

Bài báo khoa học

## **Đánh giá các tác động sức khỏe cộng đồng do phơi nhiễm ngắn hạn ô nhiễm PM<sub>2.5</sub>: Nghiên cứu điển hình tại tỉnh Bình Dương**

**Lê Tuyết Ngọc<sup>1,2</sup>, Nguyễn Châu Mỹ Duyên<sup>1,2</sup>, Nguyễn Hoàng Phong<sup>1,2</sup>, Bùi Tá Long<sup>1,2\*</sup>**

<sup>1</sup> Trường Đại học Bách Khoa Tp. HCM; ngoc.le15@hcmut.edu.vn;

nguyenduyen91@hcmut.edu.vn; nhphong@dcselelab.edu.vn; longbt62@hcmut.edu.vn

<sup>2</sup> Đại học Quốc gia Tp. HCM; ngoc.le15@hcmut.edu.vn; nguyenduyen91@hcmut.edu.vn; nhphong@dcselelab.edu.vn; longbt62@hcmut.edu.vn

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

Ban Biên tập nhận bài: 12/1/2023; Ngày phản biện xong: 23/2/2023; Ngày đăng bài: 25/2/2023

**Tóm tắt:** Bình Dương có vai trò quan trọng trong chiến lược phát triển chung, và là một trung tâm kinh tế - xã hội, chính trị, văn hóa, giáo dục của Việt Nam. Cùng với sự phát triển kinh tế vượt bậc, tỉnh Bình Dương đang phải đối mặt với vấn đề suy giảm chất lượng không khí (CLKK), đặc biệt là ô nhiễm PM<sub>2.5</sub>. Mục tiêu của nghiên cứu là đánh giá những tác động sức khỏe cấp tính do ô nhiễm PM<sub>2.5</sub> trong tháng 1/2019 và 7/2019. Để ước tính sự phân bố PM<sub>2.5</sub>, nghiên cứu đã áp dụng các mô hình khí tượng WRF (Weather Research and Forecast) kết hợp với chất lượng không khí CMAQ (Community Multiscale Air Quality Modeling System) và mô hình thiệt hại sức khỏe để phân tích, định lượng. Tổng số trường hợp ước tính có thể đạt 3.628 ca nhập viện điều trị nội trú và 5.980 ca thăm khám cấp cứu. Khung nghiên cứu này có thể áp dụng cho nhiều địa phương khác ở Việt Nam để đánh giá tác động của ô nhiễm PM<sub>2.5</sub>. Đồng thời, đây cũng là cơ sở khoa học ban đầu để các cơ quan quản lý đề xuất biện pháp kiểm soát ô nhiễm PM<sub>2.5</sub> và xây dựng một Kế hoạch hành động không khí sạch nhằm giảm thiểu tác động tiêu cực đến cộng đồng và đạt được những lợi ích kinh tế cho các mục tiêu phát triển bền vững đến 2030.

**Từ khóa:** Bình Dương; Kiểm soát ô nhiễm; PM<sub>2.5</sub>; Tác động ngắn hạn; WRF/CMAQ.

### **1. Mở đầu**

Hiện nay, CLKK tại các đô thị lớn của nước ta ngày càng bị suy giảm bởi vì sự đẩy mạnh phát triển kinh tế, công nghiệp hóa và đô thị hóa diễn ra nhanh [1]. Ô nhiễm PM<sub>2.5</sub> là một trong những vấn đề đã tồn tại kéo dài trong nhiều năm trở lại đây ở các thành phố lớn, mà chưa thể có được giải pháp kiểm soát hiệu quả [2–3]. Ô nhiễm PM<sub>2.5</sub> đã được chứng minh là một trong những nguyên nhân chính ảnh hưởng nghiêm trọng đến sức khỏe con người [4–7]. Tính đến năm 2018, thống kê của Tổ chức Y tế Thế giới (WHO) về số ca tử vong sớm liên quan đến PM<sub>2.5</sub> đã tăng vọt lên mức khoảng 7 triệu người/năm [8]. Từ 2004 đến nay, tại các thành phố (TP.) như Hà Nội và Hồ Chí Minh, những số liệu quan trắc đã cho thấy mức nồng độ PM<sub>2.5</sub> vượt ngưỡng quy định trong Quy chuẩn Quốc gia (QCVN 05:2013/BTNMT) rất nhiều lần [2]. Đồng thời, một số nghiên cứu về dịch tễ của [9–10] cũng đã báo cáo tác động ngắn hạn của PM<sub>2.5</sub> gây suy giảm hệ hô hấp ở trẻ em và kết quả của [11] đã đánh giá được những ảnh hưởng tương tự do bệnh hệ tim mạch ở Việt Nam. Mặt khác, WHO cũng đã xếp Việt Nam vào nhóm các nước có nồng độ PM<sub>2.5</sub> ở mức cao [12] và khả năng phơi nhiễm PM<sub>2.5</sub> dựa trên trọng số dân số được ước tính tại Việt Nam năm 2019 trung bình là 20 µg/m<sup>3</sup> (khoảng từ 16,6–25,0 µg/m<sup>3</sup>) [13].

Các bệnh không lây nhiễm phổ biến nhất có liên quan đến tiếp xúc với ô nhiễm PM<sub>2.5</sub> chủ yếu đối với hệ hô hấp như bệnh phổi tắc nghẽn mãn tính hay COPD (*Chronic Obstructive Pulmonary Disease*), bệnh tim thiếu máu cục bộ hay IHD (*Ischemic Heart Disease*), ung thư phổi và đột quỵ [14]. Nhiều bằng chứng gần đây cũng đã cho thấy ngay cả ở mức nồng độ rất thấp, PM<sub>2.5</sub> vẫn gây tác động làm tăng khả năng tử vong [15–17]. Hơn nữa, PM<sub>2.5</sub> cũng dẫn đến các bệnh tật liên quan đến phá hủy DNA và cả bệnh ung thư [18–19]. Do vậy, từ những lý do nêu trên có thể thấy rằng rủi ro sức khỏe là thước đo để phân tích ảnh hưởng của ô nhiễm PM<sub>2.5</sub> đến cộng đồng địa phương và cũng là cơ sở để xác định tổn thất kinh tế gây ra bởi rủi ro sức khỏe; chúng sẽ là thước đo thể hiện số tiền bồi thường hay nói cách khác là một số tiền đầu tư tương xứng cho các giải pháp kiểm soát hiệu quả trong tương lai, cũng như nâng cao CLKK nói chung. Mô hình hóa là một trong những cách tiếp cận điển hình để phân tích và đánh giá tác động của ô nhiễm, nhất là PM<sub>2.5</sub> và tổn thất sức khỏe con người đã mang lại sự hiệu quả, kể cả từ các nước ở Tây Âu hay Hoa Kỳ [20–24] cho đến các nước đang phát triển như Trung Quốc [25–26], Bra-xin [27], Iran [28–30] và Nam Phi [31]. Trong đó, *Air Quality Health Impact Assessment (AirQ+)* và *Environmental Benefits Mapping and Analysis Program-Community Edition* là hai trong số những phần mềm được sử dụng phổ biến nhất [32]. Mặc dù, BenMAP-CE có nhiều lợi thế hơn từ hệ thống GIS (*Geographic Information System*), thuận lợi để biên tập các bản đồ phân bố ô nhiễm, dân số phơi nhiễm, tỷ lệ nền, ước tính tác động kinh tế và các loại dữ liệu khác [33]; Tuy nhiên, cả AirQ+ và BenMAP-CE đều cho ra các kết quả mô phỏng tương tự và xem xét cùng một loại dữ liệu đầu vào được xử lý theo như kết quả phân tích của nghiên cứu [34].

Mặt khác, đến năm 2030, các mục tiêu phát triển bền vững của Liên hợp quốc cũng đã được Chính phủ cũng cam kết thực thi, trong đó cải thiện được chất lượng cuộc sống người dân và phát triển các đô thị bền vững phải được chú trọng [2]. Theo kinh nghiệm chung của nhiều nước phát triển, để giảm thiểu được PM<sub>2.5</sub> cần phải thay đổi trong cách tiếp cận với một Luật Không khí sạch chung và một Kế hoạch hành động không khí sạch ở cấp độ địa phương trong việc triển khai giải pháp nâng cao CLKK, làm rõ vai trò của cơ quan quản lý, người dân và các bên liên quan [35–36]. Có được minh chứng thuyết phục để hỗ trợ xây dựng chính sách kiểm soát PM<sub>2.5</sub> phù hợp là đánh giá mức độ tổn thất từ các trường hợp tử vong sớm, điều trị bệnh mắc do tiếp xúc ô nhiễm và lượng hóa được thành các giá trị kinh tế [37]. Đồng thời, sự tin cậy về tác hại của ô nhiễm lên sức khỏe người dân và mức tổn thất kinh tế là định hướng chính cho hoạt động quản lý CLKK cấp địa phương và hướng đến mục tiêu hợp tác liên vùng [38–39]. Tuy nhiên, cho đến nay, những nghiên cứu như vậy vẫn là khá ít tại Việt Nam; chính việc thiếu nguồn dữ liệu cấp địa phương đã chưa đủ tạo ra bằng chứng thuyết phục về ảnh hưởng của PM<sub>2.5</sub> lên sức khỏe cộng đồng ở Việt Nam [37] và cũng cản trở khả năng của chính quyền trong việc triển khai các hành động để giảm thiểu ô nhiễm không khí và cải thiện sức khỏe người dân đô thị [12]. Hầu hết các nghiên cứu ở quy mô toàn cầu ước tính gánh nặng sức khỏe do phơi nhiễm PM<sub>2.5</sub> đối với Việt Nam đã dựa trên nguồn dữ liệu vệ tinh với mức phân giải không gian khá thấp, chỉ khoảng khoảng 11km × 11km [13]. Trong khi ở cấp độ quốc gia, chỉ một số nghiên cứu mới đây báo cáo tỷ lệ tử vong do phơi nhiễm với PM<sub>2.5</sub> tại TP. Hồ Chí Minh vào năm 2017 của [40] và năm 2018 của [41]. Hơn nữa, hầu như trong số các nghiên cứu trước đây chưa có bất kỳ đánh giá nào đưa ra các dữ liệu ước tính được chi tiết đến cấp độ địa phương (quận/huyện) và/hoặc sử dụng QCVN 05:2013/BTNMT làm cơ sở lượng hóa tổn thất sức khỏe do phơi nhiễm PM<sub>2.5</sub>.

Từ đó, có thể thấy rằng những nghiên cứu như vậy hầu hết mới chỉ được thực hiện tại TP. Hà Nội và TP. Hồ Chí Minh, trong khi đó Bình Dương cũng là một khu vực có kinh tế - xã hội phát triển mạnh mẽ và cũng có những vấn đề về ô nhiễm PM<sub>2.5</sub> nhưng lại chưa nhận được nhiều sự chú ý. Đây là một trong những nghiên cứu đầu tiên thực hiện đánh giá các tác động sức khỏe cộng đồng cấp tính do phơi nhiễm PM<sub>2.5</sub> trên địa bàn tỉnh Bình Dương theo một cách tiếp cận mô hình hóa dựa trên đa mô hình kết hợp khí tượng–CLKK–sức khỏe nhằm khắc phục những sự hạn chế về các nguồn dữ liệu đo đạc theo quy mô không gian–thời gian. Đồng

thời, để có được một cơ sở khoa học bước đầu hỗ trợ giải quyết những vấn đề cấp thiết nêu trên của tỉnh, nghiên cứu này đã được thực hiện nhằm giải quyết các mục tiêu cụ thể như (i) đánh giá hiện trạng phân bố không gian–thời gian ô nhiễm PM<sub>2.5</sub> trên địa bàn tỉnh Bình Dương với sự lựa chọn những giai đoạn ô nhiễm ở các tháng 1/2019 và 7/2019 bằng các mô phỏng WRF/CMAQ kết hợp; và (ii) tính toán một cách định lượng gánh nặng tử vong sớm và mắc các bệnh có liên quan, mà tập trung chủ yếu vào các loại hình thiệt hại do bệnh về đường hô hấp do tiếp xúc ngắn hạn từ việc sử dụng nguồn dữ liệu phân giải không gian cao đạt được ở cấp độ địa phương và tham chiếu đến các giá trị ngưỡng giới hạn của QCVN 05:2013/BTNMT và Hướng dẫn về Chất lượng không khí toàn cầu của Tổ chức Y tế Thế giới WHO (*World Health Organization*) năm 2021.

## 2. Phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Mô tả khu vực nghiên cứu

Tỉnh Bình Dương thuộc khu vực Đông Nam Bộ và cũng thuộc vùng kinh tế trọng điểm phía Nam, có phạm vi giới hạn tọa độ địa lý từ 10°51'N đến 11°30'N và 106°20'E đến 106°58'E; cùng với TP. Hồ Chí Minh, Bình Dương cũng được xem một trong những trung tâm về kinh tế, chính trị, văn hóa, giải trí và giáo dục của cả nước [42]. Toàn bộ tỉnh thuộc vùng khí hậu nhiệt đới gió mùa gồm mùa mưa (từ tháng 5–11) và mùa khô (từ tháng 12 năm trước – tháng 4 năm sau) [43]. Diện tích của khu vực nghiên cứu là 2.694,6 km<sup>2</sup> [44] và số dân trung bình năm 2019 là 2.456,319 nghìn người [45]. Mặc dù chỉ chiếm 0,81% so với tổng diện tích và khoảng 2,55% tổng số dân của cả nước nhưng tỉnh Bình Dương đã đóng góp đến 6% giá trị GDP (*Gross Domestic Product*), lên đến 261,9 tỷ USD trong năm 2019 [44, 46].

Hiện nay, việc giám sát CLKK xung quanh ở tỉnh Bình Dương do Trung tâm quan trắc Tài nguyên và Môi trường (TNMT) thực hiện theo Quyết định số 918/2012/QĐ-UBND ngày 06/04/2012 của Ủy ban Nhân dân (UBND) tỉnh Bình Dương về phê duyệt Quy hoạch mạng lưới quan trắc TNMT cấp tỉnh. Mạng lưới có 16 điểm đo với tần suất đo là 1 lần/tháng cho 12 tháng/năm với mục tiêu đo môi trường nền và khu vực nông thôn, các khu vực đô thị, hoạt động giao thông và khu vực hoạt động công nghiệp (Bảng 1). Trong năm 2019, ô nhiễm không khí chủ yếu xảy ra tại các điểm đo ở các nút giao thông (vị trí GT1 và GT2), một số ở những khu/cụm công nghiệp (KCN/CCN) (vị trí CN3) và khu đô thị (vị trí DT6) khi vượt giới hạn cho phép (GHCP) của QCVN 05:2013/BTNMT từ 1,1–2,7 lần [47].

**Bảng 1.** Các vị trí 16 trạm đo CLKK năm 2019 tại khu vực nghiên cứu.

Ký hiệu	Tọa độ		Địa điểm
	Vĩ độ (Y [m])	Kinh độ (Y [m])	
Khu vực sản xuất công nghiệp			
CN1	692031,997	1204772,562	Thuộc KCN Sóng Thần II, Tx. Dĩ An
CN2	688094,444	1213568,859	Gần CCN Thuận Giao, TP. Thuận An
CN3	706571,700	1220624,930	Mỏ đá Thường Tân, huyện Bắc Tân Uyên
CN4	678344,288	1230998,006	Thuộc KCN Mỹ Phước II, Tx. Bến Cát
CN5	678184,286	1243472,264	Thuộc KCN Bàu Bàng, huyện Bàu Bàng
Khu đô thị			
DT1	692946,131	1204255,490	Thuộc khu vực trung tâm hành chính, Tx. Dĩ An
DT2	685951,931	1205844,062	Khu phố chợ, phường Lái Thiêu, Tx. Thuận An
DT3	680987,706	1213959,148	Khu vực trung tâm quan trắc ở phường Phú Lợi, TP. Thủ Dầu Một
DT4	684158,336	1222426,803	Trung tâm hành chính TP mới thuộc phường Phú Chánh, TP. Thủ Dầu Một
DT5	697022,131	1223485,272	Khu vực đô thị trung tâm, thị trấn Mỹ Phước, Tx. Bến Cát
DT6	696352,328	1223819,254	Khu vực thị trấn Uyên Hưng, Tx. Tân Uyên
Các hoạt động giao thông			
GT1	690582,994	1213767,559	Khu vực ngã tư thuộc phường Bình Chuẩn, TP. Thuận An



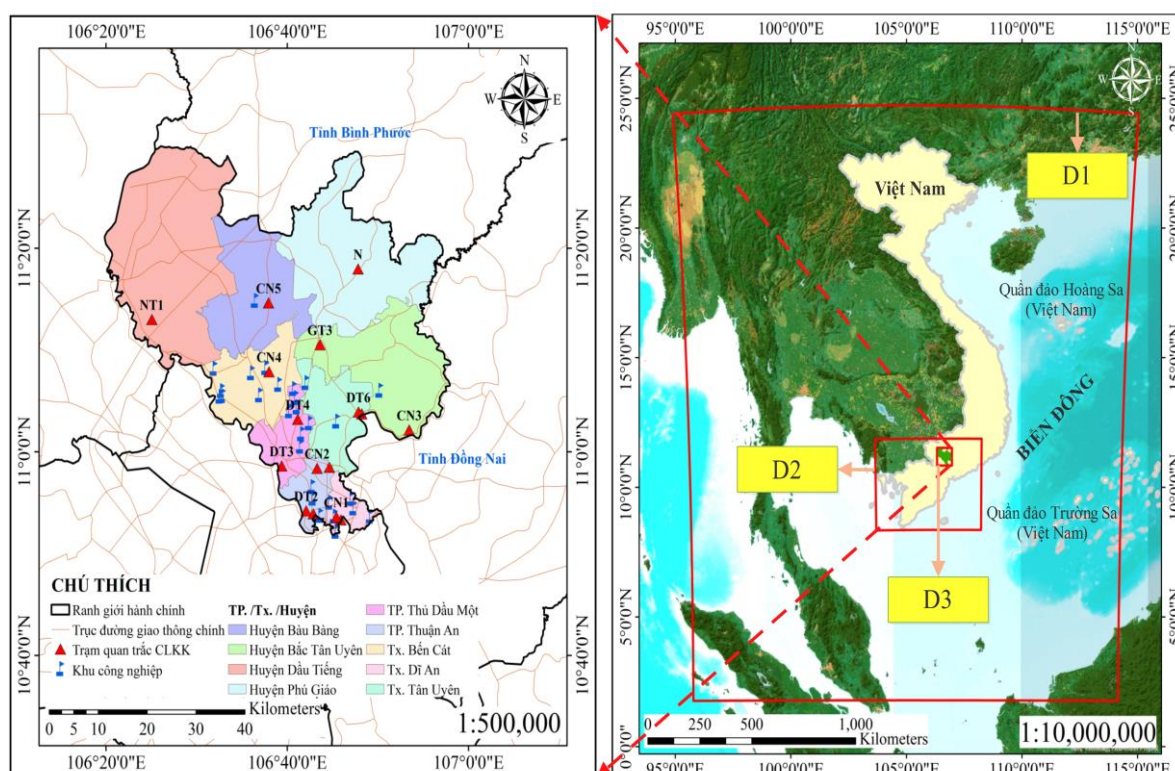
Ký hiệu	Tọa độ		Địa điểm
	Vĩ độ (Y [m])	Kinh độ (Y [m])	
GT2	687382,180	1205329,759	Khu vực ngã tư thuộc phường Bình Hòa, TP. Thuận An
GT3	688541,596	1235972,278	Lân cận khu vực ngã ba công xanh ở xã Tân Bình, huyện Bắc Tân Uyên
Môi trường nền và khu vực nông thôn			
N	696134,011	1249722,980	Khu vực nghĩa trang Liệt sĩ thuộc xã Phước Vĩnh, huyện Phú Giáo
NT1	654780,749	1240349,652	Khu vực thuộc nông trường cao su Thanh An, huyện Dầu Tiếng

## 2.2. Phương pháp mô phỏng và đánh giá sự phân bố ô nhiễm $PM_{2.5}$

### 2.2.1. Cấu hình mô hình

Hệ thống mô hình kết hợp WRF-CMAQ lần lượt với các phiên bản 3.8 (cho WRF) và 5.2.1 (cho CMAQ) đã được áp dụng trong nghiên cứu này và sự mô tả thiết lập kỹ thuật của các lưới tính (lồng nhau) để mô phỏng trong WRF/CMAQ được thể hiện trong Bảng 2. Cụ thể, mức phân giải cho lưới tính nhỏ nhất để mô phỏng cho tỉnh Bình Dương có kích thước là  $3\text{km} \times 3\text{km}$ . Cấu hình các thông số vật lý được áp dụng tương tự như các nghiên cứu trước đây của chúng tôi [48–52] khi sử dụng WRF-CMAQ để mô phỏng. Những điều kiện ban đầu và điều kiện biên có được từ các mô hình toàn cầu như NCEP Climate Forecast System Reanalysis (CFSR) phiên bản 2 [53] cho mô hình WRF và mô hình Ozone and Related chemical Tracers phiên bản 4 (MOZART-4) [54] cho mô hình CMAQ. Đồng thời, cơ chế hóa học liên kết cacbon (Carbon-bond mechanism) phiên bản 6 chỉnh sửa lần 3 (CB6r3) [55–57] và mô-đun sol khí (Aerosol Module) phiên bản 6 (AERO6) [58] cũng đã được áp dụng cho cơ chế hóa học pha khí và sol khí trong CMAQ. Thời gian mô phỏng là từ 0 giờ 0 phút (01/1/2019) đến 23 giờ 59 phút (31/1/2019) và từ 0 giờ 0 phút (01/7/2019) đến 23 giờ 59 phút (31/7/2019).

Hình 1 đã thể hiện vị trí địa lý của khu vực nghiên cứu, vị trí của 16 điểm đo đạc CLKK và toàn bộ các miền tính được tạo lập trong hệ thống WRF/CMAQ.



**Hình 1.** Vị trí địa lý của tỉnh Bình Dương cùng với 16 trạm giám sát CLKK và phạm vi của các lưới lồng trong hệ thống WRF/CMAQ.

**Bảng 2.** Miền không gian lưới tính mô phỏng WRF/CMAQ.

Thông số	Miền lưới tính D1	Miền lưới tính D2	Miền lưới tính D3
Độ phân giải không gian (km)	27 × 27	9 × 9	3 × 3
Số nút lưới theo phương X, Y	76 × 94	55 × 43	23 × 25
Diện tích miền tính (km <sup>2</sup> )	2,11 × 10 <sup>5</sup>	2,64 × 10 <sup>4</sup>	5,31 × 10 <sup>3</sup>
Tọa độ tâm miền tính	13,3826°; 104,969°	10,1195°; 105,955°	11,1822°; 106,647°

### 2.2.2. Thông tin dữ liệu nguồn phát thải

Dữ liệu nguồn phát thải nhân tạo của PM<sub>2.5</sub> sơ cấp và các tiền chất PM<sub>2.5</sub> như NO<sub>x</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub> và VOCs của năm 2019 có được từ nguồn kiểm kê phát thải nhân tạo CAMS-GLOB-ANT phiên bản ver.4.1 và CAMS-GLOB-AIR phiên bản ver.1.1 [59] do Trung Tâm giám sát khí quyển Copernicus (CAMS) thực hiện với mức phân giải lần lượt là 0,1° × 0,1° và 0,5° × 0,5°. Đối với dữ liệu phát thải sinh học có được từ nguồn phát thải sinh học toàn cầu CAMS-GLOB-BIO phiên bản ver.2.1 [59] của các chất NO<sub>x</sub> và VOCs (năm 2018), với mức phân giải khoảng 0,25° × 0,25°. Toàn bộ các phát thải này được chi tiết hóa dữ liệu (downscaling) [60–62] vào lưới tính D3 có mức phân giải lưới ngang là 3,0 × 3,0 km và được dùng để ước tính sự phân bố PM<sub>2.5</sub> trong CMAQ.

### 2.2.3. Kiểm định mô hình

Các giá trị nồng độ PM<sub>2.5</sub> mô phỏng cho tỉnh Bình Dương được so sánh với các dữ liệu PM<sub>2.5</sub> đo đạc tại 8 vị trí giám sát, bao gồm N, NT1, DT2, GT2, CN4, DT5, CN5 và GT3. Đồng thời, các chỉ số thống kê cũng được tính toán để đánh giá hiệu quả mô phỏng PM<sub>2.5</sub> của mô hình WRF/CMAQ, cụ thể như độ lệch trung bình chuẩn hóa NMB (*normalized mean bias*), sai số gộp trung bình chuẩn hóa (NME – *normalized mean gross errors*) và hệ số tương quan R.

Từ Bảng 3 có thể thấy rằng tất cả các chỉ số thống kê tại vị trí N, NT1, DT2, GT2, CN4, DT5, CN5 và GT3 đều đảm bảo mức tiêu chuẩn cho phép ở mức tốt với -30% < NMB < 30%, NME > 50% và R > 0,5 theo kết quả từ các nghiên cứu [63–64]. Cụ thể mức dao động đối với NMB từ -1,38% đến 5,74%, đối với NME từ 2,44% đến 8,44% và đối với hệ số tương quan R từ 0,76 đến 0,98.

**Bảng 3.** Các chỉ số ước tính để kiểm chứng kết quả mô phỏng PM<sub>2.5</sub> từ mô hình CMAQ.

Chỉ số	Vị trí đo đạc								Tiêu chuẩn
	N	NT1	DT2	GT2	CN4	DT5	CN5	GT3	
NMB (%)	5,74	2,25	-0,70	-0,37	2,86	-1,38	0,52	1,00	-30% < NMB < 30%
NME (%)	8,44	2,44	3,66	2,58	6,09	4,55	2,82	5,24	NME < 50%
Hệ số tương quan R	0,95	0,92	0,76	0,94	0,97	0,98	0,89	0,98	R > 0,5

## 2.4. Phương pháp đánh giá tác động sức khỏe do tiếp xúc ô nhiễm PM<sub>2.5</sub>

### 2.4.1. Mô hình hàm thiệt hại sức khỏe

Các hàm thiệt hại sức khỏe con người HIFs (*health impact functions*) như ở công thức (1) [65–67] đã được áp dụng để đánh giá ảnh hưởng sức khỏe ngắn hạn (hàng ngày) như số ca tử vong sớm và mắc bệnh do ô nhiễm PM<sub>2.5</sub> ở tỉnh Bình Dương trong suốt thời đoạn mô phỏng. Mặt khác, trong công thức (1) cũng thực hiện giả định rằng những tỷ lệ nền tử vong sớm ( $y_{0,Mort}$ ) và tỷ lệ nền mắc bệnh ( $y_{0,Morb}$ ) hàng năm có một phân bố đều cho mỗi ngày trong năm [65–66, 68].

$$\begin{cases} \Delta Mort_i = (y_{0,Mort} / 365) \cdot [1 - \exp(-\beta_{Mort} \Delta PM_{2.5,i})] \cdot Pop \\ \Delta Morb_i = (y_{0,Morb} / 365) \cdot [1 - \exp(-\beta_{Morb} \Delta PM_{2.5,i})] \cdot Pop \end{cases} \quad (1)$$

Trong đó,  $\Delta Mort_i$  và  $\Delta Morb_i$  là số ca tử vong sớm và nhập viện, thăm khám điều trị các bệnh tật do phơi nhiễm  $PM_{2.5}$  gây ra;  $y_{0,Mort}$ ,  $y_{0,Morb}$  là tỷ lệ nền tử vong sớm và mắc bệnh trong số dân bị phơi nhiễm của thời đoạn đánh giá đã có được từ báo cáo Niên giám thống kê Y tế quốc gia giai đoạn 2019–2020 [69] của Bộ Y tế Việt Nam (<https://moh.gov.vn/>) và từ nguồn “Sổ đăng ký A6” (A6 registration) của tỉnh Bình Dương năm 2019 do Trung tâm Kiểm soát bệnh tật tỉnh Bình Dương quản lý (<https://ksbtbinhduong.com/>);  $\Delta PM_{2.5,i}$  là mức độ ô nhiễm  $PM_{2.5}$  từ kết quả mô phỏng WRF/CMAQ khi so sánh với các giá trị GHCP từ QCVN 05:2013/BTNMT ( $50 \mu g/m^3$ ) và Hướng dẫn về Chất lượng không khí của WHO năm 2021 ( $25 \mu g/m^3$ ) [70]; Pop là số dân số tiếp xúc với ô nhiễm  $PM_{2.5}$ ;  $\beta_{Mort}$ ,  $\beta_{Morb}$  là các hệ số của HIFs tương ứng do phơi nhiễm ô nhiễm  $PM_{2.5}$ .

#### 2.4.2. Nhận định loại thiệt hại sức khỏe

Nghiên cứu này đã đánh giá cho 3 nhóm thiệt hại sức khỏe chính, bao gồm nhóm (1) tử vong sớm, nhóm (2) nhập viện điều trị nội trú và nhóm (3) thăm khám cấp cứu. Trong đó, các mã (code) phân loại bệnh tật dựa trên cơ sở báo cáo ICD-10 (10<sup>th</sup> version of the International Classification of Diseases) và loại trừ những trường hợp có thể trùng lặp với các tác động sức khỏe khác [71]. Cụ thể, đối với nhóm tử vong sớm xem xét cho 2 loại hình thiệt hại là tử vong sớm do tất cả các bệnh đường hô hấp [J00-J99] và do ung thư phổi [C34]. Đối với nhóm nhập viện điều trị nội trú và thăm khám cấp cứu xem xét cho 2 loại hình thiệt hại do mắc bệnh viêm phổi CAP (Community-Acquired Pneumonia) [J18.9] và do bệnh COPD [J44].

#### 2.4.2. Hệ số của HIFs ( $\beta$ )

Phương pháp xác định các hệ số  $\beta_{Mort}$ ,  $\beta_{Morb}$  đã được mô tả trong các nghiên cứu trước đây của chúng tôi như [48, 50–51] dựa trên các giá trị rủi ro tương đối RR (relative risk) tương ứng có được từ những kết quả nghiên cứu về dịch tễ trước đây đối với sự phơi nhiễm ngắn hạn  $PM_{2.5}$  [72–80]. Đây cũng là cách tiếp cận đã được dùng rộng rãi trong một số nghiên cứu điển hình sẵn có trên toàn thế giới như [25, 67, 81]. Bảng 4 đã báo cáo một cách chi tiết các giá trị  $\beta_{Mort}$ ,  $\beta_{Morb}$  cho từng dạng ảnh hưởng sức khỏe cấp tính được lựa chọn đánh giá.

**Bảng 4.** Tổng hợp các giá trị  $\beta_{Mort}$  và  $\beta_{Morb}$  với khoảng tin cậy CI (Confidence Interval) 95% cho đánh giá những ảnh hưởng ngắn hạn của  $PM_{2.5}$ .

Loại thiệt hại sức khỏe	Giá trị các hệ số $\beta$	Nguồn tham khảo
Tử vong sớm do bệnh về đường hô hấp (ở tất cả nguyên nhân)	0,000797 (95% CI: 0,000499; 0,001094)	[41]
Tử vong sớm do ung thư phổi	0,000697 (95% CI: 0,000399; 0,000995)	[41]
Nhập viện điều trị do bệnh CAP	0,0002996 (95% CI: -0,0038741; 0,0044017)	[82]
Nhập viện điều trị do bệnh COPD	0,0057325 (95% CI: 0,0014889; 0,0098940)	[82]
Thăm khám cấp cứu do bệnh CAP	-0,0008032 (95% CI: -0,0051293; 0,0035367)	[82]
Thăm khám cấp cứu do bệnh COPD	0,0116894 (95% CI: 0,0029559; 0,0204572)	[82]

#### 2.4.4. Quy mô dân số phơi nhiễm

Dữ liệu dân số phân chia theo nhóm giới tính của tỉnh Bình Dương trong năm 2019 đã được thu thập từ báo cáo Niên giám thống kê năm 2019 [45] và từ báo cáo Tổng điều tra dân số và nhà ở năm 2019 trên cả nước [83] như trình bày ở Bảng 5. Quy mô dân số năm 2019 đã được lựa chọn để tính toán nhằm đảm bảo tương ứng với dữ liệu về mức nồng độ  $PM_{2.5}$  hiện trạng của tháng 1/2019 và tháng 7/2019 đã được mô phỏng từ WRF/CMAQ phục vụ cho quá trình ước tính những tác động sức khỏe ngắn hạn theo công thức (1). Từ Bảng 5 như trên, có thể nhận thấy TP. Thuận An, TP. Dĩ An, Thị xã (Tx.) Tân Uyên, và TP. Thủ Dầu Một có quy mô số dân tiếp xúc với ô nhiễm  $PM_{2.5}$  lớn nhất, lần lượt là 596, 475, 371 và 322 nghìn người. Đây cũng là các khu vực có mức độ tập trung dân cư đông nhất cả tỉnh, với mật độ phân bố lần lượt là 7.209,9 người/km<sup>2</sup> (TP. Thuận An); 8.001,7 người/km<sup>2</sup> (TP. Dĩ An); 1.955,9 người/km<sup>2</sup> (Tx. Tân Uyên); và 2.737,8 người/km<sup>2</sup> (TP. Thủ Dầu Một) [45].

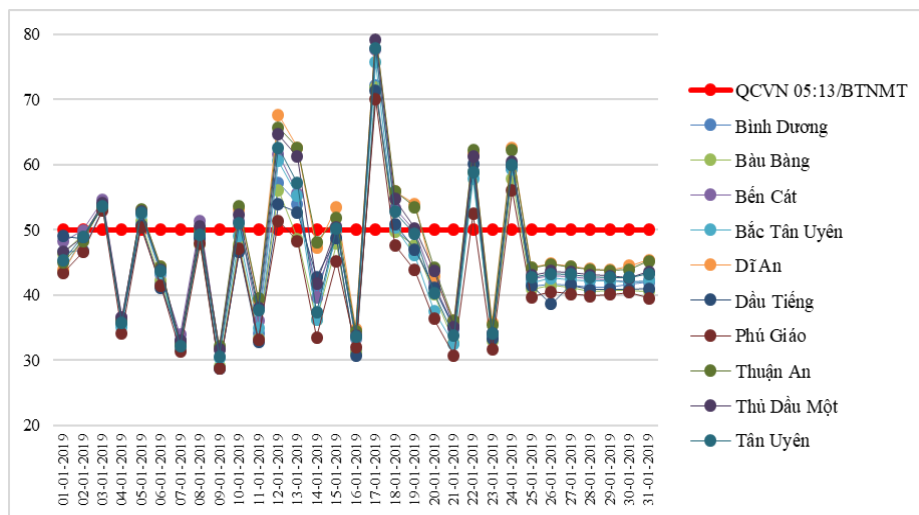
**Bảng 5.** Quy mô số dân phơi nhiễm theo giới tính (nam/nữ) ở tỉnh Bình Dương trong năm 2019.

Huyện/Tx/TP	Số dân (nghìn người)			Số dân thành thị (nghìn người)			Số dân nông thôn (nghìn người)		
	Tổng	Nam	Nữ	Tổng	Nam	Nữ	Tổng	Nam	Nữ
Thủ Dầu Một	321,6	157,1	164,5	321,6	157,1	164,5	-	-	-
Bàu Bàng	92,7	47,2	45,5	29,3	15,4	13,9	63,3	31,8	31,6
Dầu Tiếng	112,5	55,8	56,6	19,3	9,6	9,7	93,2	46,3	46,9
Bến Cát	302,8	152,4	150,4	231,9	116,2	115,6	70,9	36,2	34,8
Phú Giáo	89,7	45,9	43,8	14,9	7,3	7,5	74,9	38,6	36,3
Tân Uyên	370,5	190,5	180,0	251,7	129,3	122,4	118,8	61,2	57,6
Dĩ An	474,7	239,2	235,5	474,7	239,2	235,5	-	-	-
Thuận An	596,2	298,5	297,7	588,6	294,8	292,8	7,6	3,7	3,9
Bắc Tân Uyên	65,9	33,4	32,5	6,1	3,0	3,1	59,7	30,4	29,3
<b>Tổng cộng</b>	<b>2.426,5</b>	<b>1.220,0</b>	<b>1.206,6</b>	<b>1.938,1</b>	<b>971,9</b>	<b>966,2</b>	<b>488,4</b>	<b>248,1</b>	<b>240,4</b>

### 3. Kết quả và thảo luận

#### 3.1. Kết quả đánh giá mức độ ô nhiễm $PM_{2.5}$ ở tỉnh Bình Dương

Trong tháng 1/2019, nồng độ  $PM_{2.5}$  trung bình ngày tại Bình Dương có giá trị dao động trong khoảng từ 22,967–80,911  $\mu g/m^3$ . Cụ thể, mức trung bình ngày cao nhất vào ngày 17/1/2019 với 72,227  $\mu g/m^3$  và thấp nhất vào ngày 09/1/2019 với 28,682  $\mu g/m^3$ . Có tất cả 15/31 ngày trong tháng (gồm có 01–03/1/2019, 05/1/2019, 08/1/2019, 10/1/2019, 12–15/1/2019, 17–19/1/2019, 22/1/2019 và 24/1/2019), mức giá trị  $PM_{2.5}$  trung bình ngày đã vượt quá ngưỡng GHCP của QCVN 05:13/BTNMT (50  $\mu g/m^3$ ) ở mức từ 1,033–1,618 lần. Nhìn chung, các khu vực Tx. Bến Cát, TP. Dĩ An, TP. Thuận An, TP. Thủ Dầu Một là những khu vực thường xuyên có mức  $PM_{2.5}$  cao nhất trong tháng 1/2019. Cụ thể, lần lượt tại Tx. Bến Cát, nồng độ  $PM_{2.5}$  dao động từ 29,078–80,504  $\mu g/m^3$ ; tại TP. Dĩ An từ 31,103–80,911  $\mu g/m^3$ ; tại TP. Thuận An từ 31,052–80,896  $\mu g/m^3$ ; tại TP. Thủ Dầu Một từ 30,194–80,861  $\mu g/m^3$ . Trong khi, khu vực có mức nồng độ  $PM_{2.5}$  thấp nhất thường là huyện Phú Giáo, dao động từ 26.304–75.507  $\mu g/m^3$ . Sự phân bố không-thời gian mức  $PM_{2.5}$  trung bình 24 giờ được trình bày tại các Hình 2 và Hình 3.

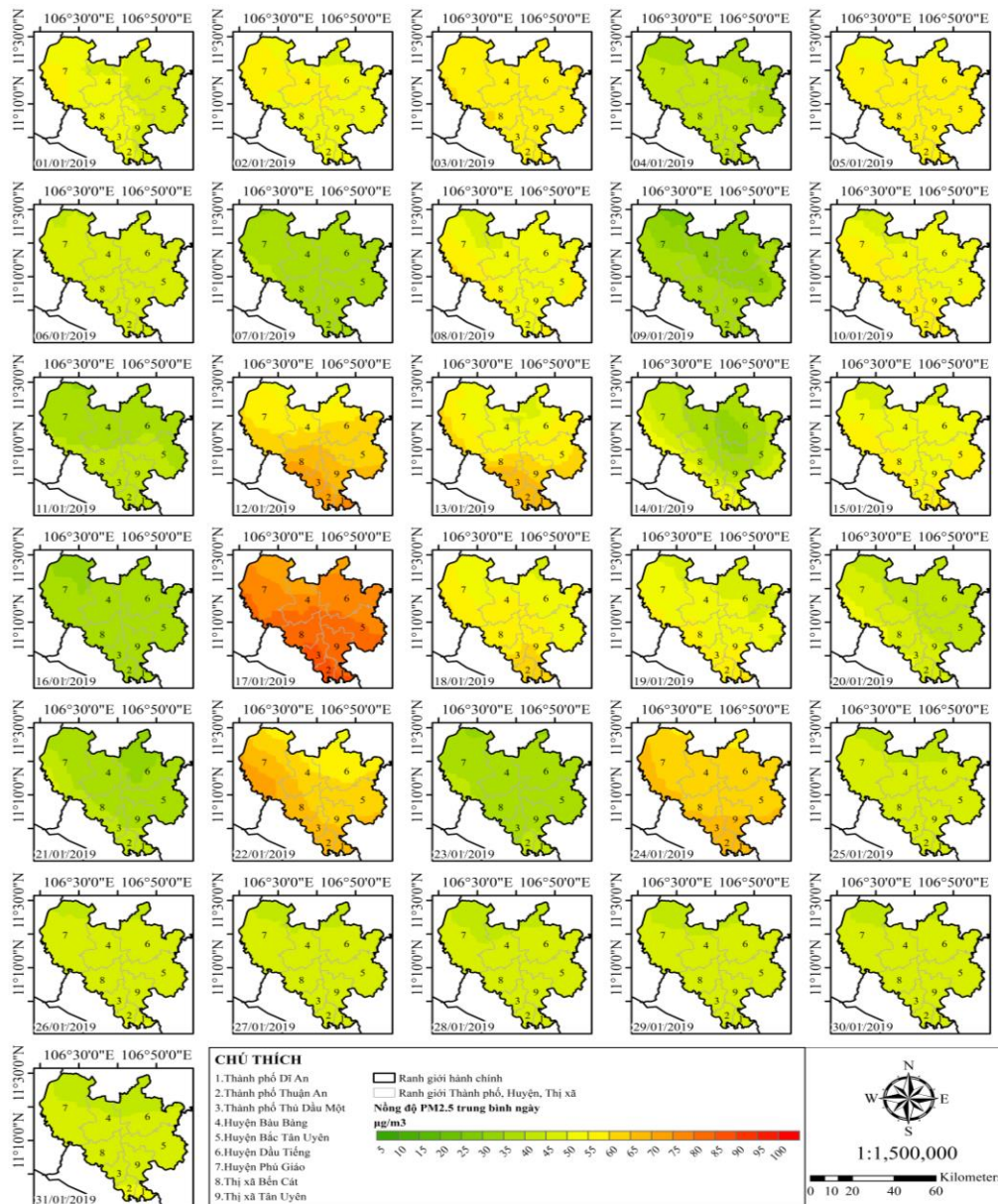


**Hình 2.** Diễn biến sự thay đổi giá trị  $PM_{2.5}$  trung bình ngày của tháng 1/2019 tại các huyện/ Tx./ TP của tỉnh Bình Dương.

Đến tháng 7/2019, nồng độ  $PM_{2.5}$  mức trung bình ngày đã có xu hướng giảm. Cụ thể, nồng độ  $PM_{2.5}$  dao động trong khoảng từ 1,408–46,420  $\mu g/m^3$ , trong đó không có giá trị trung bình 24 giờ nào vượt quá ngưỡng GHCP của QCVN 05:13/BTNMT. Tuy nhiên, vào ngày 10/7/2019, với nồng độ trung bình 24 giờ là 43,304  $\mu g/m^3$ , đã vượt quá GHCP theo Hướng

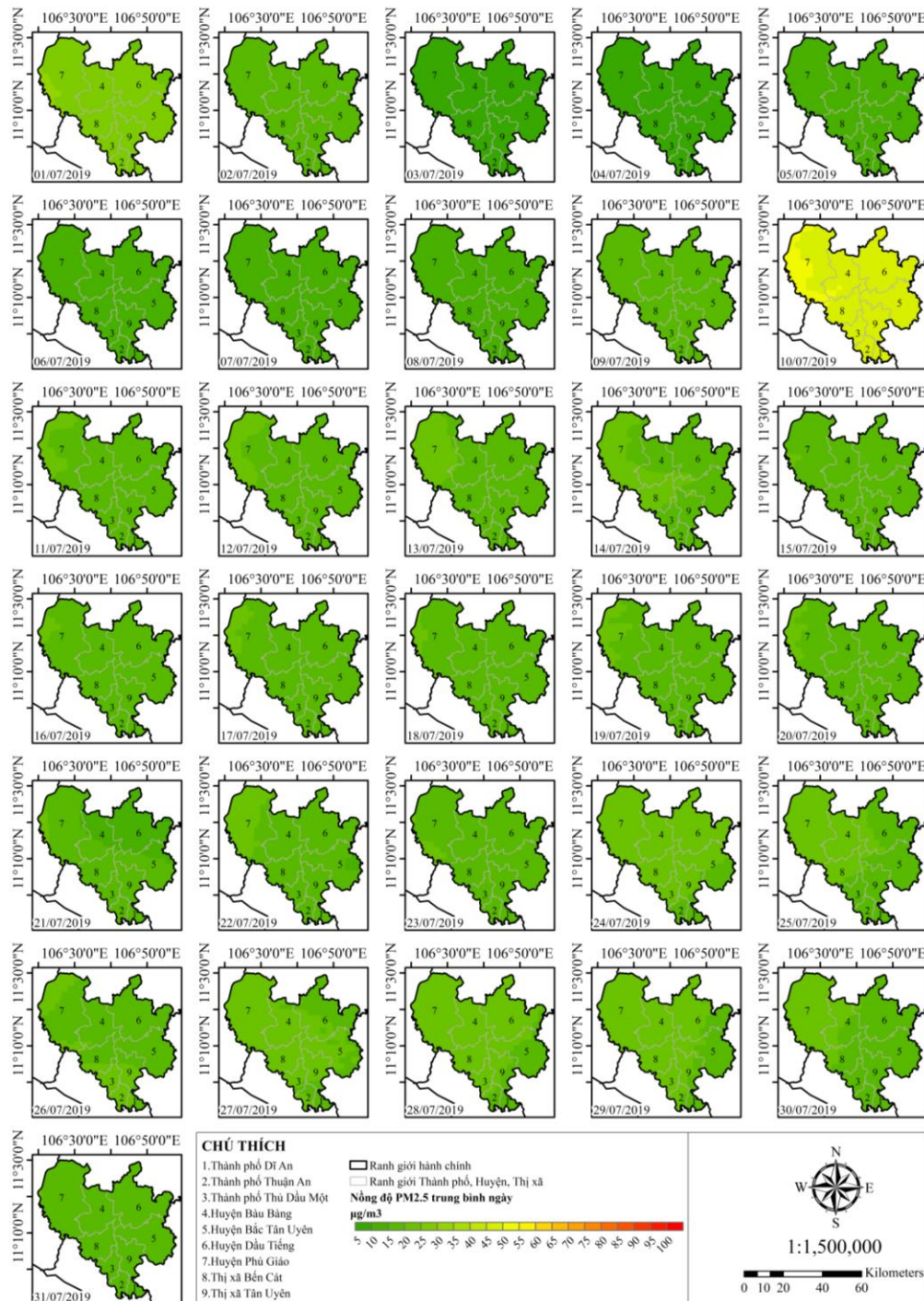


dẫn của WHO ( $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), đây cũng là ngày có mức giá trị  $\text{PM}_{2.5}$  cao nhất tháng. Từ các kết quả được thể hiện ở Hình 4 cho thấy TP. Dĩ An, Tx. Tân Uyên, TP. Thuận An, huyện Dầu Tiếng là những khu vực thường xuyên có trung bình  $\text{PM}_{2.5}$  24 giờ cao nhất trong tháng 7/2019. Cụ thể, lần lượt tại TP. Dĩ An nồng độ  $\text{PM}_{2.5}$  dao động từ  $1,834\text{--}41,620 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; tại Tx. Tân Uyên là từ  $1,891\text{--}44,017 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; tại TP. Thuận An là từ  $1,811\text{--}41,862 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; tại Huyện Dầu Tiếng là từ  $1,637\text{--}46,420 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Đồng thời, khu vực có nồng độ  $\text{PM}_{2.5}$  thấp nhất vẫn là huyện Phú Giáo với nồng độ dao động chỉ từ  $1,408\text{--}44,207 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Có thể nhận thấy rằng chính các yếu tố khí tượng đã có sự tác động đến mức nồng độ  $\text{PM}_{2.5}$  tại các khu vực này, nhiệt độ, độ ẩm tương đối cao cùng với vận tốc gió lớn mà vận tốc lớn nhất có thể đạt được lên đến  $3,65 \text{ m/s}$ , đặc biệt ở huyện Dầu Tiếng và TP. Thủ Dầu Một và hướng gió chủ đạo trong tháng 7/2019 (hướng Tây Nam) hai yếu tố có quyết định đến sự lan truyền ô nhiễm  $\text{PM}_{2.5}$  đến các khu vực phía Tây và Tây Nam của tỉnh Bình Dương. Đồng thời, cũng dựa trên các kết quả kiểm kê phát thải, Tx. Dĩ An, huyện Dầu Tiếng, TP. Thuận An, TP. Thủ Dầu Một và Tx. Bến Cát cũng lần lượt là các khu vực có mức phát thải tiền chất  $\text{PM}_{2.5}$  cao nhất trong tháng 7/2019 ở tỉnh Bình Dương, điều này cũng cho thấy tầm quan trọng của các yếu tố phát thải đến sự hình thành ô nhiễm  $\text{PM}_{2.5}$  tại các khu vực này.



**Hình 3.** Phân bố không gian nồng độ  $\text{PM}_{2.5}$  mức trung bình 24 giờ của các ngày trong tháng 1/2019.





**Hình 4.** Phân bố không gian nồng độ PM<sub>2.5</sub> mức trung bình 24 giờ của các ngày trong tháng 7/2019.

Mặt khác, mối quan hệ giữa nồng độ PM<sub>2.5</sub> ( $y$  [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]) và một số yếu tố khí tượng chính (nhiệt độ  $x_1$  [ $^{\circ}\text{C}$ ], vận tốc gió  $x_2$  [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ], lượng mưa  $x_3$  [ $\text{mm}$ ], độ ẩm tương đối  $x_4$  [%], và áp suất bề mặt  $x_5$  [ $\text{hPa}$ ]) cũng được đánh giá dựa trên kinh nghiệm từ cách tiếp cận của mô hình hồi quy tuyến tính đa biến như ở nghiên cứu [49]. Như vậy, kết quả từ quá trình hồi quy đã đạt được với phương trình là  $y = 191,17 + 11,31x_1 + 3,21x_2 + 0,01x_3 + 3,13x_4 - 17,55x_5$  cùng với một hệ số tương quan Pearson khá tốt  $R = 0,91$  (hệ số  $R^2 = 0,82$ ). Từ kết quả hồi quy trên có thể thấy rằng nhiệt độ, vận tốc gió, lượng mưa và độ ẩm tương đối là các yếu tố có tương quan thuận đến sự gia tăng nồng độ PM<sub>2.5</sub> ở tỉnh Bình Dương, trong khi áp suất bề mặt có tương quan nghịch đến sự giảm thiểu mức nồng độ PM<sub>2.5</sub> với mức độ giải thích được lên đến hơn 80%. Khi xem xét sự nhạy cảm của từng yếu tố như tăng nhiệt độ lên  $1^{\circ}\text{C}$  hoặc vận tốc gió lên

1 m/s hoặc lượng mưa lên 1 mm hoặc độ ẩm tương đối lên 1% và giữ nguyên các yếu tố khác không thay đổi thì mức nồng độ PM<sub>2.5</sub> có thể tăng thêm lần lượt 11,31 µg/m<sup>3</sup>; 3,21 µg/m<sup>3</sup>; 0,01 µg/m<sup>3</sup> và 3,13 µg/m<sup>3</sup>. Ngược lại, khi tăng áp suất bề mặt lên 1 hPa và giữ nguyên không đổi các yếu tố khác thì mức nồng độ PM<sub>2.5</sub> sẽ giảm khoảng 17,55 µg/m<sup>3</sup>.

### 3.2. Kết quả đánh giá mức độ tác động đến sức khỏe dựa theo QCVN

Từ những kết quả ước tính mức nồng độ PM<sub>2.5</sub> trung bình hàng ngày và ngưỡng GHCP của QCVN 05:2013/BTNMT, tổng hợp những ảnh hưởng sức khỏe ngắn hạn do tử vong sớm ước tính là 0,048 (95% CI: 0,027; 0,068) ca; do nhập viện điều trị nội trú là 471,781 (95% CI: -206,018; 1.095,415) ca và do thăm khám cấp cứu là 806,552 (95% CI: -200,513; 1.714,898) ca. Bảng 6 bên dưới tổng hợp chi tiết kết quả ước tính các nhóm thiệt hại sức khỏe do phơi nhiễm PM<sub>2.5</sub>. Từ đó cho thấy rằng khu vực có tổng số ca thiệt hại sức khỏe lớn nhất ở cả ba nhóm loại hình thiệt hại là TP. Thuận An, với thiệt hại gây ra do tử vong sớm được ước tính là 0,014 (95% CI: 0,008; 0,020) ca, chiếm đến 29,17% trên tổng số ca thiệt hại nhóm (1); trong khi đó, thiệt hại do phải nhập viện điều trị nội trú là 137,599 (95% CI: -60,248; 319,313) ca, chiếm 29,19% trên tổng số ca thiệt hại nhóm (2); và thiệt hại do khám cấp cứu là 234,893 (95% CI: -58,735; 498,978) ca, chiếm 29,12% trên tổng số ca thiệt hại nhóm (3) của toàn tỉnh. Có thể nói, TP. Thuận An tuy chỉ chiếm 24,57% về tổng dân số nhưng lại chiếm gần 1/3 tổng thiệt hại về sức khỏe trên toàn bộ tỉnh Bình Dương. Đây cũng là địa phương có nồng độ PM<sub>2.5</sub> cao nhất của tỉnh Bình Dương. Ngoài ra, huyện Phú Giáo cũng là khu vực có tổng thiệt hại về sức khỏe thấp nhất, với tổng số ca do tử vong sớm ước tính là 0,001 (95% CI: 0,000; 0,001) ca; số ca do phải nhập viện điều trị nội trú là 6,643 (95% CI: -2,861; 15,465) ca và tổng số ca do thăm khám cấp cứu là 11,438 (95% CI: -2,761; 24,423) ca.

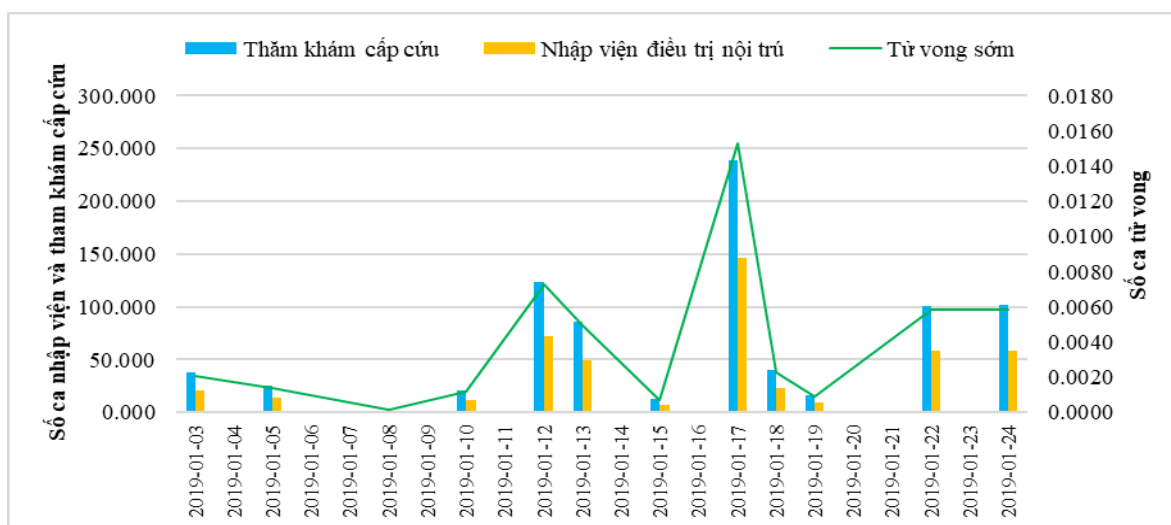
**Bảng 6.** Tổng hợp kết quả ước tính thiệt hại sức khỏe do tiếp xúc PM<sub>2.5</sub> tại tỉnh Bình Dương theo QCVN 05:2013/BTNMT.

Huyện/Tx/TP	Số trường hợp thiệt hại sức khỏe (với 95% CI)		
	Nhóm tử vong sớm	Nhóm nhập viện điều trị nội trú	Nhóm thăm khám cấp cứu
Bàu Bàng	0,001 (0,001; 0,001)	10,206 (-4,392; 23,765)	17,582 (-4,235; 37,547)
Bến Cát	0,005 (0,003; 0,008)	53,22 (-23,137; 123,689)	91,219 (-22,457; 194,289)
Bắc Tân Uyên	0,001 (0,001; 0,001)	9,516 (-4,13; 22,122)	16,322 (-4,005; 34,771)
Dầu Tiếng	0,001 (0,001; 0,002)	13,406 (-5,754; 31,233)	23,128 (-5,538; 49,433)
Dĩ An	0,011 (0,007; 0,016)	113,127 (-49,567; 262,483)	193,038 (-48,343; 409,951)
Phú Giáo	0,001 (0,000; 0,001)	6,643 (-2,861; 15,465)	11,438 (-2,761; 24,423)
Thuận An	0,014 (0,008; 0,020)	137,599 (-60,248; 319,313)	234,893 (-58,735; 498,978)
Thủ Dầu Một	0,007 (0,004; 0,009)	65,278 (-28,56; 151,508)	111,481 (-27,83; 236,873)
Tân Uyên	0,006 (0,004; 0,009)	62,785 (-27,369; 145,836)	107,45 (-26,609; 228,632)
<b>Tổng cộng</b>	<b>0,048 (0,027; 0,068)</b>	<b>471,781 (-206,018; 1095,415)</b>	<b>806,552 (-200,513; 1714,898)</b>

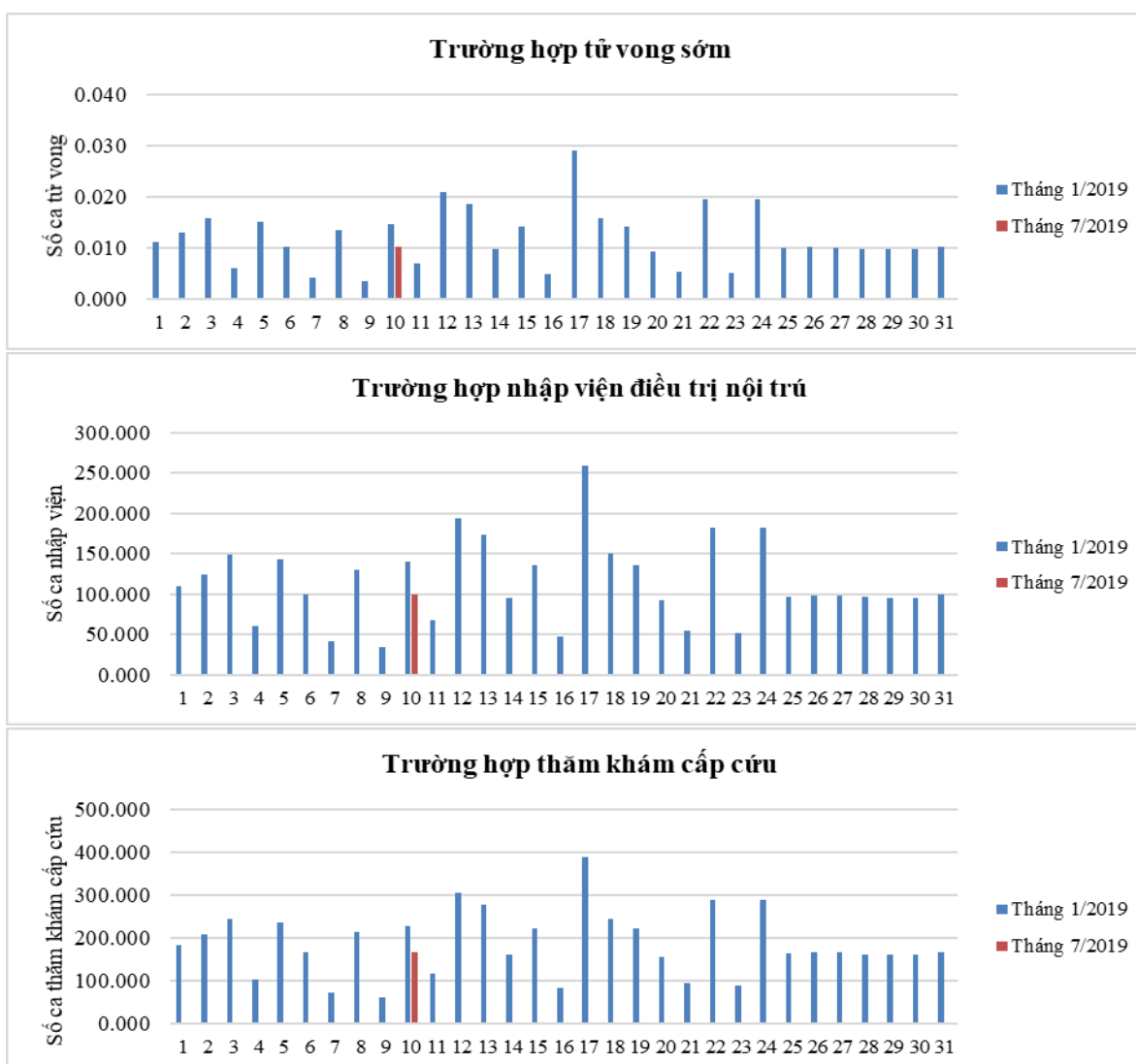
### 3.3. Kết quả đánh giá mức độ tác động đến sức khỏe dựa theo Hướng dẫn của WHO

Khi dựa trên ngưỡng GHCP cho phép theo Hướng dẫn của WHO năm 2021 (25 µg/m<sup>3</sup>), mức độ tác động sức khỏe đã tăng đáng kể đối với các nhóm thiệt hại trên địa bàn tỉnh. Điển hình, trong tháng 1/2019 thiệt hại lần lượt do số trường hợp tử vong sớm ước tính là 0,369 (95% CI: 0,211; 0,527) ca, do nhập viện điều trị nội trú là 3.529,002 (95% CI: -1.649,232; 8.081,879) ca, do khám cấp cứu là 5.812,364 (95% CI: -1.671,629; 12.089,801) ca. So với khi đánh giá dựa trên QCVN, mức thiệt hại do tử vong sớm đã tăng gấp 7,7 lần, do nhập viện điều trị nội trú đã tăng lên hơn 7,5 lần và do thăm khám cấp cứu đã tăng gấp 7,2 lần. Hình 5 bên dưới thể hiện tổng số các trường hợp bị tác động sức khỏe theo các nhóm thiệt hại xảy ra hàng ngày do ô nhiễm PM<sub>2.5</sub> trong tháng 1/2019. Nhìn chung, TP. Thuận An vẫn là khu vực có tổng thiệt hại sức khỏe lớn nhất. Cụ thể, với số ca tử vong sớm ước tính là 0,096 (95% CI: 0,055; 0,137) ca, chiếm đến 26,02% trên tổng số ca thiệt hại nhóm (1); số ca do nhập viện điều trị nội trú là 913,024 (95% CI: -429,67; 2.088,037) ca, chiếm 25,87% trên tổng số ca thiệt hại nhóm

(2); số ca do thăm khám cấp cứu là 1.549,724 (95% CI: -399,152; 3.170,958) ca, chiếm 26,67% trên tổng số ca thiệt hại nhóm (3).



**Hình 5.** Số trường hợp bị tác động sức khỏe (theo từng nhóm thiệt hại) do phơi nhiễm ngắn hạn PM<sub>2.5</sub> trong tháng 1/2019 tại khu vực nghiên cứu.



**Hình 6.** Tổng số trường hợp bị ảnh hưởng hàng ngày (theo từng nhóm thiệt hại) do phơi nhiễm ngắn hạn PM<sub>2.5</sub> trong tháng 1 và 7/2019 tại khu vực nghiên cứu.



Đối với tháng 7/2019, do mức nồng độ  $PM_{2.5}$  đã giảm đáng kể nên tổng mức thiệt hại sức khỏe ước tính cũng có xu hướng giảm so với tháng 1/2019 (Hình 6). Cụ thể, tổng số trường hợp bị tác động trên cả ba nhóm thiệt hại lần lượt là 0,01 (95% CI: 0,006; 0,015) ca do tử vong sớm; 99,314 (95% CI: -44,169; 229,591) ca do nhập viện điều trị nội trú, và 167,797 (95% CI: -43,454; 353,572) ca do thăm khám cấp cứu. Như vậy, khi so sánh với tháng 1/2019, tổng số ca đã giảm 37 lần đối với nhóm (1), giảm đến 36 lần đối với nhóm (2) và giảm 35 lần đối với nhóm (3). Đặc biệt, TP. Thuận An vẫn là khu vực chịu ảnh hưởng sức khỏe lớn nhất với lần lượt thiệt hại gây ra do tử vong sớm là 0,003 (95% CI: 0,001; 0,004) ca, do nhập viện điều trị nội trú là 25,304 (95% CI: -11,298; 58,450) ca, do thăm khám cấp cứu là 42,659 (95% CI: -11,141; 89,765) ca. Huyện Bắc Tân Uyên vẫn là địa phương bị tác động ít nhất về sức khỏe, với chỉ 0,0003 (95% CI: 0,0001; 0,0004) ca do tử vong sớm; 2,524 (95% CI: -1,113; 5,846) ca do nhập viện điều trị nội trú và 4,285 (95% CI: -1,090; 9,054) ca do thăm khám cấp cứu.

#### 4. Kết luận

Nhìn chung, các kết quả của nghiên cứu này đã sơ bộ phát triển được một khung nghiên cứu thích hợp cho địa bàn tỉnh Bình Dương, khi thực hiện mô phỏng để đánh giá sự phân bố ô nhiễm theo không gian và thời gian nồng độ  $PM_{2.5}$  bằng hệ thống mô hình WRF/CMAQ. Mức độ ô nhiễm  $PM_{2.5}$  cao chủ yếu xảy ra trong tháng 1/2019 với mức thay đổi nồng độ  $PM_{2.5}$  trung bình hàng ngày dao động từ 22,967 đến 80,911  $\mu g/m^3$ . Đồng thời, những kết quả lượng hóa những thiệt hại sức khỏe cộng đồng cấp tính cũng cho thấy mức độ ô nhiễm  $PM_{2.5}$  trên địa bàn tỉnh đã gây ra khoảng 0,048 ca tử vong sớm, 472 ca nhập viện điều trị nội trú và 807 ca thăm khám cấp cứu đối với ngưỡng GHCP của QCVN 05:2013/BTNMT. Tuy nhiên, mức độ thiệt hại đã tăng vượt trội khi áp dụng ngưỡng GHCP theo Hướng dẫn của WHO năm 2021 với số trường hợp lên đến 0,371 ca tử vong sớm, 3.628 ca nhập viện điều trị nội trú và 5.980 ca phải thăm khám cấp cứu. Như vậy, nghiên cứu đã được triển khai và giải quyết được cơ bản các mục tiêu đã nêu ra; kết quả nghiên cứu này cũng được xem là một cơ sở khoa học sơ khởi để phát triển hơn nữa những tính toán định lượng cụ thể về mức độ tác động đến kinh tế (quy đổi được thành các mức tiền tệ). Để dựa trên đó có thể phát triển các giải pháp kiểm soát ô nhiễm  $PM_{2.5}$  cho địa phương; hỗ trợ các nhà quản lý môi trường trong việc quản lý CLKK hiệu quả và tiến tới xây dựng một Kế hoạch hành động không khí sạch ở quy mô cấp tỉnh.

**Đóng góp của tác giả:** Xây dựng ý tưởng nghiên cứu, vạch ra sơ đồ viết bản nháp, chỉnh sửa bản thảo: B.T.L., N.H.P.; Xử lý số liệu, chạy mô hình WRF/CMAQ, chạy mô phỏng tác động sức khỏe: L.T.N.; Xử lý GIS, viết bản thảo: L.T.N., N.H.P.

**Lời cảm ơn:** Nhóm tác giả xin bày tỏ sự cảm ơn chân thành tới Phòng Thí nghiệm Mô hình hóa Môi trường thuộc Khoa Môi trường và Tài nguyên, Phòng Thí nghiệm Trọng điểm Quốc gia Điều khiển số và Kỹ thuật hệ thống (DCSELab), Đại học Bách Khoa – Đại học Quốc Gia Tp. HCM.

**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. Loan, T.T. Policy on Management and Control of Urban Air Quality. *Policy Bull. Nat. Resour. Environ. Sustain. Dev.* **2017**, 24, 6–8.
2. Thang, N.T. Breakthrough reform in air environment policy is needed. *Policy Bull. Nat. Resour. Environ. Sustain. Dev.* **2017**, 24, 3–5.
3. Thuy, N.T.T.; Dung, N.T.; Sekiguchi, K.; Thuy, L.B.; Hien, N.T.T.; Yamaguchi, R. Mass concentrations and Carbonaceous compositions of  $PM_{0.1}$ ,  $PM_{2.5}$ , and  $PM_{10}$  at urban locations in Hanoi, Vietnam. *Aerosol Air Qual. Res.* **2018**, 18(7), 1591–1605.

4. Orru, H.; Ebi, K.L.; Forsberg, B. The interplay of climate change and air pollution on health. *Curr. Environ. Heal. Reports*. **2017**, 4(4), 504–513.
5. Gautam, D.; Bolia, N.B. Air pollution: impact and interventions. *Air Qual. Atmos. Heal.* **2020**, 13(2), 209–223.
6. Gold, D.R.; Samet, J.M. Air pollution, climate, and heart disease. *Circulation* **2013**, 128(21), 411–414.
7. Lin, R.S. et al. Role of urbanization and air pollution in adolescent asthma: a mass screening in Taiwan. *J. Formos. Med. Assoc.* **2001**, 100(10), 649–655.
8. WHO. How air pollution is destroying our health. World Health Organization, 2018.
9. Nhung, N.T.T.; Schindler, C.; Dien, T.M.; Probst-Hensch, N.; Künzli, N. Association of ambient air pollution with lengths of hospital stay for hanoi children with acute lower-respiratory infection, 2007–2016. *Environ. Pollut.* **2019**, 247, 752–762.
10. Nhung, N.T.T.; Schindler, C.; Dien, T.M.; Probst-Hensch, N.; Perez, L.; Künzli, N. Acute effects of ambient air pollution on lower respiratory infections in Hanoi children: An eight-year time series study. *Environ. Int.* **2018**, 110, 139–148.
11. Nhung, N.T.T. et al. Exposure to air pollution and risk of hospitalization for cardiovascular diseases amongst Vietnamese adults: Case-crossover study. *Sci. Total. Environ.* **2020**, 703(1), 134637.
12. Nhung, N.T.T. et al. Mortality Burden due to Exposure to Outdoor Fine Particulate Matter in Hanoi, Vietnam: Health Impact Assessment. *Int. J. Public Health.* **2022**, 67.
13. Health Effects Institute. State of Global Air. Data Source: Global Burden of Disease Study 2019. IHME, 2020.
14. Zhou, M. et al. Cause-specific mortality for 240 causes in China during 1990 – 2013: a systematic subnational analysis for the Global Burden of Disease Study 2013. *Lancet* **2016**, 387(10015), 251–272.
15. Di, Q. et al. Air Pollution and Mortality in the Medicare Population. *N. Engl. J. Med.* **2017**, 376(26), 2513–2522.
16. Di, Q. et al. Association of Short-term Exposure to Air Pollution With Mortality in Older Adults. *JAMA*, **2017**, 318(24), 2446–2456.
17. Wei, Y. et al. Causal Effects of Air Pollution on Mortality Rate in Massachusetts. *Am. J. Epidemiol.* **2020**, 189(11), 1316–1323.
18. Singh, R. et al. The relationship between biomarkers of oxidative DNA damage, polycyclic aromatic hydrocarbon DNA adducts, antioxidant status and genetic susceptibility following exposure to environmental air pollution in humans. *Mutat. Res. Mol. Mech. Mutagen.* **2007**, 620(1), 83–92.
19. Demetriou, C.A. et al. Biomarkers of ambient air pollution and lung cancer: a systematic review. *Occup. Environ. Med.* **2012**, 69(9), 619–627.
20. Dockery, D.W. et al. An Association between Air Pollution and Mortality in Six U.S. Cities. *N. Engl. J. Med.* **1993**, 329(24), 1753–1759.
21. Dominici, F.; McDermott, A.; Daniels, M.; Zeger, S.L.; Samet, J.M. Revised Analyses of the National Morbidity, Mortality, and Air Pollution Study: Mortality Among Residents of 90 Cities. *J. Toxicol. Environ. Heal. Part A.* **2005**, 68(13–14), 1071–1092.
22. Krewski, D. et al. Overview of the Reanalysis of the Harvard Six Cities Study and American Cancer Society Study of Particulate Air Pollution and Mortality. *J. Toxicol. Environ. Heal. Part A.* **2003**, 66(16–19), 1507–1552.
23. Laden, F.; Schwartz, J.; Speizer, F.E.; Dockery, D.W. Reduction in Fine Particulate Air Pollution and Mortality. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* **2006**, 173(6), 667–672.
24. Katsouyanni, K. Aphea Project: Air Pollution and Health: A European Approach. *Epidemiology.* **2006**, 17(6).
25. Chen, L. et al. Assessment of population exposure to PM<sub>2.5</sub> for mortality in China and its public health benefit based on BenMAP. *Environ. Pollut.* **2017**, 221, 311–317.

26. Chen, L. et al. Quantifying public health benefits of environmental strategy of PM<sub>2.5</sub> air quality management in Beijing–Tianjin–Hebei region, China. *J. Environ. Sci. (China)*. **2017**, 57, 33–40.
27. Andreão, W.L.; Albuquerque, T.T.A.; Kumar, P. Excess deaths associated with fine particulate matter in Brazilian cities. *Atmos. Environ.* **2018**, 194, 71–81.
28. Ansari, M.; Ehrampoush, M.H. Meteorological correlates and AirQ+ health risk assessment of ambient fine particulate matter in Tehran, Iran. *Environ. Res.* **2019**, 170, 141–150.
29. Hadei, M. et al. Burden of mortality attributed to PM<sub>2.5</sub> exposure in cities of Iran; contribution of short-term pollution peaks. *Atmos. Environ.* **2020**, 224117365, 2020.
30. Yarahmadi, M. et al. Mortality assessment attributed to long-term exposure to fine particles in ambient air of the megacity of Tehran, Iran. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2018**, 25(14), 14254–14262.
31. Altieri, K.E.; Keen, S.L. Public health benefits of reducing exposure to ambient fine particulate matter in South Africa. *Sci. Total Environ.* **2019**, 684, 610–620.
32. Mirzaei, A.; Tahriri, H.; Khorsandi, B. Comparison between AirQ+ and BenMAP-CE in estimating the health benefits of PM<sub>2.5</sub> reduction. *Air Qual. Atmos. Heal.* **2021**, 14(6), 807–815.
33. US EPA. BENMAP-CE user manual. *US EPA*, 2018.
34. Sacks, J.D.; Fann, N.; Gumy, S.; Kim, I.; Ruggeri, G.; Mudu, P. Quantifying the Public Health Benefits of Reducing Air Pollution: Critically Assessing the Features and Capabilities of WHO's AirQ+ and U.S. EPA's Environmental Benefits Mapping and Analysis Program - Community Edition (BenMAP - CE). *Atmosphere (Basel)*. **2020**, 11(5), 1–15.
35. Khue, V.H.N.; Dung, H.M.; Tam, N.T.; Hang, N.T.T.; Bang, H.Q. Inventory and mapping the air emissions from transportation activities in Ho Chi Minh city. *Sci. Technol. Dev. J. - Nat. Sci.* **2019**, 3(2), 100–114.
36. Bang, H.Q.; Khue, V.H.N.; Tam, N.T.; Hang, N.T.T.; Huong, L.T.V. Method of developing local air quality management plan in current conditions. *Environ. Mag.* **2021**, 1(3), 15–20.
37. Nhung, N.T.T. The connection between air pollution and health. *Policy Bull. Nat. Resour. - Environ. - Sustain. Dev.* **2017**, 24, 26–28.
38. Wang, J.; Zhang, L.; Niu, X.; Liu, Z. Effects of PM<sub>2.5</sub> on health and economic loss: Evidence from Beijing-Tianjin-Hebei region of China. *J. Clean. Prod.* **2020**, 257, 120605.
39. Fu, X. et al. The economic loss of health effect damages from PM<sub>2.5</sub> pollution in the Central Plains Urban Agglomeration. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2020**, 27(20), 25434–25449.
40. Vu, H.N.K. et al. Poor air quality and its association with mortality in Ho Chi Minh city: Case study. *Atmosphere* **2020**, 11(7), 1–20.
41. Vien, N.T. et al. PM<sub>2.5</sub> increased respiratory mortality in Ho Chi Minh city: A multi-source data study. *J. Med. Res. Hanoi Med. Univ.* **2021**, 142(6), 108–118.
42. Saisho, T. Promotion of Smart Community Strategy in Vietnam's Binh Duong Province. M. Ergen, Ed. Rijeka: IntechOpen, **2018**, Ch. 7.
43. Binh Duong CEM. Report on the current state of air environment in Binh Duong province in 2018, Thu Dau Mot City, 2019.
44. GSO. National Statistical Yearbook 2019. Statistical Publishing House, Vietnam, Ha Noi Capital, 2019.
45. Binh Duong Statistical Office. Statistical Yearbook of Binh Duong Province in 2020, Thu Dau Mot City, 2021.



46. Department of Statistics Ho Chi Minh City. The Economic of Ho Chi Minh City and Key Economic Region of South Vietnam, Ho Chi Minh City, 2019.
47. Binh Duong CEM. Report on the current state of air environment in Binh Duong province in 2019, Thu Dau Mot City, 2020.
48. Bui, L.T.; Nguyen, P.H.; My Nguyen, D.C. Linking air quality, health, and economic effect models for use in air pollution epidemiology studies with uncertain factors. *Atmos. Pollut. Res.* **2021**, *12*(7), 101118.
49. Bui, L.T.; Nguyen, P.H. Ground-level ozone in the Mekong Delta region: precursors, meteorological factors, and regional transport. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2022**.
50. Bui, L.T.; Nguyen, P.H. Evaluation of the annual economic costs associated with PM<sub>2.5</sub> based health damage – a case study in Ho Chi Minh City, Vietnam. *Air Qual. Atmos. Heal.* **2022**.
51. Uyen, L.K.; Phong, N.H.; Long, B.T. Risk assessment of hospital admission due to all-cause respiratory and cardiovascular diseases attributed to ground-level O<sub>3</sub> short-term exposure in Dong Nai Province. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, *742*, 1–18.
52. Nguyen, D.C.M.; Nguyen, P.H.; Bui, L.T. Application of WRF/CMAQ for PM<sub>10</sub> simulation from road traffic in Ho Chi Minh city. *VN J. Hydrometeorol.* **2021**, *724*(4), 30–45.
53. Saha, S. et al. The NCEP climate forecast system version 2. *J. Clim.* **2014**, *27*(6), 2185–2208.
54. Emmons, L.K. et al. Description and evaluation of the Model for Ozone and Related chemical Tracers, version 4 (MOZART-4). *Geosci. Model Dev.* **2010**, *3*(1), 43–67.
55. Yarwood, G.; Jung, J.; Whitten, G.Z.; Heo, G.; Mellberg, J.; Estes, M. Updates to the Carbon Bond Mechanism for Version 6 (CB6). Present. 9<sup>th</sup> Annu. C. Conf. Chapel Hill, NC, Oct. 11-13. **2010**, *6*(415), 1–4.
56. Emery, C.; Jung, J.; Koo, B.; Yarwood, G. Final report: Improvements to CAMx Snow Cover Treatments and Carbon Bond Chemical Mechanism for Winter Ozone Novato, California, USA, 2015. Available Online: [http://www.camx.com/files/udaq\\_snowchem\\_final\\_6aug15.pdf](http://www.camx.com/files/udaq_snowchem_final_6aug15.pdf).
57. Luecken, D.J.; Yarwood, G.; Hutzell, W.T. Multipollutant modeling of ozone, reactive nitrogen and HAPs across the continental US with CMAQ-CB6. *Atmos. Environ.* **2019**, *201*, 62–72.
58. Tang, Y. et al. Comparison of chemical lateral boundary conditions for air quality predictions over the contiguous United States during pollutant intrusion events. *Atmos. Chem. Phys.* **2021**, *21*(4), 2527–2550.
59. Granier, C. et al. The Copernicus Atmosphere Monitoring Service global and regional emissions (April 2019 version), 1–55, 2019.
60. Jiang, F. et al. An ozone episode in the Pearl River Delta: Field observation and model simulation. *J. Geophys. Res. Atmos.* **2010**, *115*.
61. Liu, H.; Wang, X.; Zhang, J.; He, K.; Wu, Y.; Xu, J. Emission controls and changes in air quality in Guangzhou during the Asian Games. *Atmos. Environ.* **2013**, *76*, 81–93.
62. Wang, N. et al. Assessment of regional air quality resulting from emission control in the Pearl River Delta region, southern China. *Sci. Total Environ.* **2016**, *573*, 1554–1565.
63. Morris, R.E.; Mc Nally, D.E.; Tesche, T.W.; Tonnesen, G.; Boylan, J.W.; Brewer, P. Preliminary evaluation of the community multiscale air quality model for 2002 over the Southeastern United States. *J. Air Waste Manag. Assoc.* **2005**, *55*(11), 1694–1708.
64. Eder, B.; Yu, S. A performance evaluation of the 2004 release of Models-3 CMAQ. *Atmos. Environ.* **2006**, *40*(26), 4811–4824.
65. Xue, T. et al. Rapid improvement of PM<sub>2.5</sub> pollution and associated health benefits in China during 2013–2017. *Sci. China Earth Sci.* **2019**, *62*(12), 1847–1856.

66. Wang, F. et al. Policy-driven changes in the health risk of PM<sub>2.5</sub> and O<sub>3</sub> exposure in China during 2013–2018. *Sci. Total Environ.* **2021**, 757, 143775.
67. Lelieveld, J.; Evans, J.S.; Fnais, M.; Giannadaki, D.; Pozzer, A. The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. *Nature* **2015**, 525(7569), 367–371.
68. Shang, Y. et al. Systematic review of Chinese studies of short-term exposure to air pollution and daily mortality. *Environ. Int.* **2013**, 54, 100–111.
69. Ministry of Health. The Health Statistics Yearbook 2018, Ha Noi Capital, 2019.
70. WHO. WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>), Ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. 2021.
71. ICD-10. International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems 10th Revision, 2016. Available online: <http://apps.who.int/classifications/icd10/browse/%0A2016/en>.
72. Sui, X. et al. The short-term effect of PM<sub>2.5</sub>/O<sub>3</sub> on daily mortality from 2013 to 2018 in Hefei, China. *Environ. Geochem. Health.* **2021**, 43(1), 153–169.
73. Cai, J. et al. Association between PM<sub>2.5</sub> exposure and all-cause, non-accidental, accidental, different respiratory diseases, sex and age mortality in Shenzhen, China. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* **2019**, 16(3).
74. Kan, H. et al. Differentiating the effects of fine and coarse particles on daily mortality in Shanghai, China. *Environ. Int.* **2007**, 33(3), 376–384.
75. Huang, W. et al. Seasonal variation of chemical species associated with short-term mortality effects of PM<sub>2.5</sub> in Xi'an, a central city in China. *Am. J. Epidemiol.* **2012**, 175(6), 556–566.
76. Orellano, P.; Reynoso, J.; Quaranta, N.; Bardach, A.; Ciapponi, A. Short-term exposure to particulate matter (PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub>), nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>), and ozone (O<sub>3</sub>) and all-cause and cause-specific mortality: Systematic review and meta-analysis. *Environ. Int.* **2020**, 142, 105876.
77. Nascimento, A.P.; Santos, J.M.; Mill, J.G.; de Souza, J.B.; Júnior, N.C.R.; Reisen, V.A. Association between the concentration of fine particles in the atmosphere and acute respiratory diseases in children. *Rev. Saude Publica.* **2017**, 51(1), 1–10.
78. Chen, C. et al. Short-term exposures to PM<sub>2.5</sub> and cause-specific mortality of cardiovascular health in China. *Environ. Res.* **2018**, 161(7), 188–194.
79. Qu, Y. et al. Short-term effects of fine particulate matter on non-accidental and circulatory diseases mortality: A time series study among the elder in Changchun. *PLoS One.* **2018**, 13(12), 1–12.
80. Ferreira, T.M.; Forti, M.C.; de Freitas, C.U.; Nascimento, F.P.; Junger, W.L.; Gouveia, N. Effects of particulate matter and its chemical constituents on elderly hospital admissions due to circulatory and respiratory diseases. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* **2016**, 13(10), 1–11.
81. Madaniyazi, L.; Nagashima, T.; Guo, Y.; Pan, X.; Tong, S. Projecting ozone-related mortality in East China. *Environ. Int.* **2016**, 92–93, 165–172.
82. Pothirat, C. et al. Acute effects of air pollutants on daily mortality and hospitalizations due to cardiovascular and respiratory diseases. *J. Thorac. Dis.* **2019**, 11(7), 3070–3083.
83. GSO. Completed results of the 2019 Vietnam population and housing census, Ha Noi Capital, 2020.

## **Assessment of public health impacts associated with short-term PM<sub>2.5</sub> pollution exposure: A case study in Binh Duong province, Vietnam**

**Le Tuyen Ngoc<sup>1,2</sup>, Nguyen Chau My Duyen<sup>1,2</sup>, Nguyen Hoang Phong<sup>1,2</sup>, Bui Ta Long<sup>1,2\*</sup>**

<sup>1</sup> Ho Chi Minh City University of Technology; ngoc.le15@hcmut.edu.vn;

nguyenduyen91@hcmut.edu.vn; nhphong@dcslab.edu.vn; longbt62@hcmut.edu.vn

<sup>2</sup> Vietnam National University Ho Chi Minh City; ngoc.le15@hcmut.edu.vn;

nguyenduyen91@hcmut.edu.vn; nhphong@dcslab.edu.vn; longbt62@hcmut.edu.vn

**Abstract:** Binh Duong province plays an essential role in an overall development strategy and is an economic-social, political, cultural, and educational center in Vietnam. Along with the outstanding economic development, Binh Duong province has been facing air quality deterioration issues, especially PM<sub>2.5</sub> pollution. This study aims to assess the acute public health impacts of PM<sub>2.5</sub> exposure throughout January 2019 and July 2019. To estimate PM<sub>2.5</sub> distributions, a model system including the Weather Research and Forecast (WRF) combined with the Community Multiscale Air Quality Modeling System (CMAQ) and health impact models are applied for quantitative analysis and assessment. The outcomes reported that the total number of cases could be up to 3,628 hospitalizations for inpatient treatment and 5,980 emergency visits. Furthermore, the research framework can be applied to various other localities in Vietnam to assess the effect of PM<sub>2.5</sub> pollution. Simultaneously, this is also a preliminary scientific basis for environmental managers to propose measures of PM<sub>2.5</sub> pollution control and develop a clean air action plan to minimize negative impacts on public health and obtain economic benefits for sustainable development goals towards 2030.

**Keywords:** Binh Duong province; Pollution control; PM<sub>2.5</sub>; Short-term impacts; WRF/CMAQ.