46-53.
24. 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.
25. Trần Trí Năng, Lê Khắc Hoàng Lan, Nguyễn Tân Huyền, Trương Trà Hương, Phạm Thanh Tuấn, Nguyễn Xuân Cường, Phạm Thị Hồng, Bùi Mỹ Duyên, Triển vọng phát triển nguồn điện gió tại Việt Nam.
26. Trần Việt Liễn (2007). Tiềm năng năng lượng gió ở Việt Nam. Hội thảo Quốc gia về KTTV và MT, 2007.
27. Trần Việt Liễn, Bùi Thị Tân (1998). Tiềm năng năng lượng gió huyện đảo Lý Sơn. Hà Nội, 1998.
28. Vũ Đan Chinh, Mai Hồng Quân (2011), “Lựa chọn giải pháp kết cấu đỡ turbine phát điện sức gió xây dựng ở ven biển Việt Nam”, Tuyển tập báo cáo Hội nghị Khoa học và Công nghệ Biển toàn quốc lần thứ V, tr. 61 - 67.
29. Lê Đức Đạt, Dur Văn Toán và nnk, Năng lượng sóng biển trên thế giới và đề xuất nghiên cứu phát triển đối với các vùng biển Việt Nam, Tạp chí Khoa học Biển đổi khí hậu, số 2 – tháng 6/2017.

Tiếng Anh

30. 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).
31. Abdul R. Beig, S.M. Muyeen, (2016). Electric Renewable Energy Systems.
32. ABPmer, 2008 Atlas of UK Marine Renewable Energy Resource: Atlas Pages. The Met Office Proudman Oceanographic Laboratory

33. Albani, A., and 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.
34. 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.
35. Argüeso, D., and S. Businger, 2018: Wind power characteristics of Oahu, Hawaii. *Renewable Energy*, 128, 324–336.
36. Azad, A., Rasul, M. and Yusaf, T. (2014). Statistical Diagnosis of the Best Weibull Methods for Wind Power Assessment for Agricultural Applications. *Energies*, 7, 3056-3085, doi:10.3390/en7053056.
37. 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.
38. 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
39. 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.
40. Chen, F., and J. Dudhia, 2001: Coupling an advanced land surface hydrology model with the Penn State-NCAR MM5 modelling system. Part II: Preliminary model validation. *Mon.*
41. 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.
42. D. Elliott and M. Schwartz, 2006. Wind Resource Mapping for United States Offshore Areas. Presented at WindPower 2006 Conference
43. 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
44. D. Elliott, M. Schwartz, G. Scott, S. Haymes, D. Heimiller, R. George. 2002. Wind Energy Resource Atlas of Southeast China. WF981020 and DO401020
45. D. Elliott, M. Schwartz, R. George, S. Haymes, D. Heimiller, G. Scott, 2001. Wind Energy Resource Atlas of the Philippines. NREL/TP-500-26129.
46. David Milborrow, 2007. The Potential of Offshore Wind. The European Wind Atlas. <http://www.britishwindenergy.co.uk/site-map.html>
47. 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.
48. 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.

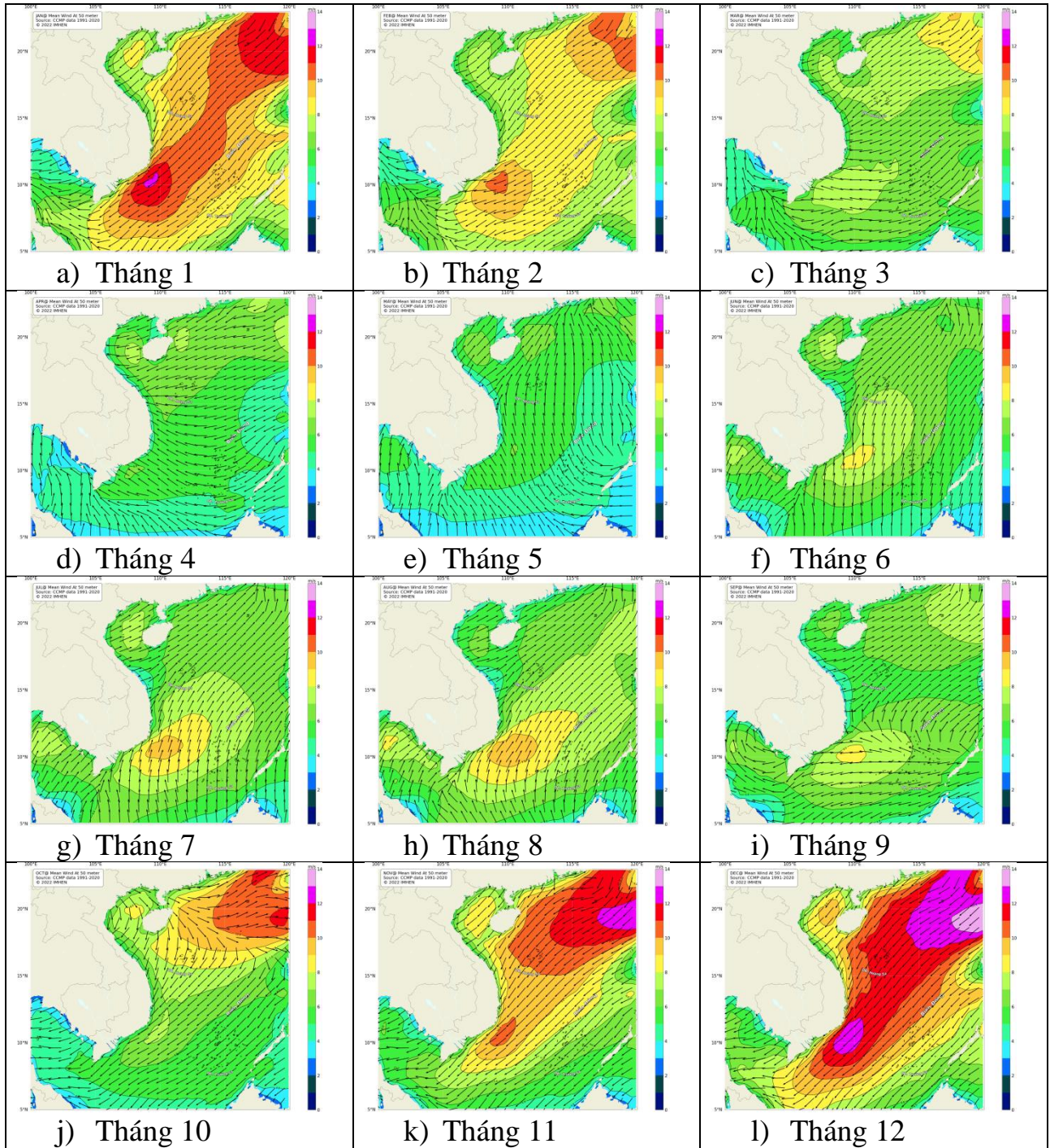
49. Doan, V. Q., V. N. Dinh, H. Kusaka, T. Cong, A. Khan, D. V. Toan, and N. D. Duc, 2019: Usability and challenges of offshore wind energy in Vietnam revealed by the regional climate model simulation. SOLA, 15, 113–118, doi:10.2151/sola.2019-021
50. DTU Library, 2022: <https://orbit.dtu.dk/>
51. DTU Wind Energy, 2022: <https://www.wasp.dk/waspcfd>
52. EMD International, 2022: <https://www.emd-international.com/windpro/>
53. Environment and Climate Change Canada's Wind Atlas, 2022: <http://www.windatlas.dk/Home/News.html>
54. 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.
55. 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.
56. 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>.
57. 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.
58. 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).
59. Global Wind Atlas, 2022: <https://globalwindatlas.info/>
60. Guo, Z., and X. Xiao, 2014: Wind power assessment based on a WRF wind simulation with developed power curve modelling methods. *Abstract and Applied Analysis*, 2014, 1–15.
61. 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.
62. 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.
63. Hennessey, J., 1977: Some aspects of wind power statistics. *J. Appl. Meteor.*, 16, 119–128.
64. Hiep Van Nguyen, Pham Xuan Thanh, Nguyen Duc Nam, Nguyen Xuan Anh, Pham Le Khuong, Hoang Hai Son, Nguyen Tien Manh, Pham Chi Cong, "Observation and Simulation of Wind Speed and Wind Power Density over Bac Lieu Region", *Advances in Meteorology*, vol. 2021, Article ID 8823940, 17 pages, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/8823940>.

65. Hong, S., and J. Lim, 2006: The WRF single-moment 6-class microphysics scheme (WSM6). *J. Korean Meteor. Soc.*, 42,129–151.
66. 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.
67. 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.
68. International Renewable Energy Agency (IRENA), 2021: Renewable energy statistics 2021. <https://irena.org/publications/2021/Aug/Renewable-energy-statistics-2021>
69. 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.
70. 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.
71. 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.
72. Jiang, B., Wu, G., Ding, J., Ma, C., Fang, Y., & Wang, X. (2019). Assessment of the wave energy resource in the South China Sea. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Maritime Engineering* 172(1):23–33.
73. Kain, J. S., 2004: The Kain-Fritsch convective parameterization: an update. *J. Appl. Meteor.*, 43, 170–181.
74. 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>.
75. Koplitz, S. N., D. J. Jacob, M. P. Sulprizio, L. Myllyvirta, and C.Reid, 2017: Burden of disease from rising coal-fired power plant emissions in Southeast Asia. *Environ. Sci. Technol.*, 51, 1467–1476, doi:10.1021/acs.est.6b03731.
76. Lin, G., Shao, L. T., Zheng, C. W., Chen, X. B., Zeng, L. F., Liu, Z. H., & Shi, W. L. (2017). Assessment of wave energy in the South China sea based on GIS technology. *Advances in Meteorology*, 2017, Article ID 1372578.
77. 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*
78. Massachusetts Clean Energy Center, 2022: <https://www.masscec.com/offshore-wind>
79. 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.
80. 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*.

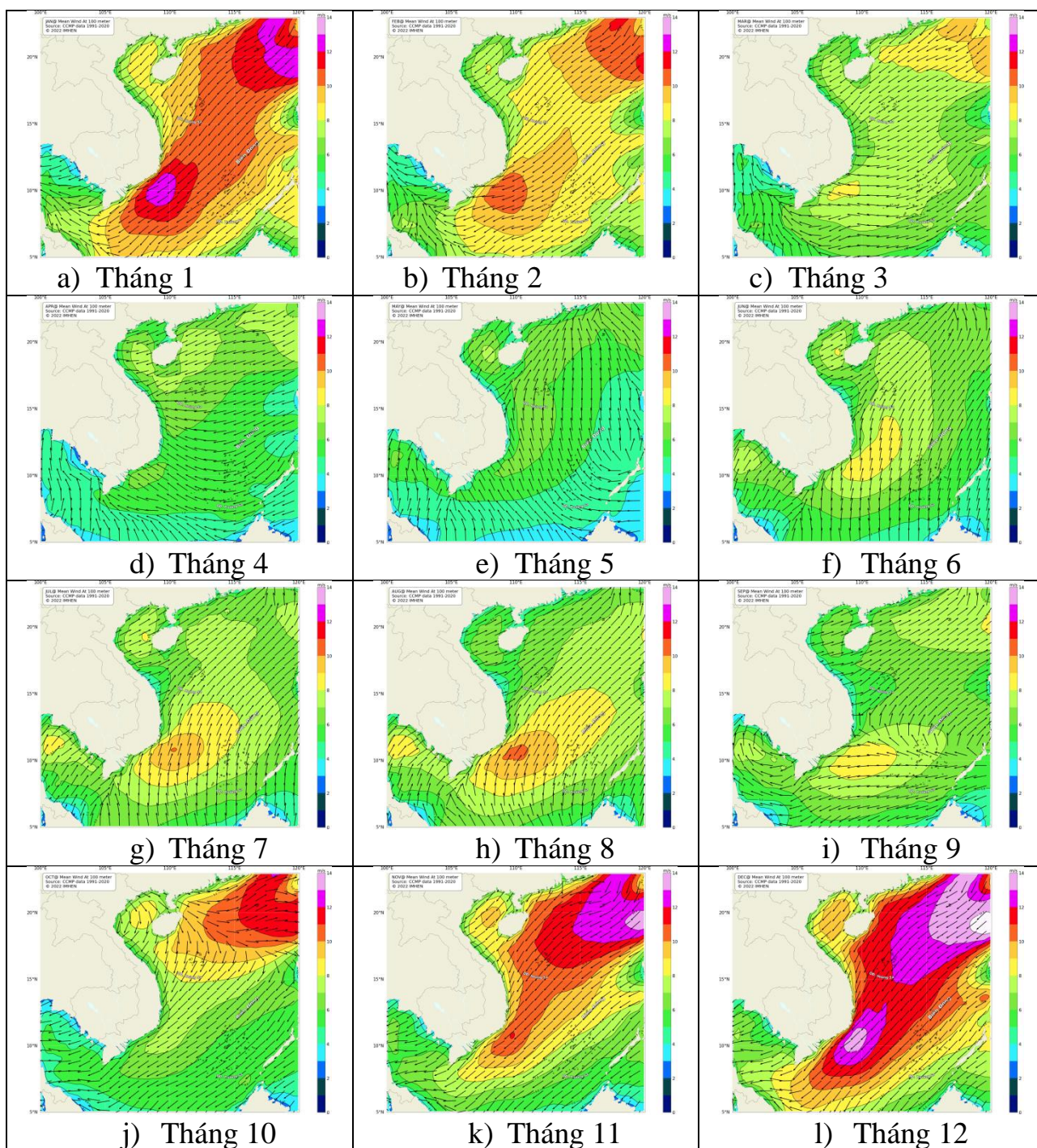
81. Nasir El Bassam (2021), *Distributed Renewable Energies for Off-Grid Communities (Second Edition)*. Empowering a Sustainable, Competitive, and Secure Twenty-First Century. Chapter Eight - Wind energy. ISBN 978-0-12-821605-7
82. National Centers for Environmental Prediction, 2000: NCEP FNL Operational Model Global Tropospheric Analyses, continuing from July 1999 (Available online at <https://doi.org/10.5065/D6M043C6>, accessed 12 April 2019).
83. 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.
84. 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 mesoscale modelling*. Wind Energy Department, Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark
85. 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.
86. 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.
87. 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.
88. S. Shimada¹, Teruo Ohsawa², Teruo Ohsawa³, K. 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*
89. 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.
90. 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.
91. 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.
92. Simiu, E., and Scanlan, R. H. (1978). *Wind effects on structures. An introduction to wind engineering*. A Wiley – Interscience Publication. John Wiley and Sons. New York.
93. Steven Clarke et al, 2009. *U.S. Offshore Wind Energy: A Path Forward*. A Working Paper of the U.S. Offshore Wind Collaborative.

94. 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
95. The National Renewable Energy Laboratory, US, 2022: <https://www.nrel.gov/wind/>
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. W. Musial and S. Butterfield, 2006. Energy from Offshore Wind. National Renewable Energy Laboratory
99. W. Musial, Senior Engineer, 2005. Offshore Wind Energy Potential for the United States. National Renewable Energy Laboratory
100. 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.
101. 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).
102. World Bank (WB), 2009. Global Wind Atlas 3 – Validation – Vietnam.
103. World Bank (WB), 2021. Offshore wind technical potential in Vietnam <https://esmap.org/offshore-wind>
104. Yamaguchi, A., and T. Ishihara, 2014: Assessment of offshore wind energy potential using mesoscale model and geographic information system. Renewable Energy, 69, 506–515.
105. Zheng CW., Li CY., Wu HL., and Wang M. (2018). 21st century maritime silk road: Construction of remote Islands and Reefs. Springer.
106. 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.
107. AliMirzaei, Fredolin, Tangang, Liew, Juneng, Wave energy potential assessment in the central and southern regions of the South China Sea, Renewable Energy Volume 80, August 2015, Pages 454-470.
108. https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Globalcooperation/viet_nam_technology_catalogue_2021_-_eng.pdf (Bảo các Danh mục phát và lưu trữ điện tại Việt Nam)

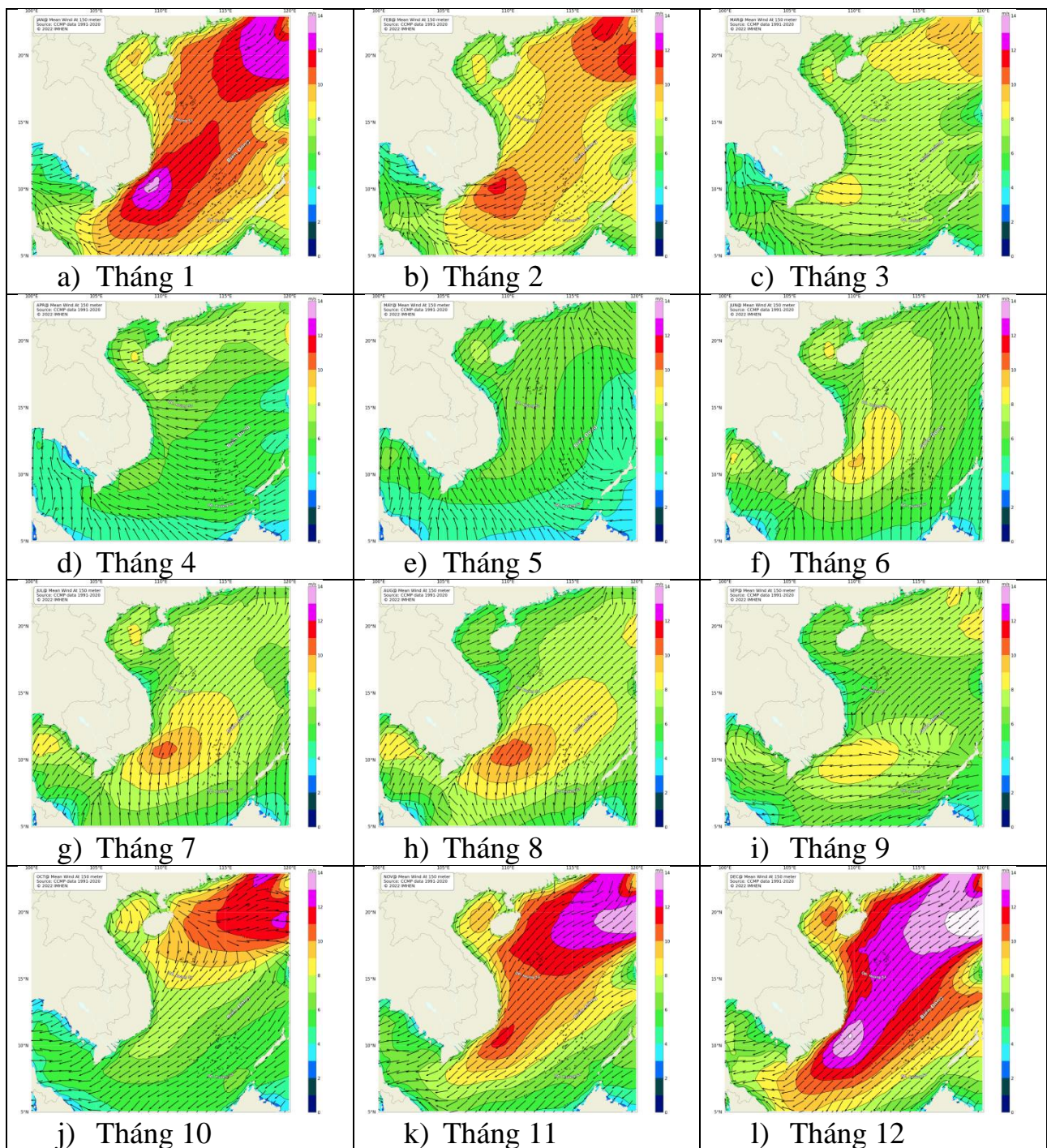
PHỤ LỤC



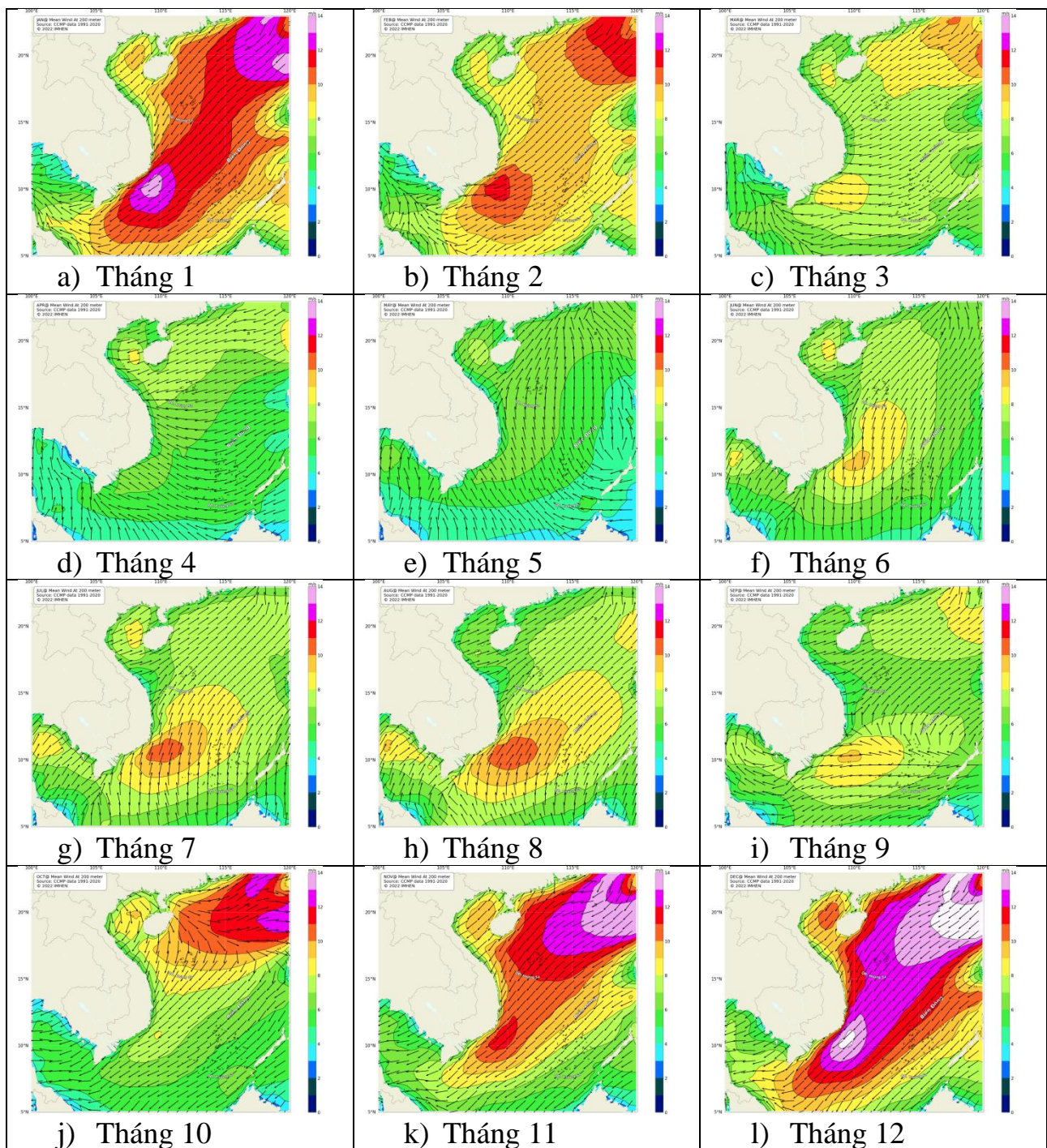
Hình. Bản đồ phân bố tốc độ gió trung bình (m/s) các tháng ở độ cao 50 m trên khu vực Biển Đông theo số liệu CCMP, thời kỳ 1991-2020



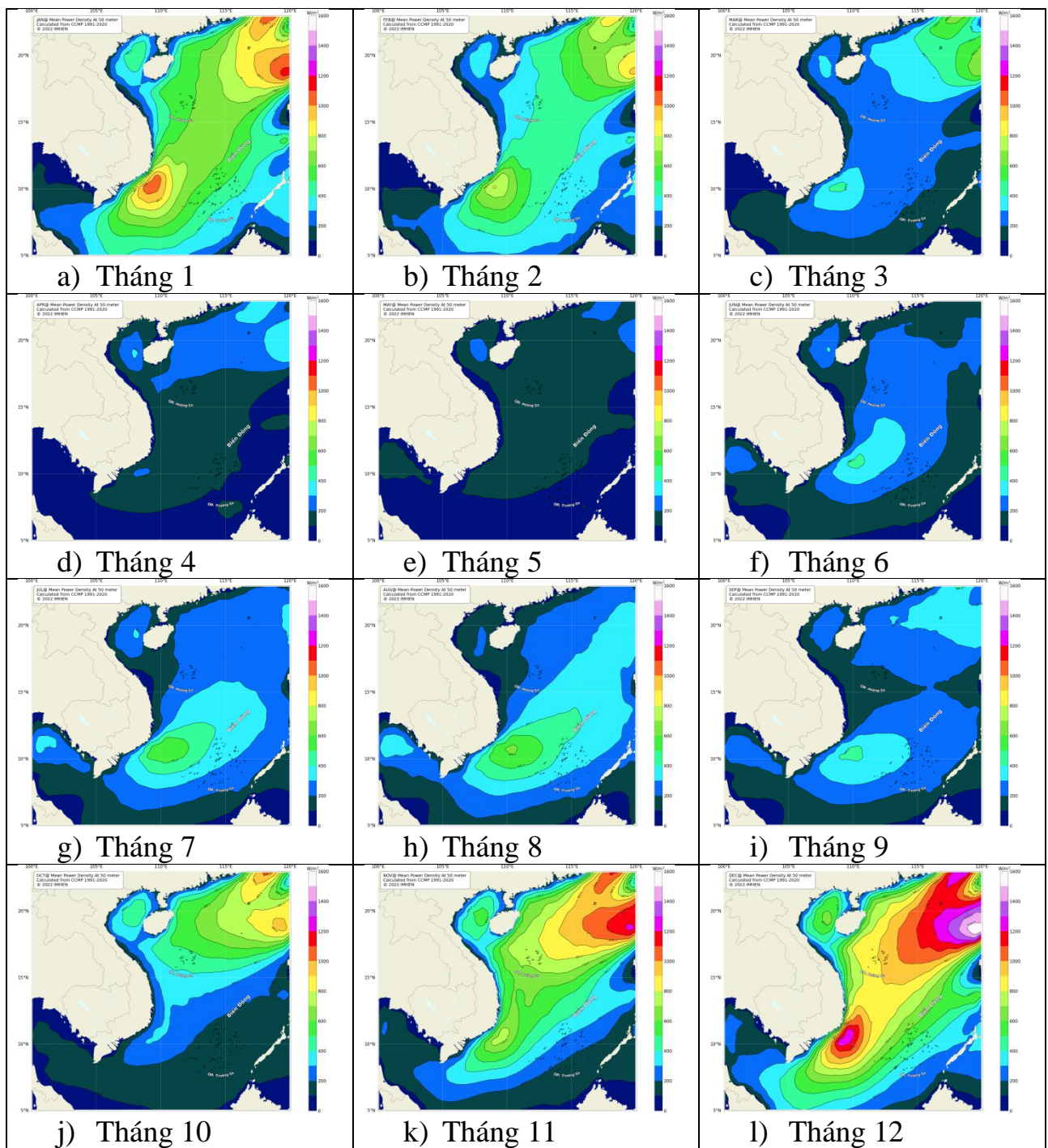
Hình. Bản đồ phân bố tốc độ gió trung bình (m/s) các tháng ở độ cao 100 m trên khu vực Biển Đông theo số liệu CCMP, thời kỳ 1991-2020



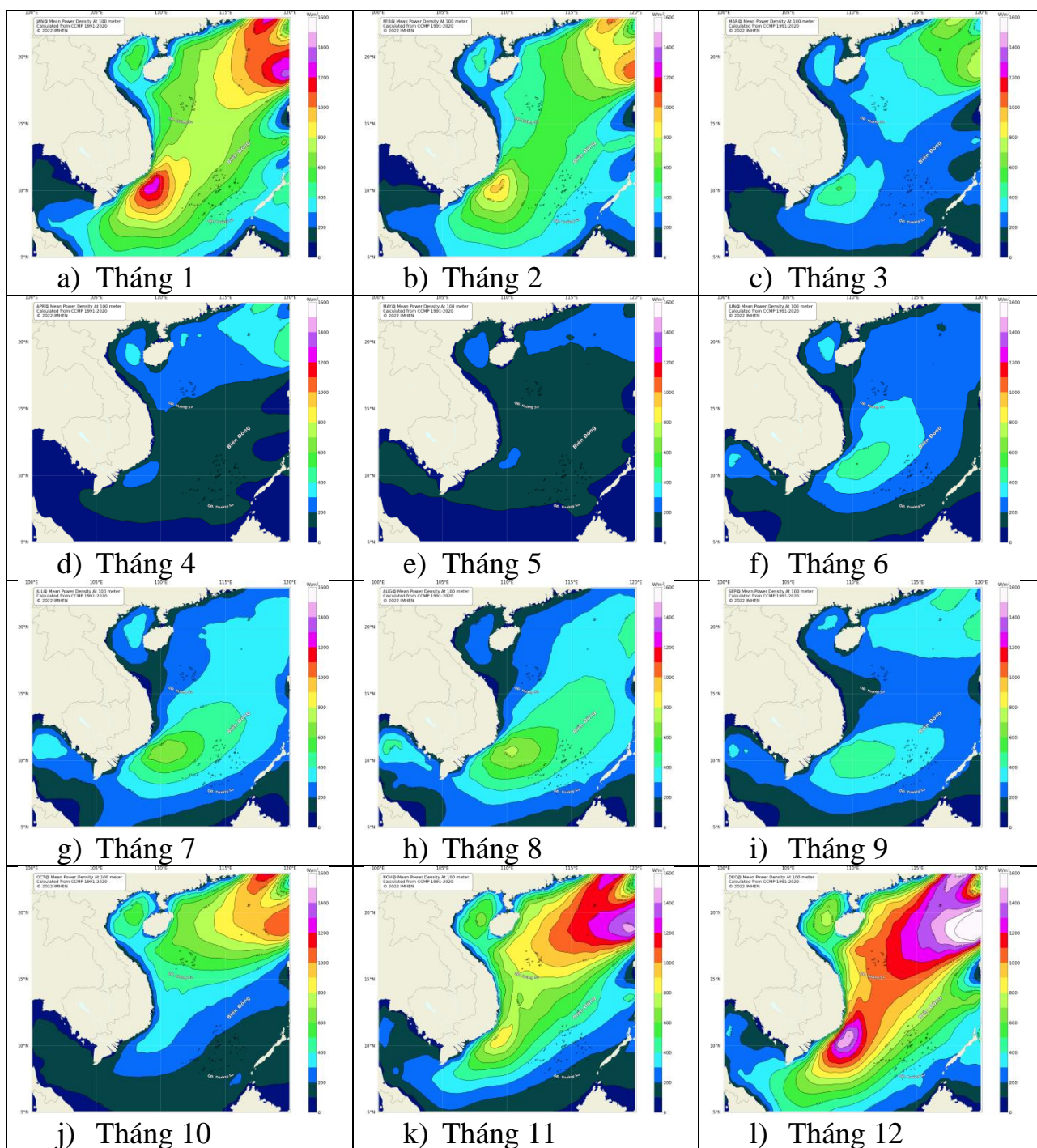
Hình. Bản đồ phân bố tốc độ gió trung bình (m/s) các tháng ở độ cao 150 m trên khu vực Biển Đông theo số liệu CCMP, thời kỳ 1991-2020



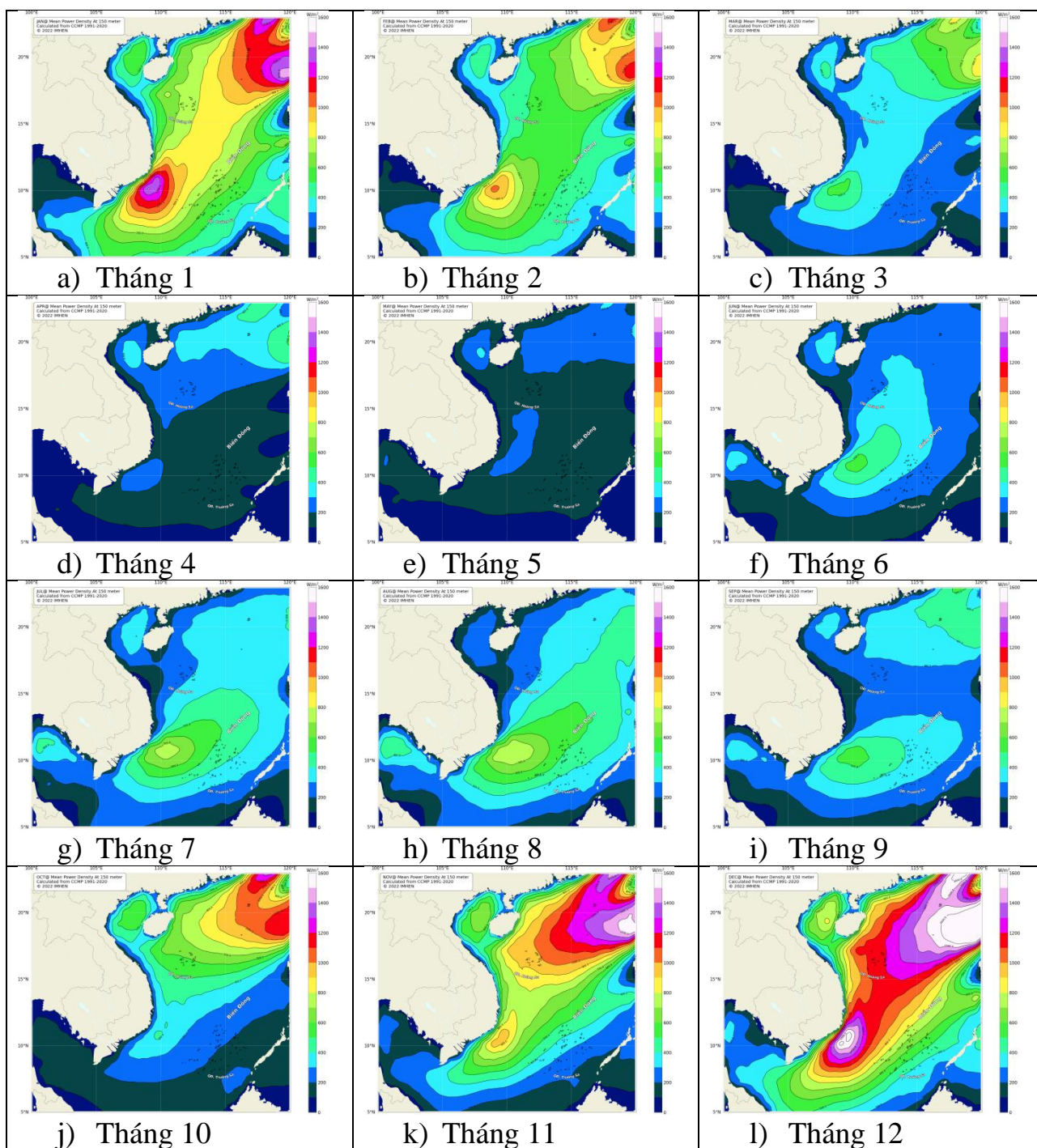
Hình. Bản đồ phân bố tốc độ gió trung bình (m/s) các tháng ở độ cao 200 m trên khu vực Biển Đông theo số liệu CCMP, thời kỳ 1991-2020



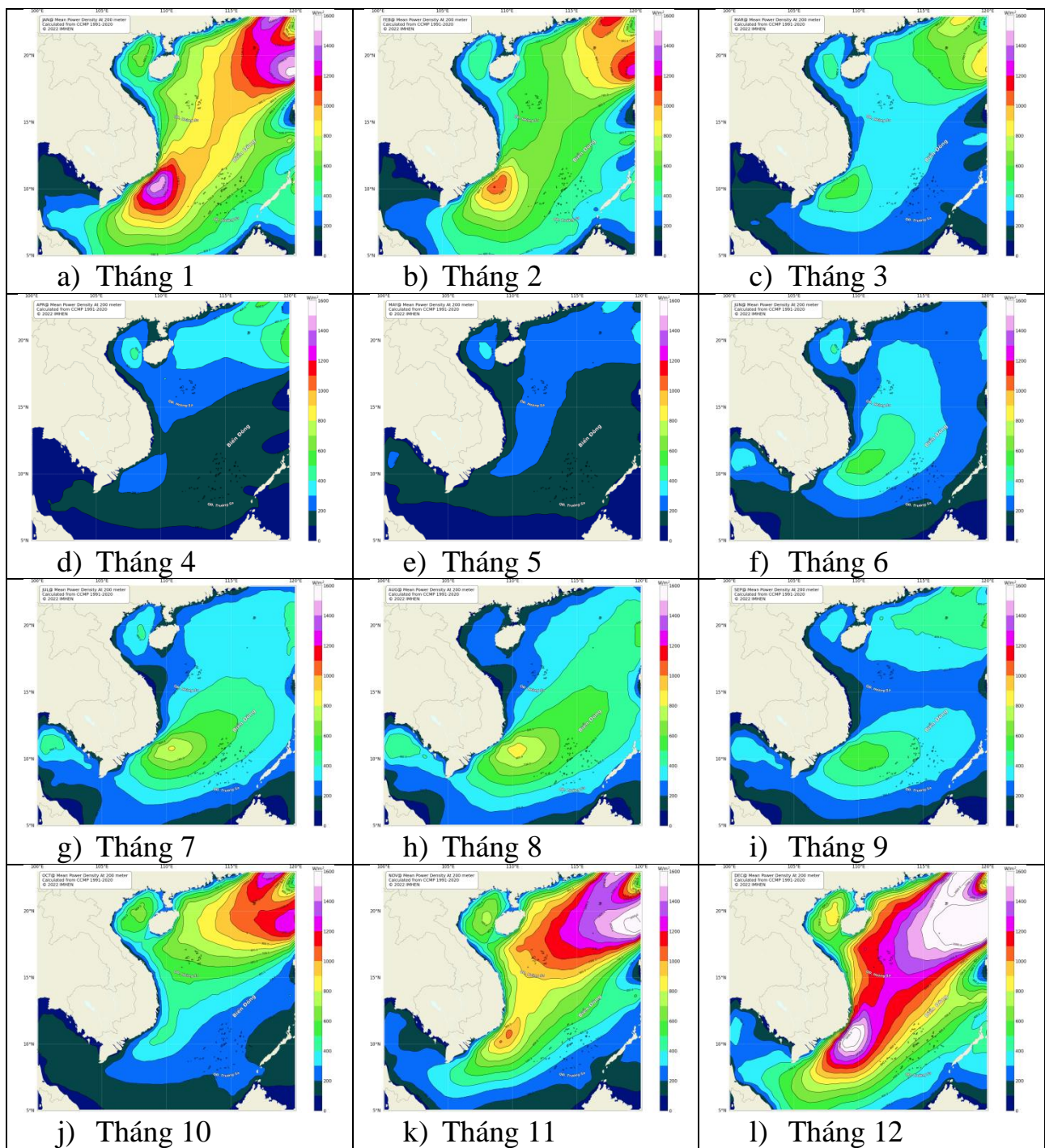
Hình. Bản đồ phân bố mật độ năng lượng gió (W/m^2) các tháng ở độ cao 50 m trên khu vực Biển Đông theo số liệu CCMP, thời kỳ 1991-2020



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 theo số liệu CCMP, 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 theo số liệu CCMP, 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 theo số liệu CCMP, thời kỳ 1991-2020