

Bài báo khoa học

## Mô phỏng ô nhiễm bụi PM<sub>2.5</sub> và phân tích các yếu tố liên quan – Trường hợp tỉnh Cà Mau, Việt Nam

Ngô Thị Xuân<sup>1,2</sup>, Nguyễn Châu Mỹ Duyên<sup>1,2</sup>, Bùi Tá Long<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup> Khoa Môi trường và Tài nguyên, Trường Đại học Bách Khoa Tp. Hồ Chí Minh; ngothixuana3qt@gmail.com; nguyenduyen91@hcmut.edu.vn; longbt62@hcmut.edu.vn

<sup>2</sup> Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh; ngothixuana3qt@gmail.com; nguyenduyen91@hcmut.edu.vn; longbt62@hcmut.edu.vn

\*Tác giả liên hệ: longbt62@hcmut.edu.vn; Tel.: +84–918017376

Ban Biên tập nhận bài: 5/9/2023; Ngày phản biện xong: 23/10/2023; Ngày đăng bài: 25/12/2023

**Tóm tắt:** Ô nhiễm không khí PM<sub>2.5</sub> là tác nhân tác động nghiêm trọng tới sức khỏe con người không chỉ tại các khu đô thị lớn, mà còn ảnh hưởng tới các tỉnh không gần khu đô thị, trong trường hợp nghiên cứu này là tỉnh Cà Mau. Hiện tại ủy ban nhân dân tỉnh đang trong quá trình xây dựng kế hoạch quản lý chất lượng môi trường không khí cho toàn tỉnh. Trong đó nhiệm vụ đánh giá ô nhiễm bụi mịn được đặt ra. Để giải quyết mục tiêu này, cặp các mô hình WRF/CMAQ được sử dụng một mặt hình thành bản đồ phân bố ô nhiễm, mặt khác tìm ra sự phụ thuộc giữa mức độ ô nhiễm PM<sub>2.5</sub> với cả yếu tố phát thải, lẫn khí tượng. Bộ dữ liệu kiểm kê phát thải nhân tạo và sinh học (tự nhiên) từ nguồn số liệu kiểm kê phát thải toàn cầu ECCAD (Emissions of atmospheric compounds and compilation of ancillary data) được sử dụng. Kết quả mô phỏng được thực hiện cho 2 tháng đặc trưng của mùa khô 2020 cho thấy nồng độ PM<sub>2.5</sub> trung bình 24 giờ của tháng 03/2020 chưa vượt ngưỡng giới hạn cho phép của QCVN 05:13/BTNMT, giá trị nồng độ dao động trong khoảng 7,82-51,72  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Giá trị nồng độ PM<sub>2.5</sub> trung bình 24 giờ giai đoạn tháng 04/2020 là 7,05-114,42  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Kết quả phân tích sự phụ thuộc nồng độ vào phát thải và khí tượng cũng đã được phân tích, làm rõ.

**Từ khóa:** Mô hình WRF/CMAQ; PM<sub>2.5</sub>; Khí tượng; Phát thải; Cà Mau.

### 1. Giới thiệu

Chất lượng không khí có tác động lớn đến đời sống, sức khỏe của nhân dân [1–4]. Việt Nam là quốc gia đang phát triển với lượng phát thải khổng lồ phát sinh từ số lượng phương tiện giao thông, các khu công nghiệp, nhà máy nhiệt điện [5–8]; dẫn tới Việt Nam đang phải đối diện với những hậu quả của ô nhiễm không khí, nhất là ô nhiễm bụi PM (*Particulate Matter*). Gần đây, vấn đề ô nhiễm bụi mịn (PM<sub>2.5</sub>) trở thành mối quan tâm do những tác động tiềm ẩn đến sức khỏe cộng đồng [9–12]; gây ra giảm thiểu tầm nhìn [13, 14] và biến đổi khí hậu [15, 16]. Tuy nhiên các nghiên cứu tại phía Nam Việt Nam chủ yếu tập trung vào Tp.HCM, cùng một số tỉnh thành phụ cận như Bình Dương, Đồng Nai thuộc vùng phát triển kinh tế trọng điểm [17–19], trong khi đó các tỉnh thành khác chưa được quan tâm đúng mức. Theo quy định của Luật Bảo vệ môi trường năm 2022, Ủy ban nhân dân cấp tỉnh có trách nhiệm ban hành và tổ chức thực hiện kế hoạch quản lý chất lượng môi trường không khí cấp tỉnh. Từ đó nhiệm vụ đánh giá chất lượng môi trường không khí của các tỉnh thành, trong đó có Cà Mau được đặt ra. Bụi PM<sub>2.5</sub> dùng để chỉ các hạt bụi có đường kính động học bé hơn hoặc bằng 2.5  $\mu\text{m}$  [10, 20]. Đây là một thông số quan trọng đánh giá mức độ ô nhiễm môi

trường không khí [21]. Nồng độ bụi  $PM_{2.5}$  chịu ảnh hưởng từ các nguồn phát thải nhân tạo như từ các phương tiện giao thông, đốt sinh khối, và đốt nhiên liệu hóa thạch. Các chất lưu huỳnh đioxit ( $SO_2$ ), nitơ oxit ( $NO_x$ ), ammonia ( $NH_3$ ), carbon đen (BC), carbon hữu cơ (OC), và các hợp chất hữu cơ bay hơi không metan (NMVOCs) là những chất điển hình được tạo ra. Một mặt, bụi  $PM_{2.5}$  xuất phát từ các nguồn đốt (combustion sources), được xem là dạng PM sơ cấp [20]; mặt khác, bụi  $PM_{2.5}$  cũng được hình thành trong khí quyển, được gọi là PM thứ cấp từ các phản ứng hóa học liên quan đến các tiền chất (precursors) dạng khí như  $SO_2$ ,  $NO_x$ ,  $NH_3$ , và các hợp chất hữu cơ dễ bay hơi (VOCs) [22–24]. Sự hình thành PM thứ cấp phụ thuộc đáng kể vào số lượng tiền chất có trong khí quyển và các điều kiện khí tượng [25], [23]. Sự nhạy cảm đáng kể của nồng độ bụi  $PM_{2.5}$  đối với các yếu tố khí tượng thông qua sự biến đổi trong các quá trình vật lý và hóa học [26–29]. Với các thành phần hạt có kích thước nhỏ, bụi  $PM_{2.5}$  có thời gian lưu từ vài ngày đến vài tuần và dễ dàng bị phân tán trong không khí [24]. Mặt khác, khi chiều cao lớp biên khí quyển (*Planetary Boundary Layer Height - PBLH*) giảm dẫn đến sự hạn chế quá trình hòa trộn theo chiều dọc và gây ra sự tích lũy của các hạt PM [32, 33]. Cùng với đó, bụi  $PM_{2.5}$  có thể được loại bỏ bằng sự rửa trôi qua mưa [21, 24, 34, 35].

Gần đây, các mô hình chất lượng không khí đã được sử dụng rộng rãi để làm rõ vai trò các quá trình vật lý và hóa học liên quan đến ô nhiễm bụi  $PM_{2.5}$  [36]. Hiện nay các mô hình có thể thực hiện việc mô phỏng chất lượng không khí từ quy mô toàn cầu (*global scale*) đến quy mô địa phương (*local scale*) với các độ phân giải khác nhau tùy thuộc vào các mục đích nghiên cứu khác nhau [36]. Mô hình toàn cầu GEOS-Chem với độ phân giải từ 5 đến 4° [37], mô hình khu vực như *Weather Research and Forecasting Model/Community Multiscale Air Quality Model (WRF/CMAQ)* với các mức độ phân giải từ 36 đến 4 km [38]. Trong đó, hệ thống mô hình CMAQ đã được sử dụng nhiều nhất bởi khả năng ứng dụng mô phỏng ô nhiễm không khí đa quy mô (đô thị và cấp khu vực), cũng như đa chất ô nhiễm (chất oxy hóa, lắng đọng axit và bụi PM).

Để góp phần vào việc hoạch định chính sách, phục vụ phát triển kinh tế - xã hội và sự nghiệp phát triển bền vững của tỉnh Cà Mau, nghiên cứu này được thực hiện với mục tiêu ứng dụng WRF/CMAQ kết hợp với mô hình thống kê đa biến nhằm: (1) Mô phỏng phân bố  $PM_{2.5}$  phạm vi toàn thành phố và (2) Thực hiện đánh giá mức độ ảnh hưởng của 2 yếu tố phát thải, khí tượng lên nồng độ. Kết quả nghiên cứu cho phép đề xuất các giải pháp giảm thiểu tối ưu phát thải, đề xuất lộ trình từ trung hạn tới dài hạn để đảm bảo chi phí và lợi ích kinh tế, hiệu quả về môi trường.

## 2. Số liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Khu vực nghiên cứu

Cà Mau nằm ở ven biển ở cực Nam Việt Nam, có dạng hình chữ V, là một trong bốn tỉnh thuộc vùng kinh tế trọng điểm Đồng Bằng Sông Cửu Long. Phần đất liền có tọa độ điểm cực Nam 8°30' vĩ độ Bắc, điểm cực Bắc 9°33' vĩ Bắc, điểm cực Đông 105°24' kinh Đông và điểm cực Tây 104°43' kinh Đông. Phía Bắc giáp tỉnh Kiên Giang, phía Đông Bắc giáp tỉnh Bạc Liêu, phía Đông và Đông Nam giáp biển Đông và phía Tây giáp Vịnh Thái Lan [39]. Diện tích phần đất liền của tỉnh là 5.329 km<sup>2</sup>, bằng 13,13% diện tích vùng đồng bằng sông Cửu Long và bằng 1,58% diện tích cả nước [40]. Địa hình của tỉnh Cà Mau tương đối bằng phẳng và thấp, cao trình phổ biến từ 0,5-1 m so với mực nước biển. Phía Bắc địa hình thấp (cao trung bình từ 0,2-0,5 m), phía Nam có địa hình cao hơn (trung bình 0,2-0,8 m). Bên cạnh đó, địa hình của tỉnh còn bị chia cắt nhiều bởi hệ thống sông rạch chằng chịt. Trong những năm qua tình hình kinh tế - xã hội tỉnh Cà Mau không ngừng phát triển và đạt được những thành tựu đáng kể. Tổng sản phẩm trong tỉnh (GRDP) năm 2009 đạt 13.021 tỷ đồng, GRDP năm 2020 (theo giá so sánh năm 2010) đạt 41.318 tỷ đồng, gấp 1,58 lần so với GRDP năm

2010 (26.037 tỷ đồng). GRDP bình quân đầu người năm 2020 đạt 52,6 triệu đồng (tương đương 2.267 USD), gấp 2,44 lần so với năm 2010 (21,6 triệu đồng/người) [41].

Theo báo cáo hiện trạng môi trường tỉnh Cà Mau năm 2015-2020, nhìn chung các giá trị hàm lượng tổng bụi giai đoạn 2015-2020 tại các vị trí quan trắc qua các năm đều nằm trong giới hạn quy định của QCVN 05:2013/BTNMT (trung bình 1 giờ) (Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về môi trường không khí xung quanh) [39]. Dù hầu hết các giá trị quan trắc đều nằm trong giới hạn cho phép so với QCVN 05:2013/BTNMT tuy nhiên ô nhiễm bụi có xu hướng duy trì ở ngưỡng cao tại khu vực đô thị, khu vực sản xuất công nghiệp đặc biệt là các khu vực gần các trục giao thông. Diễn biến hàm lượng bụi đang có xu hướng tăng dần và gây tác động đến sinh hoạt cũng như sức khỏe người dân trong khu vực.

## 2.2. Dữ liệu

### 2.2.1. Dữ liệu khí tượng thực đo

Để kiểm định mô hình khí tượng WRF, bộ số liệu khí tượng thực đo tại các trạm nằm ở huyện U Minh, xã Hòa Thành, huyện Cái Nước, huyện Đầm Dơi, xã Tân Thuận, huyện Năm Căn, xã Tam Giang, huyện Ngọc Hiển, huyện Trần Văn Thời thể hiện ở Bảng 1 và Hình 1 theo chuỗi thời gian trung bình giờ của tháng 03 và tháng 04 năm 2020 được lấy từ trang web <https://www.wunderground.com/> [42]. Tại mỗi trạm đo, nhóm các số liệu về nhiệt độ, vận tốc gió, hướng gió, độ ẩm và áp suất được thu thập, trên cơ sở đó thực hiện so sánh các số liệu này với số liệu chiết xuất từ kết quả chạy mô hình WRF để đánh giá tính chính xác và mức độ sai số của kết quả mô hình khí tượng cho ra

**Bảng 1.** Vị trí các trạm khí tượng.

STT	Ký hiệu	X	Y	Vị trí
1	KT1	104,9000	9,3000	Huyện U Minh
2	KT2	105,2000	9,1000	Xã Hòa Thành
3	KT3	105,0557	8,9868	Huyện Cái Nước
4	KT4	105,1941	8,9944	Huyện Đầm Dơi
5	KT5	105,3000	9,0000	Xã Tân Thuận
6	KT6	105,0000	8,8000	Huyện Năm Căn
7	KT7	105,2000	8,8000	Xã Tam Giang
8	KT8	105,1000	8,7000	Huyện Ngọc Hiển
9	KT9	105,0000	9,1000	Huyện Trần Văn Thời

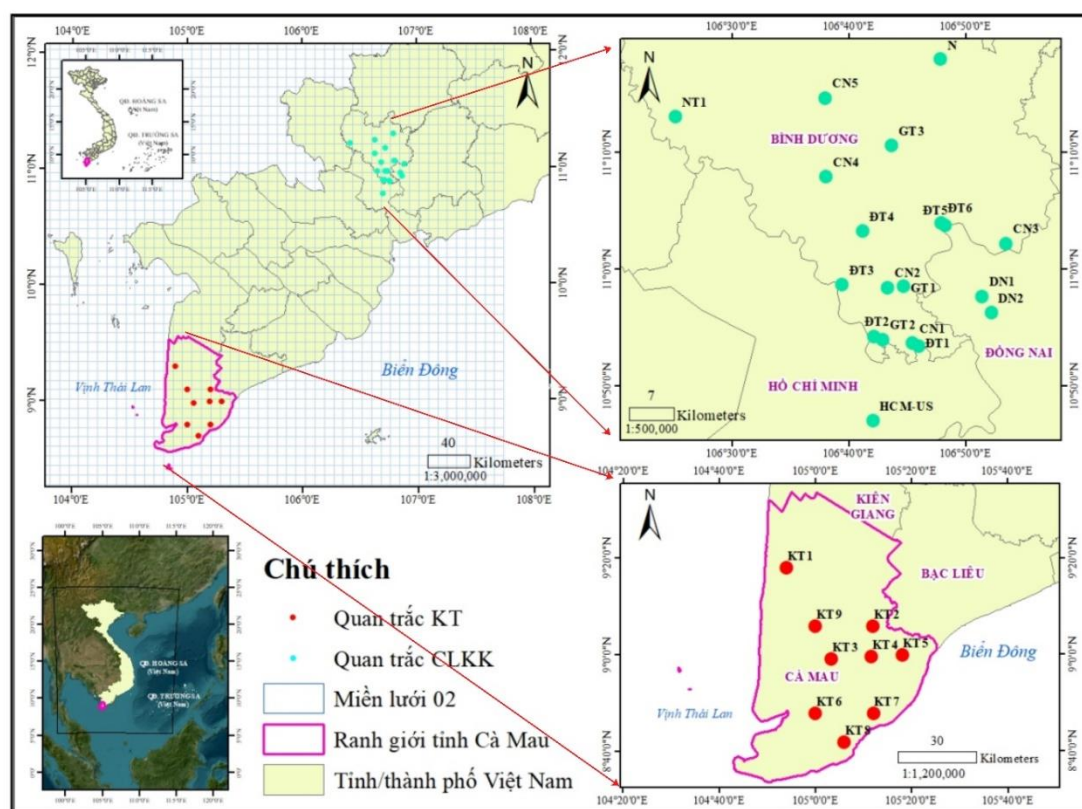
### 2.2.2. Dữ liệu chất lượng không khí quan trắc

Bộ dữ liệu quan trắc chất lượng không khí năm 2020 để đánh giá hiệu quả của mô phỏng WRF/CMAQ được thu thập từ Trung tâm quan trắc môi trường tỉnh Đồng Nai [43], Trung tâm quan trắc môi trường tỉnh Bình Dương [44] và Trung tâm quan trắc môi trường tp. Hồ Chí Minh [45]. Giai đoạn tháng 03 và 04 nồng độ bụi  $PM_{2.5}$  được chuyển đổi từ nồng độ TSP thu thập từ (1) 16 điểm đo đặc tại tỉnh Bình Dương (gồm N, NT1, DT1, DT2, DT3, DT4, DT5, DT6, GT1, GT2, GT3, CN1, CN2, CN3, CN4, và CN5) cho 4 thời điểm quan sát lúc 07.00, 09.00, 11.00, 13.00, 15.00 và 17.00; (2) 2 trạm quan trắc tự động ở Đồng Nai (DN1, DN2); (3) 1 trạm tự động ở Thành phố Hồ Chí Minh (HCM-US). Các vị trí quan trắc được mô tả trong Bảng 2 và Hình 1.

**Bảng 2.** Vị trí các trạm quan trắc.

STT	Ký hiệu	X	Y	Mô tả khu vực quan trắc
1	N	106,7969	11,2997	Nghĩa trang Liệt sĩ huyện Phú Giáo
2	NT1	106,4178	11,2170	Nông trường cao su Thanh An
3	ĐT1	106,7653	10,8889	Trung tâm hành chính thị xã Dĩ An
4	ĐT2	106,7014	10,9036	UBND thị xã Thuận An

STT	Ký hiệu	X	Y	Mô tả khu vực quan trắc
5	ĐT3	106,6564	10,9772	Trụ sở TT QT TNMT - số 26 Huỳnh Văn Nghệ
6	GT1	106,7442	10,9750	Ngã tư Miếu Ông Cu
7	GT2	106,7144	10,8989	Ngã tư cầu Ông Bó
8	CN1	106,7569	10,8936	Công ty Wimbledon - Đường số 22, KCN Sóng Thần II
9	CN2	106,7214	10,9733	Công ty Victory cách CCN Thuận Giao 300m (điểm GS cũ)
10	CN3	106,8908	11,0361	Khu vực mỏ đá xã Thường Tân, huyện Tân Uyên
11	CN4	106,6331	11,1314	Công ty Orion, đường NA3, KCN Mỹ Phước II
12	ĐT4	106,6858	11,0536	Trung tâm hành chính, thành phố mới Bình Dương
13	ĐT5	106,8036	11,0625	Khu trung tâm thị trấn Mỹ Phước
14	ĐT6	106,7975	11,0656	Thị trấn Uyên Hưng, huyện Tân Uyên
15	CN5	106,6322	11,2442	Khu đô thị - khu công nghiệp Bàu Bàng
16	GT3	106,7267	11,1758	Gần ngã 3 công xanh
17	DN1	106,8558	10,9605	Khu dân cư
18	DN2	106,8693	10,9370	Nút giao thông
19	HCM-US	106,7007	10,7831	Tổng lãnh sự quán Hoa Kỳ



Hình 1. Vị trí các trạm quan trắc chất lượng không khí và khí tượng.

### 2.2.3. Dữ liệu phát thải

Bộ dữ liệu kiểm kê phát thải được sử dụng trong nghiên cứu này được lấy từ nguồn số liệu kiểm kê phát thải toàn cầu ECCAD (*Emissions of atmospheric compounds and compilation of ancillary data*) (<https://eccad3.sedoo.fr/>) cho tháng 03 và 04 năm 2020. Có ba bộ dữ liệu phát thải được sử dụng, bao gồm: CAMS-GLOB-AIR dữ liệu lượng khí thải toàn cầu từ aircraft, CAMS-GLOB-ANT dữ liệu phát thải nhân tạo toàn cầu, CAMS-GLOB-BIO Lượng phát thải toàn cầu của 29 VOC sinh học từ thực vật. Các bộ dữ liệu được thu thập, sử dụng ở dạng thông lượng trung bình hàng hán (kg.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>) với các mức độ phân giải khác nhau trên phạm vi toàn cầu (0,5° × 0,5°, 0,25° × 0,25° và 0,1° × 0,1°) (*Atmosphere and Service*



2018) được tính toán phân bố không gian về các ô lưới của miền tính Domain D02 (có bao hàm khu vực nghiên cứu là tỉnh Cà Mau) với độ phân giải tăng lên  $\sim 9 \text{ km} \times 9 \text{ km}$ .

### 2.3. Phương pháp nghiên cứu

Cặp mô hình WRF/CMAQ được ứng dụng để mô phỏng ô nhiễm  $\text{PM}_{2.5}$  tại tỉnh Cà Mau, lấy năm 2020 nghiên cứu. Mô hình Chất lượng Không khí Đa quy mô Cộng đồng (CMAQ) là mô hình chất lượng không khí bằng số dựa trên các nguyên tắc khoa học đầu tiên để dự đoán nồng độ của các loại khí và hạt trong không khí cũng như sự lắng đọng của các chất ô nhiễm này trở lại bề mặt Trái đất. Để hỗ trợ cộng đồng người dùng CMAQ, EPA và Đại học Bắc Carolina tại Đồi Chapel đã tổ chức trao đổi email cho người dùng và cung cấp đào tạo cho người dùng mới về hệ thống mô hình hóa CMAQ bằng cách tổ chức Trung tâm Hệ thống Phân tích và Mô hình hóa Cộng đồng (CMAS), nơi phân phối phần mềm CMAQ [46].

#### 2.3.1. Thiết lập mô hình WRF/CMAQ kết hợp

Miền tính toán  $\text{PM}_{2.5}$  mô phỏng lồng nhau hai cấp D01 và D02 được thiết lập trong mô hình WRF/CMAQ, trong đó miền tính D01 có độ phân giải không gian xấp xỉ  $27 \text{ km} \times 27 \text{ km}$  là miền tính lớn nhất, với 61 cột và 81 hàng, tổng số ô lưới tính của miền D01 là 4661 ô; miền tính D02 có độ phân giải không gian xấp xỉ  $9 \text{ km} \times 9 \text{ km}$  là miền tính thứ 2 lồng trong miền tính D01, với 50 cột và 56 hàng, tổng số ô lưới của miền D02 là 2592 ô. Các thông số kỹ thuật của các miền tính toán D01 và D02 được trình bày bên dưới. Miền tính D01 bao phủ hết toàn bộ Việt Nam; miền tính D02 bao gồm hầu hết các tỉnh phía Nam, đây là khu vực có thể có ảnh hưởng đáng kể nhất đối với khu vực nghiên cứu. Các điều kiện biên của D02 được xác định theo D01. Các thông số kỹ thuật của các miền tính toán D01, D02 được trình bày trong Bảng 3.

**Bảng 3.** Miền không gian tính toán mô phỏng  $\text{PM}_{2.5}$  cho hệ thống mô hình kết hợp WRF/CMAQ.

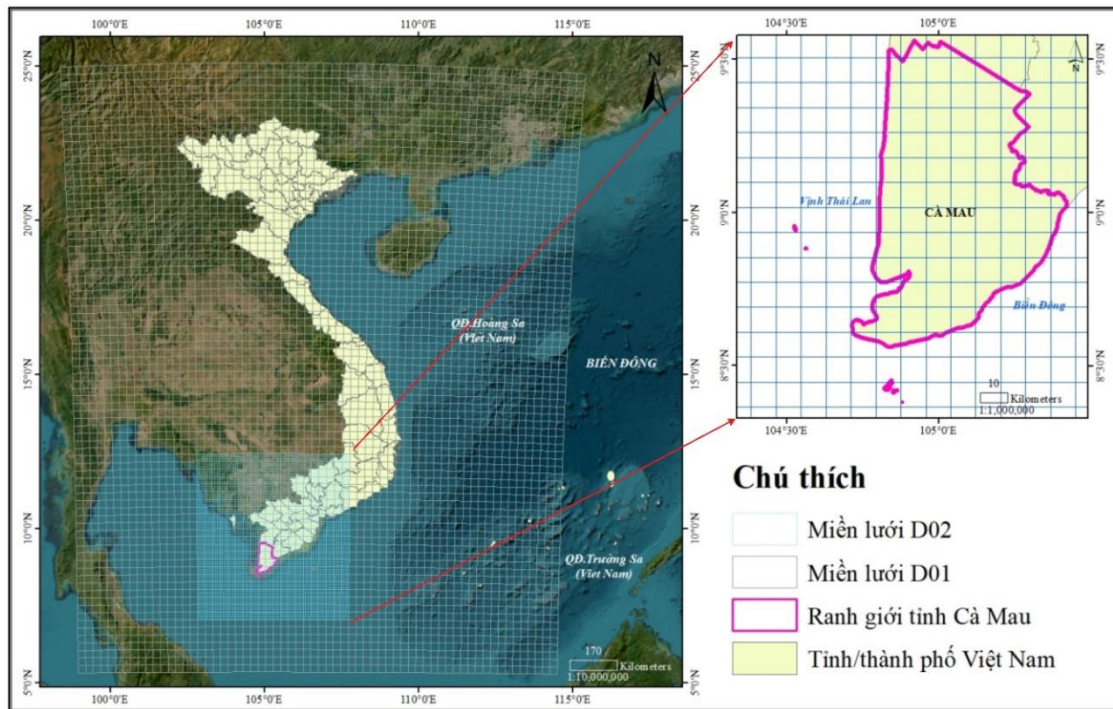
Thông số	Miền tính D01	Miền tính D02
Phạm vi miền tính	Toàn bộ Việt Nam	Các tỉnh phía Nam Việt Nam (bao gồm tỉnh Cà Mau)
Kích thước không gian X [km] $\times$ Y [km]	1593 x 2133	432 x 486
Số nút lưới tính $N_x \times N_y$	60 $\times$ 80	49 $\times$ 55
Tổng số ô lưới tính	4661	2592
Kích thước ô lưới (km)	27	9
Tọa độ tâm miền	(15,03°; 105,394°)	(9,733119°; 105,297835°)
Hệ tọa độ thiết lập	Asia Lambert Conformal Conic	Asia Lambert Conformal Conic
Loại miền tính thiết lập	The nested modelling domain	The nested modelling domain

Trong nghiên cứu này, WRF phiên bản 3.8 được sử dụng với bộ dữ liệu khí tượng toàn cầu GFS được cung cấp bởi NCEP [47]. Bước hiệu chỉnh WRF sử dụng chuỗi số liệu khí tượng thời gian như nhiệt độ, tốc độ gió và hướng gió đo được tại 9 vị trí nằm ở các huyện xã, bao gồm KT1 (huyện U Minh), KT2 (xã Hòa Thành), KT3 (huyện Cái Nước), KT4 (huyện Đầm Dơi), KT5 (xã Tân Thuận), KT6 (huyện Năm Căn), KT7 (xã Tam Giang), KT8 (huyện Ngọc Hiển) và KT9 (huyện Trần Văn Thời) trong khoảng thời gian các tháng 03 và 04 năm 2020 để kiểm định mô hình WRF. Trong nghiên cứu, việc sử dụng đầu ra WRF trung bình 1h để phục vụ chạy mô hình CMAQ tính toán lan truyền  $\text{PM}_{2.5}$ .

Phương pháp đồng nhất dữ liệu (fusion data) giữa các kết quả quan trắc và các kết quả mô phỏng [17] được áp dụng. Công thức (1) ước lượng hai tham số hồi quy  $\alpha$  và  $\beta$  phản ánh phương trình tương quan được sử dụng để hiệu chỉnh kết quả mô phỏng từ CMAQ như sau:

$$\text{CMAQ}_{x,\text{corrected}} = \alpha \text{CMAQ}_x^\beta \quad (1)$$

Trong đó,  $CMAQ_x$  là nồng độ  $PM_{2.5}$  ban đầu từ kết quả của mô hình CMAQ tại vị trí trạm quan trắc x vào thời điểm cụ thể t (giờ);  $CMAQ_{x, Corrected}$  là nồng độ  $PM_{2.5}$  đã được hiệu chỉnh tại vị trí trạm quan trắc x vào thời điểm cụ thể t (giờ) và  $\alpha, \beta$  là các hệ số của phương trình tương quan sử dụng để hiệu chỉnh.



**Hình 2.** Lưới D01 và D02 được sử dụng chạy WRF/CMAQ.

Từ đó, xác định được các phương trình tương quan để hiệu chỉnh nồng độ bụi  $PM_{2.5}$  mô phỏng lần lượt có các tháng như sau: phương trình  $y = 1,3002x^{0,9794}$  cho tháng 03/2020; phương trình  $y = 1,2607x^{0,9905}$  cho tháng 04/2020.

### 2.3.2. Mô hình hồi quy tuyến tính đa biến (Multiple Linear Regression - MLR)

Mô hình MLR (Multiple Linear Regression – MLR) được xây dựng để làm rõ mối tương quan giữa nồng độ bụi  $PM_{2.5}$  lần lượt đối với các biến khí tượng (i), các biến tải lượng phát thải tiền chất (ii) và cả 02 loại biến (iii). Tất cả các dữ liệu nồng độ  $PM_{2.5}$  được thiết lập như (1) dưới dạng trung bình hàng giờ và hàng ngày của các tháng 03 và 04 tương ứng với dữ liệu của các biến khí tượng và phát thải tiền chất. Mô hình được thiết lập chi tiết có dạng như ở công thức bên dưới [16].

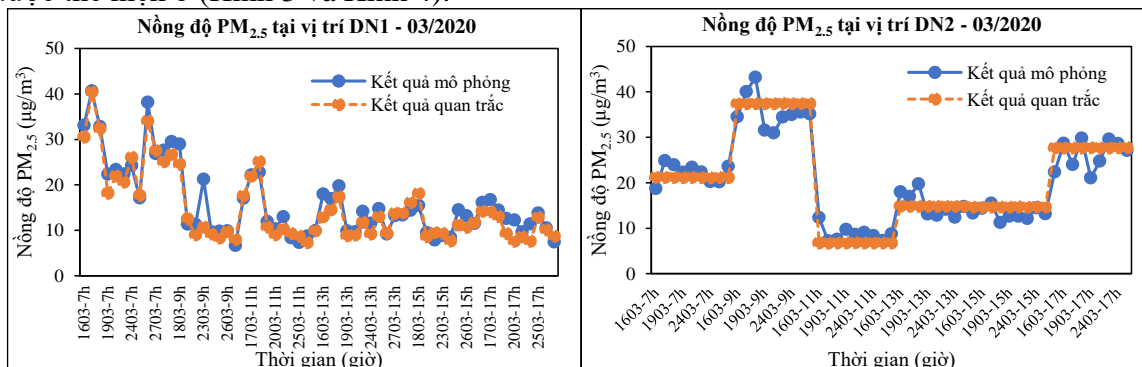
$$y_{i,j} = \alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_{k-1} x_{k-1} + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (2)$$

Trong đó  $\alpha$  là điểm cắt trên trục tung;  $\beta, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{k-1}$  và  $\beta_k$  là độ dốc hay còn gọi là các hệ số hồi quy (các tham số) với các trường hợp (i), (ii), (iii) giá trị k lần lượt là 3, 7 và 10; j là sự tương ứng cho từng thời điểm tháng thực hiện; i là sự tương ứng với các trường hợp (i), (ii), (iii) (i từ 1 đến 3); và  $\varepsilon$  là biến ngẫu nhiên (số hạng sai số). Đối với trường hợp (i) mối quan hệ giữa nồng độ  $PM_{2.5}$  ( $C_{PM_{2.5}}$ ) và 03 yếu tố khí tượng gồm vận tốc gió  $x_1$  ( $W_s$ ), hướng gió  $x_2$  ( $W_d$ ) và nhiệt độ  $x_3$  (T) hay  $C_{PM_{2.5}} = F(W_s, W_d \text{ và } T)$ . Đối với trường hợp (ii) mối quan hệ giữa nồng độ  $PM_{2.5}$  ( $C_{PM_{2.5}}$ ) và 07 loại phát thải tiền chất  $SO_2$  là  $E_{SO_2}$ ,  $x_1$ ;  $NO_x$  là  $E_{NO_x}$ ,  $x_2$ ;  $NH_3$  là  $E_{NH_3}$ ,  $x_3$ ; NMVOCs là  $E_{NMVOCs}$ ,  $x_4$ ; OC là  $E_{OC}$ ,  $x_5$ ; CO là  $E_{CO}$ ,  $x_6$  và BC là  $E_{BC}$ ,  $x_7$  hay  $C_{PM_{2.5}} = F(E_{SO_2}, E_{NO_x}, E_{NH_3}, E_{NMVOCs}, E_{OC}, \text{ và } E_{CO} \text{ và } E_{BC})$  cho tỉnh Cà Mau. Đối với trường hợp (iii) mối quan hệ  $C_{PM_{2.5}} = F(W_s, W_d, T, E_{SO_2}, E_{NO_x}, E_{NH_3}, E_{CO}, E_{NMVOCs}, E_{OC}, \text{ và } E_{BC})$ , kết quả các phương trình hồi quy được xây dựng thể hiện mối tương quan đa biến giữa 03 yếu tố khí tượng và 07 loại phát thải tiền chất đối với giá trị nồng độ bụi  $PM_{2.5}$ . Các mô hình MLR được xây dựng cho toàn bộ khu vực nghiên cứu.

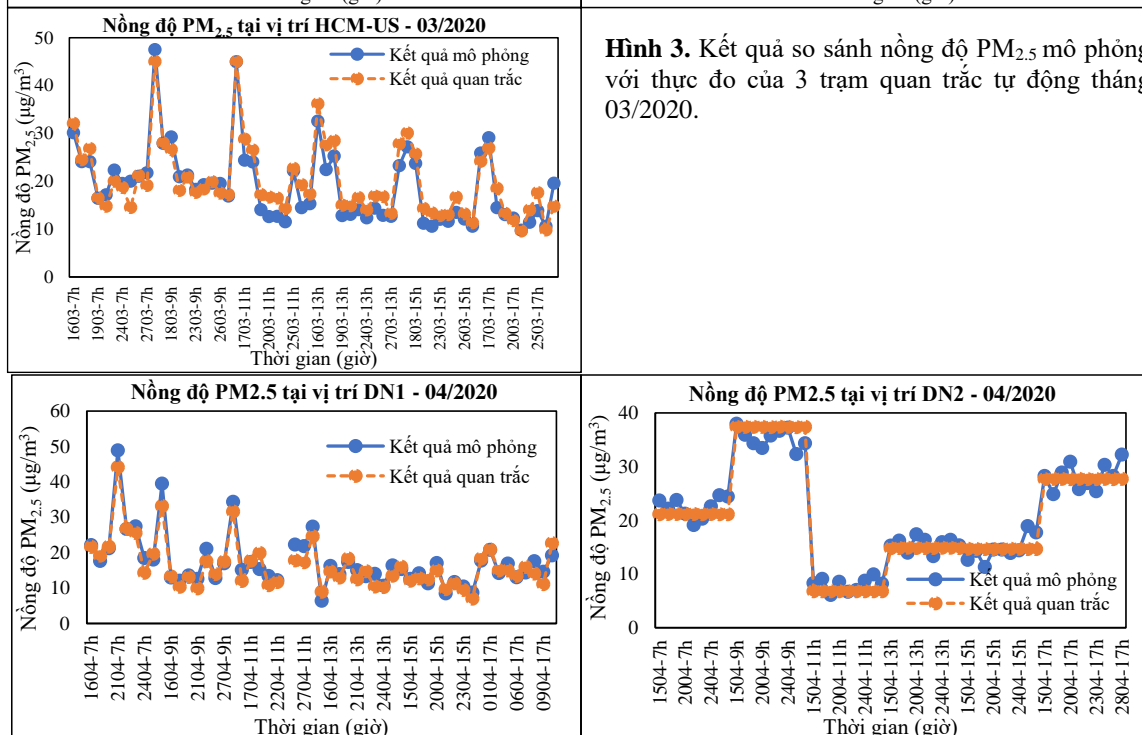
### 3. Kết quả và thảo luận

#### 3.1. Đánh giá hiệu quả mô hình WRF/CMAQ

Kết quả mô phỏng nồng độ  $PM_{2.5}$  cho tháng 03/2020 và tháng 04/2020 cho khu vực Cà Mau được xuất ra tại 3 điểm quan trắc tự động DN1, DN2 và HCM-US và so sánh với các giá trị quan trắc. Kết quả kiểm định dựa trên các chỉ số thống kê để đánh giá khả năng mô phỏng của mô hình WRF/CMAQ và mối tương quan giữa kết quả mô phỏng, đo đạc cũng được thể hiện ở (Hình 3 và Hình 4).



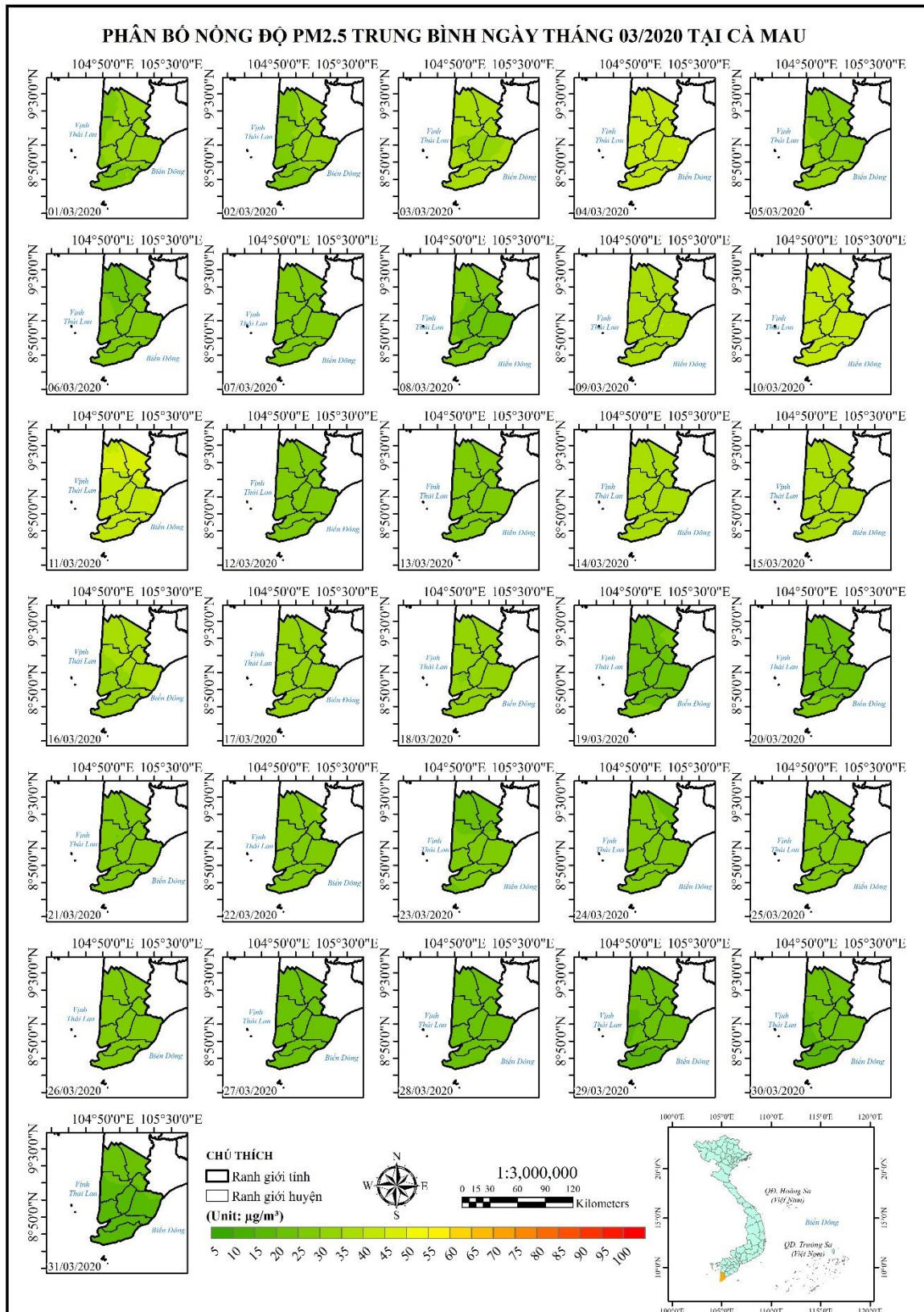
**Hình 3.** Kết quả so sánh nồng độ  $PM_{2.5}$  mô phỏng với thực đo của 3 trạm quan trắc tự động tháng 03/2020.



**Hình 4.** Kết quả so sánh nồng độ  $PM_{2.5}$  mô phỏng với thực đo của 3 trạm quan trắc tự động tháng 04/2020.



Vào tháng 03/2020, giá trị chỉ số Nash - Sutcliffe (NSE) tại các trạm đều đạt mức tốt với sự tương quan cao. Tại trạm DN1 giá trị  $NSE_{DN1} = 0,905$  ( $NSE > 0,9$ ); trạm DN2 với  $NSE_{DN2} = 0,918$  ( $NSE > 0,9$ ); trạm HCM-US giá trị  $NSE_{HCM-US} = 0,880$  ( $NSE > 0,8$ ). Vào tháng 03/2020, giá trị chỉ số Nash - Sutcliffe (NSE) tại các trạm đều hầu như đạt mức tốt với sự tương quan cao. Tại trạm DN1 giá trị  $NSE_{DN1} = 0,574$  ( $NSE > 0,5$ ); trạm DN2 giá trị  $NSE_{DN2} = 0,952$  ( $NSE > 0,9$ ). trạm HCM-US giá trị  $NSE_{HCM-US} = 0,936$  ( $NSE > 0,9$ ).

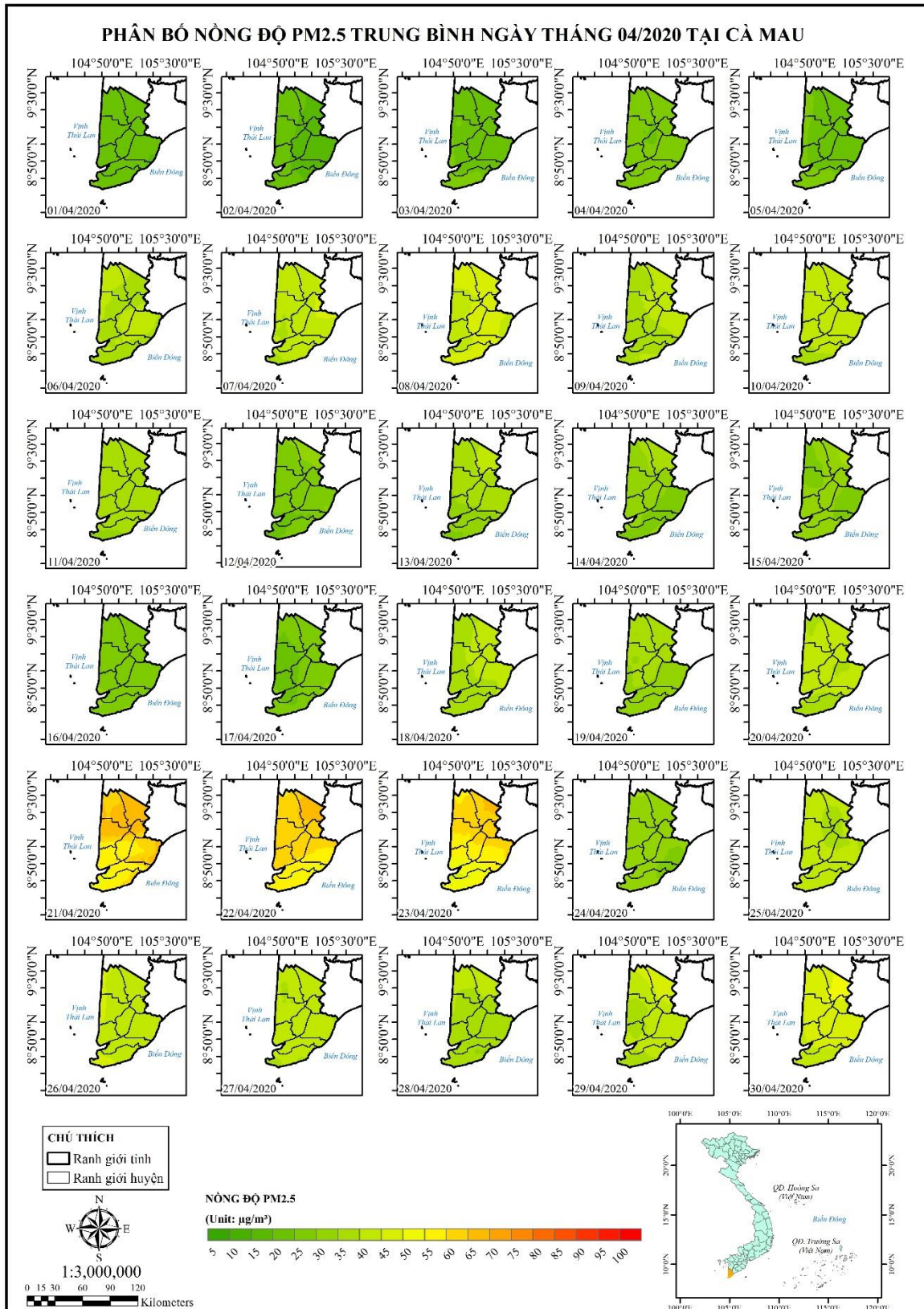


**Hình 5.** Phân bố không gian nồng độ PM<sub>2.5</sub> trung bình ngày tại Cà Mau tháng 03/2020.



### 3.2. Sự phân bố không gian nồng độ $PM_{2.5}$

Nồng độ bụi  $PM_{2.5}$  trung bình ngày tháng 03/2020 có sự phân bố về mặt không gian thay đổi nhẹ theo giai đoạn đầu tháng 01/03/2020 - 08/03/2020, giữa tháng 09/03/2020 - 20/03/2020 và các ngày cuối tháng từ 21/03/2020 - 31/03/2020. Vào giai đoạn đầu tháng, nồng độ  $PM_{2.5}$  phân bố đều các huyện trên địa bàn tỉnh và không vượt quá giới hạn cho phép của QCVN 05:13/BTNMT (mức quy định  $50 \mu g/m^3$ ). Đến giai đoạn giữa tháng, nồng độ có



**Hình 6.** Phân bố không gian nồng độ  $PM_{2.5}$  trung bình ngày tại Cà Mau tháng 04/2020.

xu hướng gia tăng. Vào các ngày 09, 10 và 11 nồng độ  $PM_{2.5}$  cao hơn các ngày còn lại, ngày có nồng độ cao nhất là ngày 11/03/2020. Cuối tháng nồng độ có xu hướng giảm dần từ ngày 21/03/2020 đến ngày 31/03/2020. Với dao động từ 7,82-51,72  $\mu g/m^3$ , nồng độ  $PM_{2.5}$  trung bình ngày cao nhất là ngày 11/03/2020 với mức dao động từ 23,82-51,72  $\mu g/m^3$ , và thấp nhất vào ngày 24/03/2020 với mức dao động từ 7,82-25,58  $\mu g/m^3$ . Tại thành phố Cà Mau nồng độ  $PM_{2.5}$  thường cao hơn các huyện còn lại. Về phân bố nồng độ  $PM_{2.5}$  trung bình hàng giờ trong ngày tháng 03/2020 (Hình 5), nồng độ trung bình hàng giờ ở các ngày có xu hướng dao động khá tương đồng, với nồng độ cao thường xuất hiện từ 9 đến 15 giờ. Nồng độ giảm dần vào buổi chiều tối và sáng sớm. Nhìn chung nồng độ  $PM_{2.5}$  trên toàn địa bàn tỉnh Cà Mau vào tháng 3 đều không vượt ngưỡng cho phép của QCVN 05:13/BTNMT.

Nồng độ  $PM_{2.5}$  trung bình ngày của tháng 04/2020 có sự phân bố không gian thay đổi nhẹ theo giai đoạn đầu giữa tháng 01/04/2020 - 20/04/2020 và các ngày cuối tháng từ 21/04/2020 - 30/04/2020. Đầu tháng, nồng độ  $PM_{2.5}$  phân bố đều các huyện trên địa bàn tỉnh và không vượt quá giới hạn cho phép của QCVN 05:13/BTNMT (mức quy định 50  $\mu g/m^3$ ). Cuối tháng, nồng độ có xu hướng gia tăng. Vào các ngày 21, 22 và 23 nồng độ  $PM_{2.5}$  cao vượt mức cho phép tại hầu hết các huyện và thành phố như thành phố Cà Mau, huyện Ngọc Hiển, huyện Cái Nước, huyện Đầm Dơi, huyện Phú Tân, huyện Thới Bình, huyện Trần Văn Thời và huyện U Minh. Đặc biệt ngày 22/04 nồng độ  $PM_{2.5}$  vượt giới hạn trên toàn địa bàn tỉnh Cà Mau. Với dao động từ 7,05-114,42  $\mu g/m^3$ , 3/30 ngày trong tháng đã vượt quá giới hạn cho phép của QCVN 05:13/BTNMT. Trong đó, nồng độ  $PM_{2.5}$  trung bình ngày cao nhất là ngày 21/04/2020 với mức dao động từ 14,94-91,05  $\mu g/m^3$ , và thấp nhất vào ngày 02/04/2020 với mức dao động từ 7,05-18,83  $\mu g/m^3$ . Về phân bố nồng độ  $PM_{2.5}$  trung bình hàng giờ trong ngày tháng 04/2020 (Hình 6), nồng độ trung bình hàng giờ ở các ngày có xu hướng dao động khá tương đồng, với nồng độ cao thường xuất hiện từ 6 giờ đêm đến 9 giờ sáng và từ 18 đến 23 giờ.

### 3.3. Sự phụ thuộc nồng độ $PM_{2.5}$ vào các yếu tố khí tượng

Mối quan hệ giữa nồng độ  $PM_{2.5}$  với 03 biến khí tượng ( $x_1$  - vận tốc gió  $W_s$ ,  $x_2$  - hướng gió  $W_d$  và  $x_3$  - nhiệt độ  $T$ ) xem xét (*meteorological variables*) được xác định bằng các hệ số  $\beta_k$  trong các phương trình hồi quy tuyến tính đa biến (*Multiple Linear Regression*) tương ứng gắn với các biến khí tượng  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$ .

**Bảng 4.** Phương trình tương quan giữa giá trị nồng độ  $PM_{2.5}$  với vận tốc gió, hướng gió và nhiệt độ, hay  $C_{PM_{2.5}} = F(W_s, W_d \text{ và } T)$  tại Cà Mau tại thời điểm tháng 03 và tháng 04.

Ký hiệu	Phương trình tương quan xây dựng	
KT1	$-115,8590 + 0,8609x_1 - 0,0450x_2 - 0,0265x_3$	$R^2 = 0,0472$
KT2	$46,1239 + 1,0330x_1 - 0,0177x_2 - 0,0599x_3$	$R^2 = 0,0096$
KT3	$19,9078 + 0,7899x_1 - 0,0181x_2 + 0,0272x_3$	$R^2 = 0,0090$
KT4	$25,1164 + 0,5927x_1 - 0,0200x_2 + 0,0128x_3$	$R^2 = 0,0065$
KT5	$37,6099 + 0,8148x_1 - 0,0299x_2 - 0,0264x_3$	$R^2 = 0,0083$
KT6	$-34,9415 + 0,0783x_1 - 0,0269x_2 + 0,2171x_3$	$R^2 = 0,0093$
KT7	$23,4061 + 0,9358x_1 - 0,0305x_2 + 0,0159x_3$	$R^2 = 0,0107$
KT8	$7,9582 + 0,0555x_1 - 0,0319x_2 + 0,0770x_3$	$R^2 = 0,0054$
KT9	$16,6495 + 1,6425x_1 - 0,0406x_2 + 0,0419x_3$	$R^2 = 0,0322$

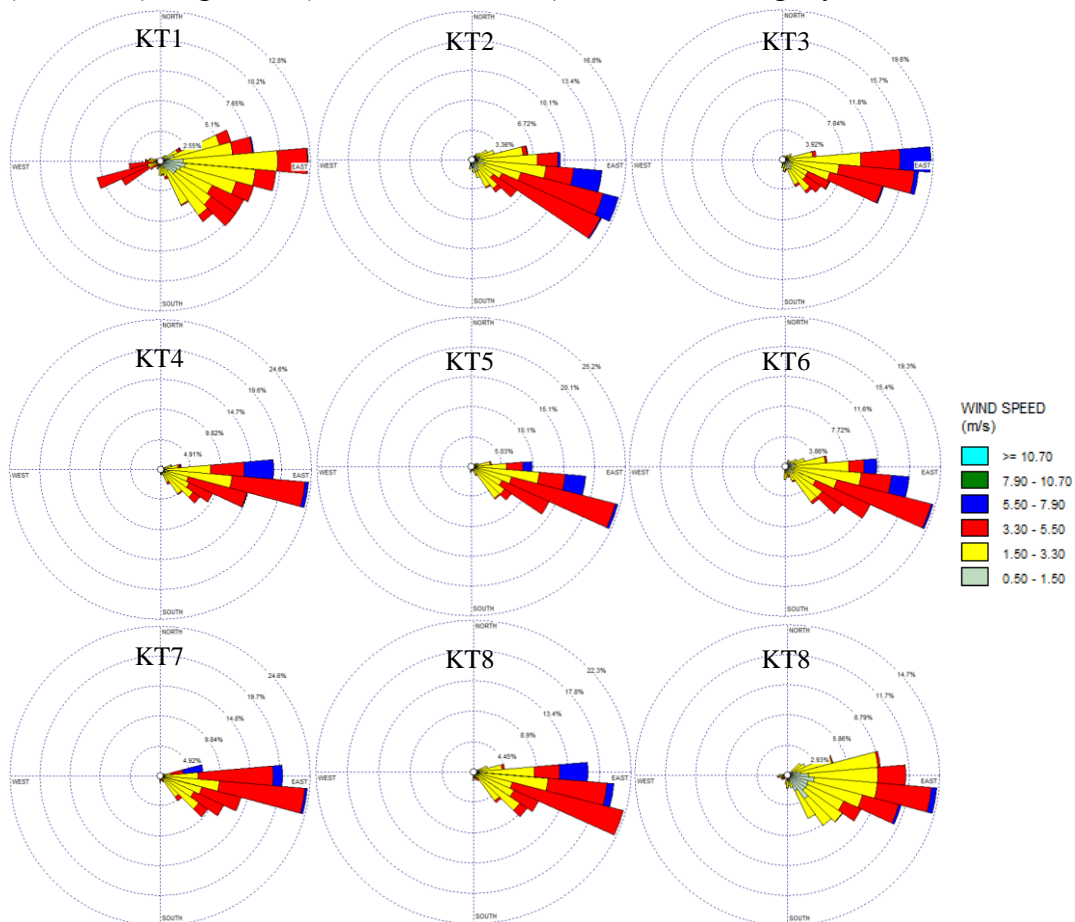
Từ các hàm số tương quan có thể nhận thấy tại toàn bộ vị trí từ KT1 đến KT9 giá trị nồng độ bụi  $PM_{2.5}$  có một mối tương quan thuận với xu hướng tăng lần lượt 0,8609  $\mu g/m^3$ , 1,0330  $\mu g/m^3$ , 0,7899  $\mu g/m^3$ , 0,5927  $\mu g/m^3$ , 0,8148  $\mu g/m^3$ , 0,0783  $\mu g/m^3$ , 0,9358  $\mu g/m^3$ , 0,0555  $\mu g/m^3$ , 1,6425  $\mu g/m^3$  đối với mỗi 1 đơn vị (1 m/s) vận tốc gió  $W_s$  tăng lên (khi hướng gió  $W_d$  và nhiệt độ  $T$  không thay đổi). Ngược lại yếu tố hướng gió có sự tác động nghịch khi đối với mỗi 1 đơn vị (1 $^\circ$ K) hướng gió  $W_d$  thay đổi theo chiều hướng tăng thì nồng độ bụi

PM<sub>2.5</sub> lại có xu hướng giảm lần lượt là 0,0450  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 0,0177  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 0,0181  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 0,0200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 0,0299  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 0,0269  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 0,0305  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 0,0319  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 0,0406  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (khi vận tốc gió W<sub>s</sub> và hướng gió W<sub>d</sub> không thay đổi). Tại các vị trí KT3, KT4, KT6, KT7, KT8 và KT9 giá trị nồng độ bụi PM<sub>2.5</sub> có mối tương quan thuận khi 1 đơn vị (1°K) nhiệt độ T tăng lên lần lượt là 0,0272  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 0,0128  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 0,2171  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 0,0159  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 0,0770  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 0,0419  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ngược lại giá trị nồng độ bụi PM<sub>2.5</sub> có mối tương quan nghịch khi 1 đơn vị (1°K) nhiệt độ T tăng lên tại các vị trí KT1, KT2 và KT5 lần lượt là 0,0265  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 0,0599  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  và 0,0264  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Như vậy, trong cả 03 yếu tố khí tượng phân tích thì vận tốc gió có đóng góp cho việc gia tăng mức nồng độ PM<sub>2.5</sub> tại tỉnh Cà Mau giai đoạn tháng 03/2020 và 04/2020 (tỷ lệ thuận), hướng gió tỷ lệ nghịch đến việc gia tăng nồng độ PM<sub>2.5</sub>, trong khi đó nhiệt độ có mức độ tác động phức tạp hơn tùy thuộc vào từng khu vực khác nhau.

**Bảng 5.** Mô tả khí tượng khu vực nghiên cứu tại tháng 03 và 04/2020.

STT	Ký hiệu	Vận tốc gió trung bình (m/s)	Hướng gió	Loại gió chủ yếu
1	KT1	2,57	Đông - Đông Nam	Gió yếu
2	KT2	2,71	Đông - Đông Nam	Gió yếu
3	KT3	2,64	Đông - Đông Nam	Gió yếu
4	KT4	3,01	Đông - Đông Nam	Gió yếu
5	KT5	3,05	Đông - Đông Nam	Gió yếu
6	KT6	2,73	Đông - Đông Nam	Gió yếu
7	KT7	3,31	Đông - Đông Nam	Gió yếu
8	KT8	3,17	Đông - Đông Nam	Gió yếu
9	KT9	2,07	Đông - Đông Nam	Gió yếu

Giai đoạn tháng 03, 04/2020, hướng gió chủ yếu tại khu vực nghiên cứu là Đông -Đông Nam, vận tốc gió tại các vị trí khá thấp, vận tốc gió trung bình 2,07-3,31 m/s, chủ yếu là gió yếu (39-54,4%) và gió nhẹ (26-44,3%) (Hình 7). Tại vị trí KT1, gió yếu chiếm 54,4% và gió



**Hình 7.** Bản đồ hoa gió tại tỉnh Cà Mau thời điểm tháng 03 và 04/2020.



nhẹ chiếm 26%; Tại vị trí KT2 gió yếu chiếm 39% và gió nhẹ chiếm 30,5%; Tại vị trí KT3 gió yếu chiếm 40,4% và gió nhẹ chiếm 28,6%; Tại vị trí KT4 gió yếu chiếm 45,1% và gió nhẹ chiếm 33,7%; Tại vị trí KT5 gió yếu chiếm 47,1% và gió nhẹ chiếm 34,9%; Tại vị trí KT6 gió yếu chiếm 45,3% và gió nhẹ chiếm 29,3%; Tại vị trí KT7 gió yếu chiếm 45,1% và gió nhẹ chiếm 44,3%; Tại vị trí KT8 gió yếu chiếm 51% và gió nhẹ chiếm 34,5%; Tại vị trí KT9 gió yếu chiếm 51% và gió rất nhẹ chiếm 29,3%.

### 3.4. Sự phụ thuộc nồng độ $PM_{2.5}$ vào phát thải

Trong mục này thực hiện đánh giá mức độ đóng góp phát thải theo từng khu vực và theo từng loại tiền chất phát thải. Tỷ lệ đóng góp gây ô nhiễm đối với từng khu vực và từng loại tiền chất từ các nhóm ngành/hoạt động nhân tạo (sectors) cũng được phân tích. Kết quả phân tích, đánh giá mức đóng góp phát thải theo từng tiền chất trên toàn địa bàn tỉnh Cà Mau và tỉ lệ đóng góp của từng nhóm ngành/hoạt động theo từng tiền chất.

Đối với mối quan hệ phụ thuộc nồng độ  $PM_{2.5}$  với các phát thải  $SO_2$ ,  $NO_x$ ,  $NH_3$ , NMVOCs, OC, CO, và BC được thực hiện và được biểu diễn dưới dạng:  $C_{PM_{2.5}} = F(E_{SO_2}, E_{NO_x}, E_{NH_3}, E_{NMVOCs}, E_{OC}, E_{CO} \text{ và } E_{BC})$ . Kết quả các phương trình hồi quy được xây dựng thể hiện mối tương quan đa biến giữa 07 loại phát thải tiền chất ( $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$  và  $x_7$ ) đối với giá trị nồng độ bụi  $PM_{2.5}$  tại tỉnh Cà Mau ( $y_{2,j}$ ) được thể hiện trong Bảng 4.

**Bảng 6.** Phương trình tương quan đa biến giữa giá trị nồng độ  $PM_{2.5}$  với 07 loại phát thải tiền chất, hay  $C_{PM_{2.5}} = F(E_{SO_2}, E_{NO_x}, E_{NH_3}, E_{NMVOCs}, E_{OC}, E_{CO} \text{ và } E_{BC})$ .

Thời gian	Phương trình tương quan
03/2020	$y_{2,1} = 505,9025 + 3,4778x_2 - 27,3894x_3 + 4,6143x_4 + 22,7662x_5 - 0,0353x_6$ $R_1^2 = 0,1681$
04/2020	$y_{2,2} = -422174 + 4,3551x_1 - 99857,237x_2 + 2,8993x_4 + 0,6892x_5 - 0,0005x_6$ $R_2^2 = 0,1716$

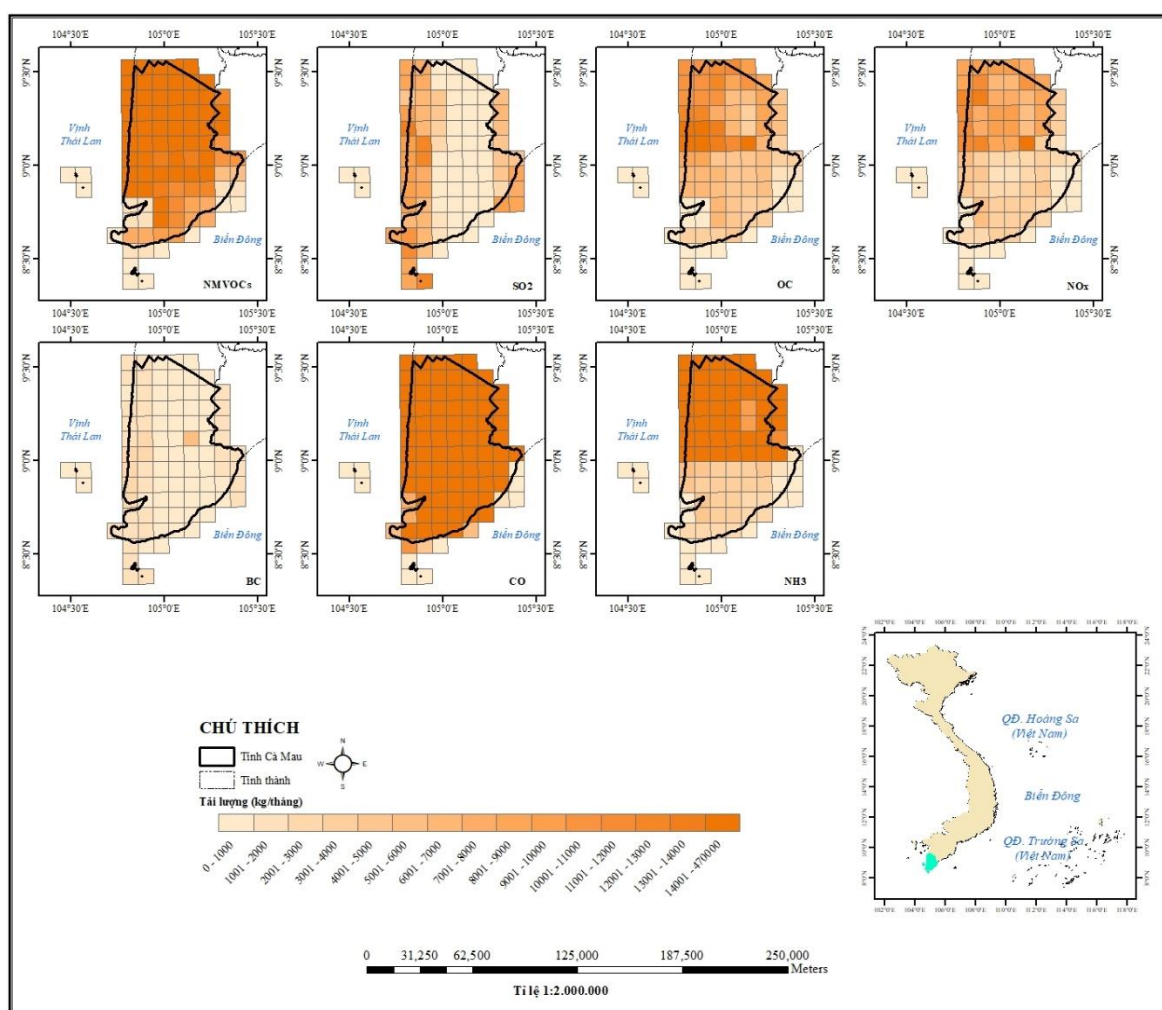
Hệ số tương quan tại các tháng 03/2020 và 04/2020 lần lượt có giá trị là  $R_1 = 0,4101$ ,  $R_2 = 0,4143$ . Sự tương quan đa biến của 07 phát thải tiền chất đặc trưng như trên đều đã giải thích được những ảnh hưởng trong sự thay đổi ở mức giá trị nồng độ bụi  $PM_{2.5}$  tại toàn địa bàn tỉnh Cà Mau. Giá trị nồng độ bụi  $PM_{2.5}$  tại tháng 03/2020 có xu hướng tăng đối với mỗi 1 đơn vị (1 kg/ngày) phát thải của chất  $NO_x$  hoặc NMVOCs hoặc OC tăng lên (khi 06 tiền chất còn lại không thay đổi), cụ thể đối với  $E_{NO_x}$  nồng độ  $PM_{2.5}$  tăng 3,4778 ( $\mu g/m^3$ ); đối với  $E_{NMVOCs}$  nồng độ  $PM_{2.5}$  tăng 4,6143 ( $\mu g/m^3$ ); đối với  $E_{OC}$  nồng độ  $PM_{2.5}$  tăng 22,7662 ( $\mu g/m^3$ ). Ngược lại, giá trị nồng độ bụi  $PM_{2.5}$  có xu hướng giảm đối với mỗi 1 đơn vị (1 kg/ngày) phát thải của chất  $NH_3$  hoặc CO tăng lên (khi 06 tiền chất còn lại không thay đổi), cụ thể đối với  $E_{NH_3}$  nồng độ  $PM_{2.5}$  giảm 27,3894 ( $\mu g/m^3$ ); đối với  $E_{CO}$  nồng độ  $PM_{2.5}$  giảm 0,0353 ( $\mu g/m^3$ ). Từ đó, có thể thấy rằng trong cả 07 phát thải tiền chất phân tích thì  $NO_x$ , NMVOCs và OC có đóng góp cho việc gia tăng mức nồng độ  $PM_{2.5}$  tại Cà Mau vào tháng 03/2020.

Giá trị nồng độ bụi  $PM_{2.5}$  tại tháng 04/2020 có xu hướng tăng đối với mỗi 1 đơn vị (1 kg/ngày) phát thải của chất  $SO_2$  hoặc NMVOCs hoặc OC tăng lên (khi 06 tiền chất còn lại không thay đổi), cụ thể đối với  $E_{SO_2}$  nồng độ  $PM_{2.5}$  tăng 4,3551 ( $\mu g/m^3$ ); đối với  $E_{NMVOCs}$  nồng độ  $PM_{2.5}$  tăng 2,8993 ( $\mu g/m^3$ ); đối với  $E_{OC}$  nồng độ  $PM_{2.5}$  tăng 0,6892 ( $\mu g/m^3$ ). Từ đó, có thể thấy rằng trong cả 07 phát thải tiền chất phân tích thì  $SO_2$ , NMVOCs và OC có đóng góp cho việc gia tăng mức nồng độ  $PM_{2.5}$  tại Cà Mau vào tháng 04/2020.

Trong đó, vào tháng 03/2020 mức độ đóng góp của các tiền chất đến nhóm ngành/hoạt động chính sau: (1) Sản xuất điện với phát thải  $NO_x$  nhiều nhất (chiếm 52%), kế đến là CO (46%); (2) Đốt chất thải nông nghiệp phát thải CO nhiều nhất (chiếm 87%), kế đến là NMVOCs (5%); (3) Quy trình công nghiệp phát thải CO nhiều nhất (chiếm 53%), kế đến là NMVOCs (31%); (4) Đất nông nghiệp phát thải  $NH_3$  nhiều nhất (chiếm 84%), kế đến là CO (14%); (5) Vận tải đường bộ phát thải CO nhiều nhất (chiếm 88%), kế đến là NMVOCs (8%); (6) Chất thải rắn và nước thải phát thải NMVOCs nhiều nhất (chiếm 42%), kế đến là  $NH_3$  (37%); (7) Khu dân cư và các khu vực khác phát thải CO nhiều nhất (chiếm 76%), kế đến là

NMVOCs (11%); (8) Tàu phát thải  $\text{SO}_2$  nhiều nhất (chiếm 90%), kể đến là  $\text{NO}_x$  (5%); (9) chăn nuôi từ nông nghiệp phát thải  $\text{NH}_3$  nhiều nhất (chiếm 98%); (10) sử dụng nhiên liệu hóa thạch phát thải NMVOCs nhiều nhất (chiếm 61%).

Giai đoạn tháng 04/2020 mức độ đóng góp của các tiền chất đến nhóm ngành/hoạt động chính như sau: (1) Sản xuất điện với phát thải  $\text{NO}_x$  nhiều nhất (chiếm 51%), kể đến là CO (44%) và  $\text{SO}_2$  (3%); (2) Đốt chất thải nông nghiệp phát thải CO nhiều nhất (chiếm 88%), kể đến là NMVOCs (5%); (3) Quy trình công nghiệp phát thải CO nhiều nhất (chiếm 45%), kể đến là NMVOCs (26%) và  $\text{SO}_2$  (14%); (4) Đất nông nghiệp phát thải  $\text{NH}_3$  nhiều nhất (chiếm 74%), kể đến là CO (16%) và  $\text{NO}_x$  (10%); (5) Vận tải đường bộ phát thải CO nhiều nhất (chiếm 86%), kể đến là NMVOCs (9%) và  $\text{NO}_x$  (4%); (6) Chất thải rắn và nước thải phát thải NMVOCs nhiều nhất (chiếm 49%), kể đến là  $\text{NH}_3$  (42%); (7) Khu dân cư và các khu vực khác phát thải CO nhiều nhất (chiếm 78%), kể đến là NMVOCs (11%); (8) Tàu phát thải  $\text{NO}_x$  nhiều nhất (chiếm 48%), kể đến là  $\text{SO}_2$  (43%); (9) chăn nuôi từ nông nghiệp phát thải  $\text{NH}_3$  nhiều nhất (chiếm 100%); (10) sử dụng nhiên liệu hóa thạch phát thải NMVOCs nhiều nhất (chiếm 72%).



Hình 8. Phân bố không gian tải lượng các phát thải tiền chất tại Cà Mau thời điểm tháng 03/2020.

#### 4. Kết luận

Nghiên cứu đã đạt được các kết quả chính sau đây:

Thứ nhất, đã mô phỏng được nồng độ  $\text{PM}_{2.5}$  cho hai tháng mùa khô là tháng 03 và 04 năm 2020 tại tỉnh Cà Mau. Kết quả mô phỏng cho thấy nồng độ  $\text{PM}_{2.5}$  trung bình 24 giờ của tháng 03/2020 chưa vượt ngưỡng giới hạn cho phép của QCVN 05:13/BTNMT, giá trị nồng độ dao động trong khoảng 7,82-51,72  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Giá trị nồng độ  $\text{PM}_{2.5}$  trung bình 24 giờ giai

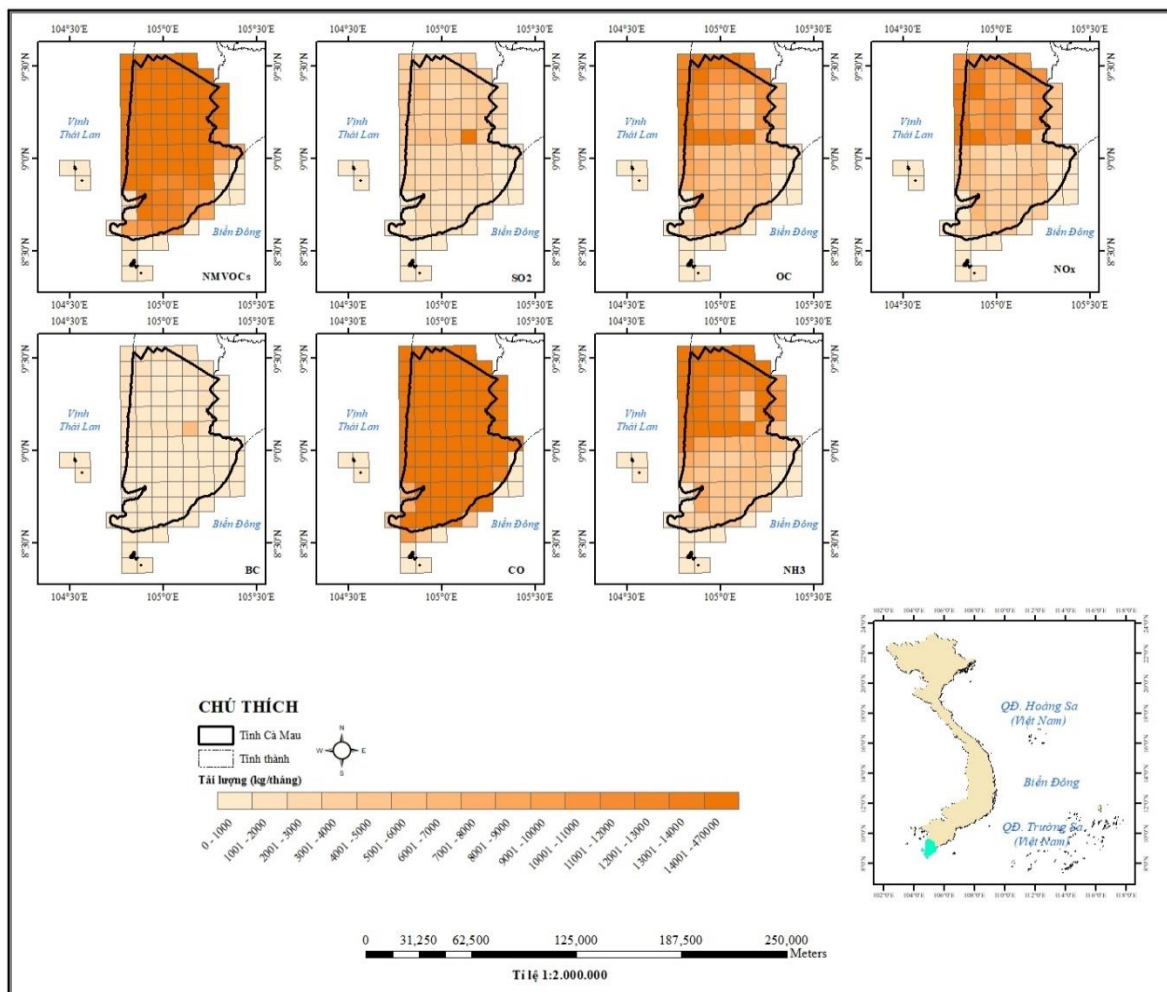
đoạn tháng 04/2020 là 7,05-114,42  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Vào tháng 04 đã có 3/30 ngày vượt ngưỡng giá trị cho phép từ 1,21-1,27 lần tùy vào thời điểm và vị trí. Có thể thấy được nồng độ  $\text{PM}_{2.5}$  của tháng 04 cao hơn tháng 03 và nồng độ  $\text{PM}_{2.5}$  khu vực thành phố Cà Mau cao hơn các vị trí còn lại.

Thứ hai, đã mô phỏng được các yếu tố khí tượng cho cả hai tháng 03 và 04 năm 2020. Vận tốc gió tại khu vực nghiên cứu khá thấp, chủ yếu là gió yếu và gió nhẹ, hướng gió chủ yếu là Đông - Đông Nam. Vận tốc gió trung bình của khu vực trong hai tháng là 2,07-3,31 m/s, gió yếu dao động từ 39-54,4% và gió nhẹ dao động từ 26-44,3%.

Thứ ba, đã đánh giá đóng góp của các phát thải tiền chất vào ô nhiễm  $\text{PM}_{2.5}$ . Dựa trên kết quả phân tích trong nghiên cứu, 07 tiền chất  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{BC}$ ,  $\text{OC}$ ,  $\text{NMVOCs}$  là các dạng tiền chất có đóng góp chính đến ô nhiễm bụi  $\text{PM}_{2.5}$  tại tỉnh Cà Mau.

Thứ tư, đã tìm ra mối tương quan giữa giá trị  $\text{PM}_{2.5}$  và các yếu tố khí tượng. Cụ thể trong ba yếu tố khí tượng phân tích thì vận tốc gió có đóng góp cho việc gia tăng mức nồng độ  $\text{PM}_{2.5}$  tại tỉnh Cà Mau giai đoạn tháng 03/2020 và 04/2020 (tỷ lệ thuận), hướng gió tỷ lệ nghịch đến việc gia tăng nồng độ  $\text{PM}_{2.5}$ , trong khi đó nhiệt độ có mức độ tác động phức tạp hơn tùy thuộc vào từng khu vực khác nhau.

Trong nghiên cứu này vẫn tồn tại một số hạn chế có thể dẫn đến sự không chắc chắn trong kết quả đạt được và tạo ra sai số cho các phân tích, đánh giá như sự hạn chế về dữ liệu nồng độ  $\text{PM}_{2.5}$  thực đo. Cụ thể, bộ số liệu thực đo được sử dụng để kiểm định mô hình là từ các trạm quan trắc tại Tp. HCM, Bình Dương và Đồng Nai. Dù có những hạn chế nhất định trong kết quả nghiên cứu được trình bày nhưng kết quả của đề tài đã cung cấp được những thông tin có giá trị liên quan đến đóng góp của phát thải tiền chất cũng như khí tượng cho sự hình thành  $\text{PM}_{2.5}$ , tạo cơ sở cho các nghiên cứu tiếp theo tại tỉnh Cà Mau.



**Hình 9.** Phân bố không gian tải lượng các phát thải tiền chất tại Cà Mau thời điểm tháng 04/2020.



**Đóng góp của tác giả:** Xây dựng ý tưởng nghiên cứu và đặt ra bài toán: B.T.L.; Viết bản thảo, chỉnh sửa bài báo: B.T.L.; Xử lý số liệu: N.T.X.; Viết báo cáo kỹ thuật; chỉnh sửa bài báo: N.T.X.; GIS, biện luận phần khí tượng, xây dựng phương trình tương quan: N.C.M.D.

**Lời cảm ơn:** Chúng tôi xin cảm ơn Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM đã hỗ trợ cho nghiên cứu này.

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

#### Tài liệu tham khảo

1. Jerrett, M. Atmospheric science: The death toll from air-pollution sources. *Nature* **2015**, 525, 330–331. Doi:10.1038/525330a.
2. GreenID. Report of Air Quality in 2017. Cau Giay, Ha Noi, 2017.
3. Landrigan, P.J. et al. The lancet commission on pollution and health. *Lancet* **2018**, 391, 462–512. Doi:10.1016/S0140-6736(17)32345-0.
4. Chen, L.; Zhu, J.; Liao, H.; Yang, Y.; Yue, X. Meteorological influences on PM<sub>2.5</sub> and O<sub>3</sub> trends and associated health burden since China's clean air actions. *Sci. Total Environ.* **2020**, 744, 140837. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140837.
5. Hung, T.D. et al. Applied GIS technologies and satellite in monitoring content of PM<sub>2.5</sub> dust variation in the North of Vietnam in 2000-2005-2010. National Scientific Conference on Meteorology, Hydrology, Environment and Climate Change. 2017, pp. 476–482.
6. Nguyen. T.T.N. et al. Current status of PM<sub>2.5</sub> pollution and its mitigation in Vietnam. *Glob. Environ. Res.* **2018**, 22, 073–083.
7. MONRE. Vietnam National Environmental Report 2017. Ha Noi Capital. 2018.
8. Do, T.N.N. et al. Application of WRF-Chem to simulate air quality over Northern Vietnam. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2021**, 28, 12067–12081. Doi: 10.1007/s11356-020-08913-y.
9. Li, J. et al. Estimation of PM<sub>2.5</sub> mortality burden in China with new exposure estimation and local concentration-response function. *Environ. Pollut.* **2018**, 243, 1710–1718. doi: 10.1016/j.envpol.2018.09.089.
10. Toledo, T. et al. WRF-SMOKE-CMAQ modeling system for air quality evaluation in São Paulo megacity with a 2008 experimental campaign data. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2018**, 25, 36555–36569.
11. Pope III, C.A. et al. Lung Cancer, Cardiopulmonary Mortality, and Long-term Exposure to Fine Particulate Air Pollution. *JAMA.* **2002**, 287, 1132–1141. Doi: 10.1001/jama.287.9.1132.
12. Cohen, A.J. et al. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. *Lancet* **2017**, 389, 1907–1918. Doi:10.1016/S0140-6736(17)30505-6.
13. Zhao, P. et al. Long-term visibility trends and characteristics in the region of Beijing, Tianjin, and Hebei, China. *Atmos. Res.* **2011**, 101, 711–718. Doi: 10.1016/j.atmosres.2011.04.019.
14. Zhao, H. et al. Characteristics of visibility and particulate matter (PM) in an urban area of Northeast China. *Atmos. Pollut. Res.* **2013**, 4, 427–434. Doi: 10.5094/APR.2013.049.
15. Bond, T.C. et al. Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment. *J. Geophys. Res. Atmos.* **2013**, 118, 5380–5552. Doi: 10.1002/jgrd.50171.
16. Tai, A.P.K. et al. Meteorological modes of variability for fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) air quality in the United States: Implications for PM<sub>2.5</sub> sensitivity to climate change. *Atmos. Chem. Phys.* **2012**, 12, 3131–3145. Doi: 10.5194/acp-12-3131-2012.
17. Long, B.T.; Phong, N.H.; Duyen, N.C.M. Spatio-temporal modelling and related factors analysis of PM 2.5 pollution : A case study of Ho Chi Minh city, Vietnam. *Phys. Chem.*

- Earth*. **2023**, 131, 103417. Doi: 10.1016/j.pce.2023.103417.
18. Long, B.T.; Nhi, N.H.T.; Phong, N.H. Chronic and acute health effects of PM<sub>2.5</sub> exposure and the basis of pollution control targets. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2023**. Doi: 10.1007/s11356-023-27936-9.
19. Long, B.T.; Phong, N.H.; Duyen, N.C.M. Linking air quality, health, and economic effect models for use in air pollution epidemiology studies with uncertain factors. *Atmos. Pollut. Res.* **2021**, 12(7), 1011118. Doi:10.1016/j.apr.2021.101118.
20. Chi, N.N.H.; Oanh, N.T.K. Photochemical smog modeling of PM<sub>2.5</sub> for assessment of associated health impacts in crowded urban area of Southeast Asia. *Environ. Technol. Innov.* **2021**, 21, 101241. Doi: 10.1016/j.eti.2020.101241.
21. Huy, D.H. et al. Fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) in Ho Chi Minh City: Analysis of the status and the temporal variation based on the continuous data from 2013-2017. *Sci. Technol. Dev. J. Nat. Sci.* **2018**, 2(5), 30–137.
22. Squizzato, S. et al. Factors determining the formation of secondary inorganic aerosol: A case study in the Po Valley (Italy). *Atmos. Chem. Phys.* **2013**, 13, 1927–1939. Doi: 10.5194/acp-13-1927-2013.
23. Hallquist, M. et al. The formation, properties and impact of secondary organic aerosol: Current and emerging issues. *Atmos. Chem. Phys.* **2009**, 9, 5155–5236. Doi: 10.5194/acp-9-5155-2009.
24. Hien, T.T.; Chi, N.D.T.; Nguyen, N.T.; Vinh, L.X.; Takenaka, N.; Huy, D.H. Current status of fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) in vietnam's most populous city, Ho Chi Minh City. *Aerosol Air Qual. Res.* **2019**, 19, 2239–2251. Doi:10.4209/aaqr.2018.12.0471.
25. Zhang, B.N.; Oanh, N.T.K. Photochemical smog pollution in the Bangkok Metropolitan Region of Thailand in relation to O<sub>3</sub> precursor concentrations and meteorological conditions. *Atmos. Environ.* **2002**, 36, 4211–4222.
26. Zhang, L.; Liao, H.; and Li, J. Impacts of Asian summer monsoon on seasonal and interannual variations of aerosols over eastern China. *J. Geophys. Res. Atmos.* **2010**, 115, 1–20. Doi:10.1029/2009JD012299.
27. Han, X.; Zhang, M.; Gao, J.; Wang, S.; and Chai, F. Modeling analysis of the seasonal characteristics of haze formation in Beijing. *Atmos. Chem. Phys.* **2014**, 14, 10231–10248. Doi:10.5194/acp-14-10231-2014.
28. Huang, X.; Wang, Z. and Ding, A. Impact of Aerosol-PBL Interaction on Haze Pollution: Multiyear Observational Evidences in North China. *Geophys. Res. Lett.* **2018**, 45, 8596–8603. Doi:10.1029/2018GL079239.
29. Zhang, Y. et al. Long-term trends in the ambient PM<sub>2.5</sub>- and O<sub>3</sub>-related mortality burdens in the United States under emission reductions from 1990 to 2010. *Atmos. Chem. Phys.* **2018**, 18, 15003–15016. Doi:10.5194/acp-18-15003-2018.
30. Yang, Y. et al. Dust-wind interactions can intensify aerosol pollution over eastern China. *Nat. Commun.* **2017**, 8, 1–8. Doi:10.1038/ncomms15333.
31. Zhang, Z.; Wang, K. Stilling and recovery of the surface wind speed based on observation, reanalysis, and geostrophic wind theory over China from 1960 to 2017. *J. Clim.* **2020**, 33, 3989–4008. Doi:10.1175/JCLI-D-19-0281.1.
32. Gao, Y. et al. Modeling the feedback between aerosol and meteorological variables in the atmospheric boundary layer during a severe fog-haze event over the North China Plain. *Atmos. Chem. Phys.* **2015**, 15, 4279–4295. Doi:10.5194/acp-15-4279-2015.
33. Chen, Z. et al. The control of anthropogenic emissions contributed to 80% of the decrease in PM<sub>2.5</sub> concentrations in Beijing from 2013 to 2017. *Atmos. Chem. Phys.* **2019**, 19, 13519–13533. Doi:10.5194/acp-19-13519-2019.
34. Racherla, P.N.; Adams, P.J. Sensitivity of global tropospheric ozone and fine particulate matter concentrations to climate change. *J. Geophys. Res. Atmos.* **2006**, 111, 1–11. Doi:10.1029/2005JD006939.
35. Wang, X. et al. PM<sub>2.5</sub> pollution in China and how it has been exacerbated by terrain and meteorological conditions. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* **2018**, 99, 105–120. Doi:10.1175/BAMS-D-16-0301.1.

36. Tao, H. et al. Impacts of improved modeling resolution on the simulation of meteorology, air quality, and human exposure to PM<sub>2.5</sub>, O<sub>3</sub> in Beijing, China. *J. Clean. Prod.* **2020**, 243, 118574. Doi:10.1016/j.jclepro.2019.118574.
37. Henze, D.K.; Seinfeld, J.H.; Shindell, D.T. Inverse modeling and mapping US air quality influences of inorganic PM 2.5 precursor emissions using the adjoint of GEOS-Chem. *Atmos. Chem. Phys.* **2009**, 9, 5877–5903. Doi:10.5194/acp-9-5877-2009.
38. Wong, D.C. et al. WRF-CMAQ two-way coupled system with aerosol feedback: Software development and preliminary results. *Geosci. Model Dev.* **2012**, 5, 299–312. Doi:10.5194/gmd-5-299-2012.
39. Ca Mau CEM. Report on the current state of the environment in Ca Mau province in 2015-2020, Ca Mau, 2020.
40. Ca Mau CEM. Environmental planning of Ca Mau province until 2010 and orientation to 2020, Ca Mau, 2021.
41. The economy of Ca Mau province has achieved a good growth rate, the scale of the economy has continuously increased over 17 years of implementing Resolution No. 21-NQ/TW of the Politburo. Ca Mau Provincial Party Committee's electronic information portal, Ca Mau, 2021.
42. Weather underground. Data. <https://www.wunderground.com/> (01/08/2023)
43. Dong Nai CEM. Air quality monitoring report of Dong Nai province. Dong Nai, 2021.
44. Binh Duong CEM, Report on air quality monitoring results in Binh Duong province in 2020. Thu Dau Mot. 2021.
45. AirNow Department of State, World air quality report 2020. 2020.
46. United States Environmental Protection Agency. Community Multiscale Air Quality Modeling System (CMAQ). 2021.
47. NCEP. NCEP FNL Operational Model Global Tropospheric Analyses, Continuing from July 1999. 2018.

## **Simulating PM<sub>2.5</sub> dust pollution and analyzing related factors – The case of Ca Mau province, Vietnam**

**Ngô Thị Xuan<sup>1,2</sup>, Nguyễn Châu My Duyên<sup>1,2</sup>, Bùi Ta Long<sup>1,2\*</sup>**

<sup>1</sup> Faculty of Environment and Natural Resources, Ho Chi Minh City University of Technology; ngothixuana3qt@gmail.com; nguyenduyen91@hcmut.edu.vn; longbt62@hcmut.edu.vn

<sup>2</sup> Vietnam National University Ho Chi Minh City; ngothixuana3qt@gmail.com; nguyenduyen91@hcmut.edu.vn; longbt62@hcmut.edu.vn

**Abstract:** PM<sub>2.5</sub> air pollution is a factor that seriously impacts human health not only in large urban areas, but also affects rural provinces, in this case study, Ca Mau province. Currently, the Provincial People's Committee is in the process of developing an air environment quality management plan for the entire province. In which the task of assessing fine dust pollution is set. To solve this goal, the pair of WRF/CMAQ models is used on the one hand to form a pollution distribution map, and on the other hand to find the dependence between the level of PM<sub>2.5</sub> pollution and emissions factors and meteorology. The anthropogenic and biological (natural) emissions inventory data set from the global emission inventory source ECCAD (Emissions of atmospheric compounds and compilation of ancillary data) is used. Simulation results performed for 2 typical months of the 2020 dry season show that the average 24-hour PM<sub>2.5</sub> concentration in March 2020 has not exceeded the allowable limit of QCVN 05:13/BTNMT, the level concentration fluctuates between 7.82-51.72 µg/m<sup>3</sup>. The average 24-hour PM<sub>2.5</sub> concentration value in April 2020 is 7.05-114.42 µg/m<sup>3</sup>. The results of analysis of concentration dependence on emissions and meteorology were also analyzed and were clarified.

**Keywords:** WRF/CMAQ models; PM<sub>2.5</sub>; Meteorology; Emission; Ca Mau.