

Bài báo khoa học

Đánh giá rủi ro nhập viện điều trị các bệnh đường hô hấp và bệnh tim mạch do phơi nhiễm ngắn hạn O₃ mặt đất tại tỉnh Đồng Nai

Lê Khánh Uyên^{1,2}, Nguyễn Hoàng Phong^{1,2}, Bùi Tá Long^{1,2*}

¹ Trường Đại học Bách Khoa Tp. HCM; uyen.le02@hcmut.edu.vn; nhphong@dcselab.edu.vn; longbt62@hcmut.edu.vn

² Đại học Quốc gia Tp. HCM; uyen.le02@hcmut.edu.vn; nhphong@dcselab.edu.vn; longbt62@hcmut.edu.vn

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

Ban Biên tập nhận bài: 7/8/2022; Ngày phản biện xong: 27/9/2022; Ngày đăng bài: 25/10/2022

Tóm tắt: Đồng Nai có tốc độ tăng trưởng kinh tế–xã hội mạnh mẽ, dân số tăng và đô thị hóa diễn ra nhanh chóng dẫn đến môi trường không khí bị ảnh hưởng đáng kể và một trong những đối tượng luôn được quan tâm đó là ozon (O₃) mặt đất. Áp lực tạo ra cho chính quyền địa phương trong việc đề xuất và xây dựng giải pháp giảm thiểu và kiểm soát các nguồn phát thải tiền chất góp phần hình thành nên O₃. Nghiên cứu này đã áp dụng các mô hình WRF (*Weather Research and Forecast*)/CMAQ (*Community Multiscale Air Quality Modeling System*) kết hợp để mô phỏng đặc điểm hiện trạng phân bố ô nhiễm O₃ theo không gian–thời gian trong tháng 01, 02/2019 và phân tích sơ bộ tác động sức khỏe cộng đồng do nhập viện điều trị nội trú vì bệnh đường hô hấp và tim mạch (mọi nguyên nhân) ở tất cả nhóm tuổi và giới tính. Kết quả nghiên cứu đã định lượng được tổng số trường hợp phải nhập viện điều trị nội trú do tiếp xúc ngắn hạn với ô nhiễm O₃ lên đến 440,39 (95% CI: –0,03–872,72) ca theo ngưỡng trung bình 8-h của QCVN 05:2013/BTNMT và 1.556,94 (95% CI: –1,20–3.047,94) ca theo ngưỡng mục tiêu IT 2 (*Interim target*) của hướng dẫn từ WHO năm 2021. Đây là một trong những kết quả bước đầu, có độ tin cậy và có thể hỗ trợ cho những nghiên cứu tiếp theo trong vấn đề tiếp cận lượng hóa chi tiết mức độ kinh tế mất mát do tiếp xúc ô nhiễm O₃ mặt đất ngắn hạn.

Từ khóa: O₃ mặt đất; Sự phân bố không gian–thời gian; Thiệt hại sức khỏe; Nhập viện; WRF/CMAQ.

1. Mở đầu

Khí ozon (O₃) tầng đối lưu (*ground-level O₃*) là một trong sáu chất ô nhiễm không khí chủ yếu do Cục Bảo vệ Môi sinh Hoa Kỳ (US EPA) quy định, là một chất ô nhiễm thứ cấp có hại cho sức khỏe con người và hệ thực vật [1]. O₃ được hình thành trong khí quyển bởi các phản ứng quang hóa phức tạp phi tuyến tính của các hợp chất hữu cơ bay hơi (VOCs) và nitơ oxit (NO_x) khi có ánh sáng mặt trời [2–3]. Trong một phạm vi quy mô không gian và thời gian rộng lớn hơn thì cacbon monoxit (CO) và metan (CH₄) đều là các tiền chất O₃ rất quan trọng [4]. Mặt khác, O₃ mặt đất cũng tham gia vào nhiều phản ứng hóa học khác trong khí quyển với đặc điểm là thời gian tồn tại ngắn và hoạt tính mạnh [2, 5]. Chính vì khí O₃ tầng đối lưu là một chất oxy hóa rất mạnh, do đó khi tiếp xúc với O₃ có thể dẫn đến một loạt các ảnh hưởng đến sức khỏe [6], điển hình đó là vấn đề liên quan đến căng thẳng, mệt mỏi (*stress*) oxy hóa và viêm phổi [7].

Theo Tổ chức Y tế Thế giới (WHO), 1/8 tổng số ca tử vong toàn cầu xảy ra do tác động từ việc tiếp xúc với ô nhiễm không khí [6, 8]. Số ca tử vong toàn cầu đã tăng mạnh từ 1,3 triệu người năm 2008 [9] lên đến 3,7 triệu người vào năm 2012 [8]; trong đó, có khoảng 88% số trường hợp xảy ra tại các nước có thu nhập thấp và thu nhập trung bình thuộc khu vực Tây Thái Bình Dương và Đông Nam Á với số ca tử vong lần lượt là 1,67 và 0,936 triệu người [8]. Cùng với PM_{2.5}, vấn đề ô nhiễm O₃ mặt đất cũng đã gây ra những rủi ro đáng kể cho sức khỏe nhân loại toàn cầu [5]. Từ 1990–2004, thống kê của Cơ quan Môi trường Châu Âu (EEA) cho thấy trung bình có khoảng 21,4 nghìn ca tử vong sớm mỗi năm tại Liên minh Châu Âu (EU) xảy ra do O₃ [10] và cũng từ báo cáo của EEA (2014) về số ca tử vong sớm ở EU trong năm 2011 đạt mức 16,0 nghìn người [11]. Nhìn chung, ảnh hưởng của O₃ đến sức khỏe con người có thể được chia thành các dạng cấp tính và mãn tính [12]. Xét về cơ chế ảnh hưởng, O₃ oxy hóa trực tiếp các tế bào hoặc tác động thứ cấp bằng cách chuyển hướng năng lượng ra khỏi chức năng chính của tế bào để hạn chế tạo ra các cơ chế phòng vệ như chất chống oxy hóa. Hơn nữa, O₃ cũng phản ứng với chúng như chất ascorbate trong dịch niêm mạc phổi (*Lung Lining Fluid–LLF*) và phản ứng với các chất nền khác như protein hoặc lipid trong LLF, hình thành nên các sản phẩm oxy hóa thứ cấp dẫn đến một số phản ứng tế bào bên trong phổi và một chuỗi các tế bào viêm [10]. Hệ quả là lớp màng rào cản khí–máu (*blood/air barrier*) bị phá hủy và chức năng của phổi bị suy giảm [10].

Gần đây, một loạt rất nhiều các nghiên cứu dịch tễ học đã chứng minh việc phơi nhiễm O₃ ngắn hạn có mối liên hệ chặt chẽ đến tăng nguy cơ tử vong do mọi nguyên nhân [13], bệnh về tim mạch [14] và bệnh về hô hấp [15]. Điển hình, một kết quả nghiên cứu từ [3] cho thấy có từ 55.341–80.280 trường hợp tử vong do bệnh phổi tắc nghẽn mạn tính (*Chronic Obstructive Pulmonary Disease–COPD*) trong năm 2015 tập trung tại Thành phố (TP) Bắc Kinh; các tỉnh Sơn Đông, Hà Nam, Hồ Bắc, Tứ Xuyên, vùng đồng bằng sông Dương Tử và sông Châu Giang. Nghiên cứu [16] cũng đã báo cáo về sự gia tăng tỷ lệ tử vong sớm do O₃ từ 0,42–1,11% trong năm 2015 ở Trung Quốc, kết quả ước tính có 28.367 (95% CI: 9.450–37.834) ca, 59.844 (95% CI: 19.903–79.883) ca và 74.316 (95% CI: 24.699–99.233) ca tương ứng với chỉ số (*metric*) tiêu chuẩn trung bình 8 giờ (8–h) cực đại hàng ngày của Quy chuẩn chất lượng không khí xung quanh quốc gia Trung Quốc (80 ppb), tiêu chuẩn của WHO (50 ppb) [17] và SOMO35 của EU (35 ppb) [18]. Một kết quả điển hình từ [1] đã chứng minh có khoảng 120 (95% CI: 67–160) nghìn ca tử vong sớm tránh được khi nồng độ O₃ trung bình 8–h cực đại hàng ngày giảm xuống mức 100 µg/m³ và khi được kiểm soát ở mức 70 µg/m³ thì sẽ giảm thiểu khoảng 160 (95% CI: 98–230) nghìn ca tử vong ở Trung Quốc trong năm 2016.

Cho đến nay, vẫn chưa có những ước tính về mức độ thiệt hại sức khỏe người dân và thiệt hại kinh tế do O₃ mặt đất gây ra cho các tỉnh của Việt Nam. Khi hầu hết các nghiên cứu chỉ tập trung đánh giá tác động kinh tế–xã hội gây ra do NO₂, SO₂ và bụi PM. Điển hình như nghiên cứu [19] đánh giá thiệt hại sức khỏe cấp tính do PM₁₀ phát sinh từ mỏ đá Tân Uyên ở tỉnh Bình Dương năm 2018; một kết quả từ [20] đã đánh giá sự tương tác từ tác động môi trường–sức khỏe–kinh tế do ô nhiễm PM₁₀ ở TP. Hồ Chí Minh (HCM) tháng 10/2017; hay từ nghiên cứu [21] đã ước tính số ca tử vong sớm tại TP. HCM gây ra do phơi nhiễm dài hạn NO₂, SO₂ và PM_{2.5} trong năm 2017. Kết quả từ nghiên cứu [13] đã đánh giá các rủi ro sức khỏe liên quan đến PM₁₀ và PM_{2.5} tại Long Biên, TP. Hà Nội từ 2013 đến 2016; hay gần đây, từ một nghiên cứu nổi bật [14] đã báo cáo về rủi ro tử vong sớm ở nhóm người trưởng thành (> 25 tuổi) bởi ô nhiễm PM_{2.5} tại 30 quận/huyện của TP. Hà Nội trong năm 2017 theo chỉ số tiêu chuẩn trung bình năm của QCVN 05:2013/BTNMT (25 µg/m³) và WHO 2006 (10 µg/m³).

Do đó, để đáp ứng được mục tiêu nghiên cứu đặt ra, trước tiên hiện trạng mức ô nhiễm O₃ mặt đất trung bình 8–h hàng ngày với độ phân giải không gian–thời gian của lưới tính có độ phân giải khoảng 3 km × 3 km được mô phỏng từ hệ thống mô hình *Weather Research*

and Forecasting Model (WRF)/Community Multiscale Air Quality Modeling System (CMAQ) kết hợp cho các tháng 01/2019 và tháng 02/2019 ở tỉnh Đồng Nai. Từ các kết quả mô phỏng trên, mô hình *Benefits Mapping and Analysis Program–Community Edition* (BenMAP–CE) đã được áp dụng để ước tính những tác động sức khỏe cộng đồng do phải nhập viện điều trị nội trú vì bệnh đường hô hấp và bệnh tim mạch do tất cả mọi nguyên nhân ở tất cả các nhóm tuổi và giới tính dựa theo ngưỡng kiểm soát của QCVN và tiêu chuẩn của WHO năm 2021 theo các ngưỡng mục tiêu IT 1 và IT 2.

2. Phương pháp và số liệu

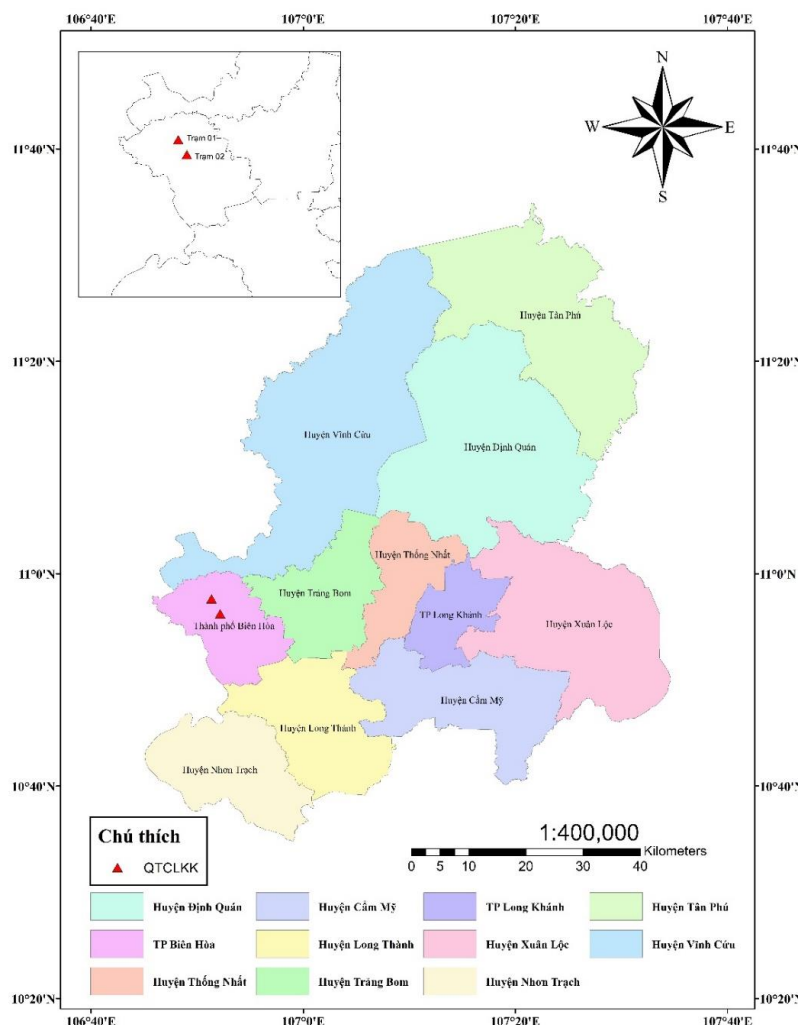
2.1. Khu vực nghiên cứu và các vị trí quan trắc nồng độ O_3

Đồng Nai là tỉnh nằm ở vị trí trung tâm Vùng kinh tế trọng điểm phía Nam (KTTĐPN), là một vùng kinh tế phát triển năng động bậc nhất Việt Nam. Cùng với TP. HCM và tỉnh Bình Dương, Đồng Nai đã có đóng góp kinh tế đáng kể với 316,8 nghìn tỉ đồng năm 2018 [22], chiếm 12,5% so với quy mô GRDP của toàn vùng KTTĐPN (2.530,5 nghìn tỉ đồng) và 5,7% so với quy mô của cả nước [23]. Đến năm 2020, quy mô GRDP của tỉnh đã đạt 372,9 nghìn tỉ đồng và mức bình quân đầu người đạt 117,4 triệu đồng, tương đương khoảng 5.057,5 USD [24]. Hình 1 bên dưới mô tả vị trí của khu vực nghiên cứu tại tỉnh Đồng Nai. Toàn tỉnh có 11 đơn vị hành chính, gồm TP. Biên Hòa, TP. Long Khánh và 9 huyện là Long Thành, Nhơn Trạch, Vĩnh Cửu, Trảng Bom, Thống Nhất, Định Quán, Tân Phú, Cẩm Mỹ, Xuân Lộc; tỉnh có diện tích tự nhiên là 586,4 nghìn ha, dân số trong năm 2019 là 3.113,7 nghìn người, với dân số khu vực thành thị gần 44,1% (1.371,8 nghìn người) và ở nông thôn là 55,9% (1.741,9 nghìn người) [24].

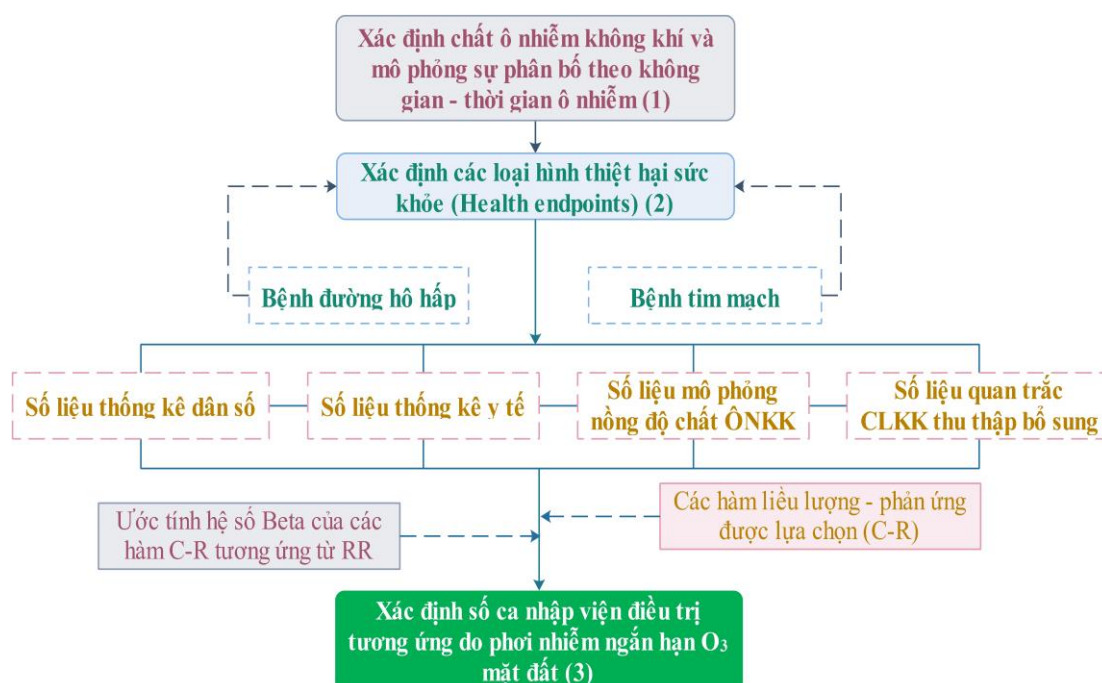
Khu vực nghiên cứu có địa hình vùng đồng bằng và bình nguyên, nằm hoàn toàn trong vùng nhiệt đới gió mùa, có khí hậu ôn hòa, thuộc vùng ít bão lụt, không ngập nước và không chịu ảnh hưởng của động đất [25]. Nhiệt độ không khí trung bình năm trong giai đoạn 2016–2020 của tỉnh Đồng Nai từ 26,3–26,9°C, với 2 mùa (mùa mưa và khô) trong một năm, tổng lượng mưa hàng năm là tương đối cao từ 1.617,7–2.262,7 mm từ năm 2016–2020, và mức độ ẩm không khí trung bình trong giai đoạn này từ 79–83% [24]. Mặt khác, về khía cạnh kinh tế hoạt động công nghiệp của Đồng Nai phát triển rất mạnh, dẫn đầu phát triển công nghiệp tại Việt Nam và cũng là tỉnh đầu tiên phát triển khu công nghiệp của cả nước. Đồng Nai cũng có một Trung tâm công nghệ sinh học tại huyện Cẩm Mỹ đang vận hành với diện tích 208 ha và một khu liên hợp công–nông nghiệp tại các huyện Xuân Lộc, Thống Nhất có diện tích lên đến 2.186 ha [25].

Đối với dữ liệu kết quả quan trắc nồng độ O_3 mặt đất của tháng 01 và 02/2019 được dùng cho kiểm định hiệu quả mô phỏng từ mô hình CMAQ được thu thập từ 2 trạm đo dạng tự động, cố định có vị trí đặt tại Sở Tài nguyên và Môi trường ($X = 10.96045793^\circ$, $Y = 106.85579133^\circ$) (trạm đo số 1), và tại Ban Quản lý các Khu công nghiệp ($X = 10.93699064^\circ$, $Y = 106.86933903^\circ$) (trạm đo số 2) đều do Trung tâm Kỹ thuật Tài nguyên và Môi trường thuộc Sở Tài nguyên và Môi trường Đồng Nai quản lý và vận hành [26], như đã được thể hiện trong Hình 1. Các giá trị nồng độ O_3 được quan trắc theo thời gian thực với chu kỳ 30 phút.

Hình 2 bên dưới cũng thể hiện một sơ đồ khung cấu trúc các bước thực hiện của nghiên cứu này, gồm có 03 giai đoạn chính: (1) xác định đối tượng chất ô nhiễm quan tâm (O_3 mặt đất) và mô phỏng sự phân bố không gian–thời gian bằng mô hình WRF/CMAQ kết hợp; (2) xác định các dạng thiệt hại sức khỏe do phơi nhiễm ngắn hạn và các loại dữ liệu có liên quan cho tính toán; (3) lượng hóa số trường hợp chịu tác động do tiếp xúc ô nhiễm không khí (O_3).



Hình 1. Vị trí địa lý khu vực nghiên cứu và các trạm đo đặc O_3 mặt đất tại khu vực tỉnh Đồng Nai (trạm đo số 1 và trạm đo số 2).



Hình 2. Sơ đồ khung cấu trúc các bước thực hiện của nghiên cứu.

2.2. Mô phỏng sự phân bố không gian–thời gian O_3 mặt đất

Nồng độ O_3 bề mặt hàng giờ (hourly) cho tháng 01/2019 và 02/2019 tại khu vực tỉnh Đồng Nai đã được mô phỏng bằng các mô hình WRF và CMAQ. WRF là một hệ thống dự báo thời tiết số theo tỷ lệ hiện đại và CMAQ là một mô hình vận chuyển hóa chất trong khí quyển khu vực do US EPA phát triển [27]. CMAQ kết hợp kiến thức hiện tại về khoa học khí quyển và mô hình chất lượng không khí, bao gồm các quá trình vật lý và hóa học toàn diện, đồng thời có thể lập mô hình đồng thời nhiều chất ô nhiễm từ quy mô địa phương đến lục địa [27]. WRF tính toán trường thời tiết hàng giờ và cung cấp cho mô hình CMAQ để mô phỏng nồng độ O_3 mặt đất theo hàng giờ [28–30]. Trong nghiên cứu này, mô hình ngoại tuyến WRF với phiên bản ver.3.8 [31] đã được dùng để mô phỏng các điều kiện khí tượng. Những dữ liệu NCEP (*the National Center for Environmental Prediction*) Final (FNL) Operational Global Analysis mỗi 6 giờ có độ phân giải không gian $1.0^\circ \times 1.0^\circ$ từ Trung tâm Nghiên cứu Khí quyển Quốc gia Hoa Kỳ (NCAR) (<https://rda.ucar.edu/datasets/ds083.2/>) đã được dùng làm các điều kiện ban đầu và điều kiện biên, và phân tích phỏng đoán cho mô hình WRF. Dữ liệu NCEP FNL này được tạo ra từ hệ thống *Global Data Assimilation System (GDAS)* [32] dựa trên các nguồn dữ liệu giám sát được thu thập liên tục là các thông số khí tượng như áp suất bề mặt, áp suất mực nước biển, nhiệt độ địa chất, nhiệt độ bề mặt biển, nhiệt độ đất, lớp phủ băng, độ ẩm tương đối, vector gió U và vector gió V. Các dữ liệu FNL đã được sử dụng rộng rãi trong nhiều nghiên cứu để mô phỏng các điều kiện khí tượng và chất lượng không khí tại nhiều khu vực khác nhau trên thế giới [33]. Mô hình WRF đã được thiết lập với 02 miền tính D01 và D02, với số ô lưới cho D01, D02 và D03 lần lượt là 76×94 , 55×43 , và 54×48 ô lưới. Miền tính lớn nhất bên ngoài (D01) có diện tích khoảng $5,41 \times 10^6 \text{ km}^2$ và độ phân giải không gian lưới ngang 27 km; miền tính D02 nhỏ hơn có diện tích khoảng $2,11 \times 10^5 \text{ km}^2$ và có độ phân giải không gian lưới ngang 9 km.

Mặt khác, theo phương đứng, có tất cả 31 mức lớp sigma cho tất cả các ô lưới của 03 miền tính D01, D02 và D03 trong mô hình WRF, từ mức mặt đất tới lớp sigma mức đỉnh cố định tại áp suất 100 hPa. Kết quả đầu ra từ mô hình WRF được xử lý bởi công cụ MCIP phiên bản ver.4.5.3 (*Meteorology–Chemistry Interface Processor*) để tạo ra định dạng đầu vào theo yêu cầu của mô hình CMAQ. Tiếp theo, mô hình CMAQ phiên bản ver.5.2.1 (<http://cmasceneter.org/cmaq/>) được cập nhật và công bố vào tháng 06/2017 bởi Cục Bảo vệ Môi sinh Hoa Kỳ (U.S. EPA) [34–36] đã được áp dụng để mô phỏng nồng độ sự phân bố nồng độ O_3 mặt đất tại khu vực nghiên cứu từ 01/01/2019 đến 28/02/2019. Để đảm bảo tính chính xác của các trường khí tượng điều kiện biên, các miền tính ngang của mô hình WRF thông thường lớn hơn một chút so với mô hình CMAQ [37]. Mô hình CMAQ trong nghiên cứu được cấu hình với các miền tính lồng nhau giống với mô hình WRF nhưng 03 ô lưới tính theo mỗi phương của các miền tính được loại bỏ từ các miền tính D01, D02 và D03 của mô hình WRF, như vậy số ô lưới của các miền tính mô phỏng O_3 mặt đất trong CMAQ lần lượt là 73×91 , 52×40 , và 51×45 grid cells. Đối với mô hình CMAQ, có tất cả 29 lớp trong hệ thống tọa độ sigma, cụ thể các giá trị sigma (σ) cho các miền tính CMAQ tại các ranh giới lớp là 1.000, 0.997, 0.990, 0.983, 0.976, 0.970, 0.962, 0.954, 0.944, 0.932, 0.917, 0.898, 0.874, 0.844, 0.806, 0.760, 0.707, 0.647, 0.582, 0.513, 0.444, 0.375, 0.308, 0.243, 0.183, 0.126, 0.073, 0.023, và 0.000. Phiên bản cập nhật và mở rộng lần thứ 3 của Cơ chế hóa học liên kết Carbon (CBM) pha khí CB6r3 [38–40] cho các chất hóa học cũng đã được thiết lập trong mô hình CMAQ.

2.3. Kiểm định khả năng mô phỏng O_3 mặt đất từ WRF/CMAQ kết hợp

Nghiên cứu cũng đã đánh giá được khả năng mô phỏng nồng độ O_3 mặt đất tại khu vực tỉnh Đồng Nai của mô hình WRF/CMAQ kết hợp bằng sự so sánh những kết quả được ước tính với kết quả đo đạc nồng độ O_3 tại 02 trạm quan trắc khác nhau trong khoảng thời gian mô phỏng (như thể hiện trong Hình 1). Nồng độ O_3 mặt đất từ mô hình WRF/CMAQ kết

hợp được xuất ra ở vị trí ô lưới tính tương ứng và so sánh với kết quả đo tại từng trạm quan trắc (trạm đo số 1 và trạm đo số 2) dựa vào tiêu chí đánh giá của nhiều chỉ số thống kê khác nhau để kiểm định các kết quả, bao gồm độ lệch trung bình chuẩn hóa (*NMB–Normalized Mean Bias*) ở công thức (1); sai số gộp trung bình chuẩn hóa (*NME–Normalized Mean Gross Errors*) ở công thức (2) và hệ số tương quan R (*Correlation Coefficient–COR*) ở công thức (3) [41] trên cơ sở các đề xuất kiểm chứng mô phỏng chất lượng không khí của các nghiên cứu trước đây [42–43] để kiểm chứng mô hình.

$$NMB = \frac{\sum_{i=1}^N (M_i - O_i)}{\sum_{i=1}^N (O_i)} \times 100 \quad (1)$$

$$NME = \frac{\sum_{i=1}^N |M_i - O_i|}{\sum_{i=1}^N (O_i)} \times 100 \quad (2)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N [(M_i - \overline{M_i}) \times (O_i - \overline{O_i})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (M_i - \overline{O_i})^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - \overline{O_i})^2}} \quad (3)$$

Trong đó M_i là nồng độ O_3 mặt đất mô phỏng tại thời điểm thứ i (với i từ 1, 2, ..., N với N là tổng số thời điểm có đo O_3); O_i là nồng độ O_3 mặt đất giám sát tại thời điểm thứ i ; $\overline{M_i}$ là giá trị trung bình O_3 mặt đất mô phỏng ở các thời điểm i có đo đạc và $\overline{O_i}$ là trung bình nồng độ O_3 mặt đất đo đạc ở tất cả các thời điểm i .

2.4. Đánh giá tác động sức khỏe con người

Mô hình BenMAP–CE phiên bản 1.5.0.4 đã được dùng để ước tính những ảnh hưởng sức khỏe do tiếp xúc ngắn hạn với khí O_3 gây ra. BenMAP–CE là một phần mềm mã nguồn mở, có sẵn do US EPA phát triển [44] nhằm hệ thống hóa các quá trình phân tích cả về sức khỏe cộng đồng và giá trị kinh tế (tiền tệ) [45–46]. Bộ dữ liệu đầu vào gồm có dữ liệu nồng độ O_3 mặt đất trung bình 8–h cực đại hàng ngày mô phỏng từ mô hình WRF/CMAQ kết hợp, dữ liệu về dân số và dữ liệu liên quan đến các loại bệnh tật (*morbidity*) theo các dạng hàm ước tính thiệt hại sức khỏe.

Dựa trên cơ sở Phân loại Bệnh tật Quốc tế, Bản sửa đổi lần thứ 10 (ICD–10), các nguyên nhân gây ra việc nhập viện điều trị trong nghiên cứu này có thể được phân loại thành các bệnh đường hô hấp do tất cả nguyên nhân (*all-cause respiratory diseases*) (RD–ICD J00–J99) và các bệnh tim mạch do tất cả nguyên nhân (*all-cause cardiovascular diseases*) (CVD–ICD I00–I99, ngoại trừ I88).

Những thiệt hại sức khỏe người dân trong BenMAP–CE được xác định theo một hàm thiệt hại sức khỏe (*Health Impact Function–HIF*) cùng với các hệ số β có liên quan đến các loại thiệt hại sức khỏe (health endpoints) được tính từ các giá trị rủi ro sức khỏe trong các nghiên cứu dịch tễ học, chúng phản ánh mối quan hệ giữa rủi ro tương đối với sự thay đổi trong phơi nhiễm ngắn hạn O_3 mặt đất theo các công thức (4), (5), (6) và (7) [44, 47–48] mô tả bên dưới như sau:

$$\Delta Y = Y_0 (1 - e^{-\beta \times \Delta O_3 \text{ Conc}}) \times \text{Pop} \quad (4)$$

$$\beta = \frac{\ln(RR)}{\Delta O_3 \text{ Conc}} \quad (5)$$

$$\beta_{\text{lowerbound}} = \beta - (1.96 \times \sigma_\beta) \quad (6)$$

$$\beta_{\text{upperbound}} = \beta + (1.96 \times \sigma_\beta) \quad (7)$$

Trong đó ΔY là số trường hợp nhập viện điều trị do tiếp xúc ô nhiễm O_3 mặt đất ngắn hạn; Y_0 là tỷ lệ mắc bệnh nền cho từng loại thiệt hại sức khỏe trên mỗi đơn vị dân số; $\Delta O_3 \text{ Conc}$ là sự thay đổi nồng độ O_3 trung bình 8–h cực đại hàng ngày, đại diện cho sự khác biệt giữa lớp nồng độ O_3 hiện trạng (*baseline*) và nồng độ sau khi được kiểm soát bởi QCVN 05:2013/BTNMT và tiêu chuẩn của WHO năm 2021; Pop là dân số bị phơi nhiễm O_3 mặt đất và β là hệ số của các hàm HIF hay còn được gọi là hàm nồng độ phản ứng (C–R) được xác định từ các giá trị rủi ro tương đối từ các nghiên cứu dịch tễ học (*relative risk – RR*) [1, 48–49], β đại diện cho phần trăm thay đổi trong một loại tác động sức khỏe nhất định của mỗi đơn vị nồng độ O_3 mặt đất. $\beta_{\text{lowerbound}}$ và $\beta_{\text{upperbound}}$ lần lượt là các giá trị cận dưới và cận trên của hệ số β với σ_β (sai số chuẩn của β) được tính toán như là giá trị trung bình của các sai số chuẩn được bao hàm bởi các giới hạn dưới ($RR_{\text{lowerbound}}$) và giới hạn trên ($RR_{\text{upperbound}}$) của RR đã được nghiên cứu trong các báo cáo dịch tễ học (như trong Bảng 1).

Bảng 1. Giá trị rủi ro tương đối (RR) của các hàm C–R tương ứng cho các loại thiệt hại sức khỏe (ngắn hạn) được phân tích.

Loại thiệt hại	RR (95% CI), $\Delta O_3 \text{ Conc}$	Khu vực nghiên cứu	Tham khảo
HA do bệnh đường hô hấp tất cả nguyên nhân, tất cả nhóm tuổi	1.007 (1.001–1.013), $\Delta O_3 \text{ Conc} = 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$	TP. Hà Nội	[15]
HA do bệnh đường hô hấp tất cả nguyên nhân, trẻ em (0–5 tuổi)	1.007 (1.001–1.013), $\Delta O_3 \text{ Conc} = 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$	TP. Hà Nội	[15]
HA do bệnh đường hô hấp tất cả nguyên nhân, người già (≥ 65 tuổi)	1.021 (1.005–1.037), $\Delta O_3 \text{ Conc} = 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$	TP. Hà Nội	[15]
HA do bệnh tim mạch tất cả nguyên nhân, tất cả nhóm tuổi	0.987 (0.973–1.001), $\Delta O_3 \text{ Conc} = 68 \mu\text{g}/\text{m}^3$	TP. Hà Nội	[50]
	1.021 (0.989–1.054), $\Delta O_3 \text{ Conc} = 68 \mu\text{g}/\text{m}^3$	TP. Quảng Ninh	[50]
HA do bệnh tim mạch tất cả nguyên nhân, người trưởng thành (15–64 tuổi)	0.991 (0.969–1.014), $\Delta O_3 \text{ Conc} = 68 \mu\text{g}/\text{m}^3$	TP. Hà Nội	[50]
	1.006 (0.959–1.054), $\Delta O_3 \text{ Conc} = 68 \mu\text{g}/\text{m}^3$	TP. Quảng Ninh	[50]
HA do bệnh tim mạch tất cả nguyên nhân, người già (≥ 65 tuổi)	0.983 (0.965–1.002), $\Delta O_3 \text{ Conc} = 68 \mu\text{g}/\text{m}^3$	TP. Hà Nội	[50]
	1.034 (0.991–1.079), $\Delta O_3 \text{ Conc} = 68 \mu\text{g}/\text{m}^3$	TP. Quảng Ninh	[50]

2.5. Dữ liệu thu thập

2.5.1. Dữ liệu dân số

Ước tính tác động của ô nhiễm O_3 mặt đất tại khu vực nghiên cứu thuộc toàn bộ tỉnh Đồng Nai; do vậy, nghiên cứu xác định quy mô dân số bị phơi nhiễm là toàn bộ dân số của 02 Thành phố và 09 quận/huyện trên địa bàn tỉnh Đồng Nai trong năm 2019 (Bảng 2). Dữ liệu về dân số được thu thập từ Niên giám Thống kê Đồng Nai, 2020 và xem xét tính toán cho tất cả các nhóm tuổi, nhóm giới tính [24].

Bảng 2. Dân số của tỉnh Đồng Nai trong năm 2019 (đơn vị: người).

Huyện, Thành phố	Tổng dân số	Trẻ em	Người lớn	Người già
TP. Biên Hòa	1.062.410	250.815	753.644	57.951
TP. Long Khánh	152.280	35.950	108.023	8.306
Huyện Tân Phú	153.010	36.123	108.541	8.346
Huyện Vĩnh Cửu	164.880	38.925	116.961	8.994
Huyện Định Quán	187.310	44.220	132.872	10.217
Huyện Trảng Bom	351.150	82.900	249.096	19.154
Huyện Thống Nhất	164.540	38.845	116.720	8.975

Huyện, Thành phố	Tổng dân số	Trẻ em	Người lớn	Người già
Huyện Cẩm Mỹ	140.910	33.266	99.958	7.686
Huyện Long Thành	247.370	58.399	175.477	13.493
Huyện Xuân Lộc	227.860	53.793	161.638	12.429
Huyện Nhơn Trạch	261.990	61.851	185.848	14.291
Tổng cộng	3.113.710	735.088	2.208.779	169.844

2.5.2. Tỷ lệ mắc bệnh nền

Trong nghiên cứu này, tỷ lệ mắc bệnh nền (Y_0) là xác suất mà một người dân của một quốc gia/khu vực sẽ bị mắc bệnh trong một khoảng thời gian nhất định [45]. Bộ dữ liệu Y_0 của từng loại thiệt hại sức khỏe trong năm 2019 cho tất cả các nhóm giới tính (nam, nữ) và các nhóm tuổi cho khu vực nghiên cứu được thu thập từ nguồn Niên giám thống kê Y tế quốc gia 2019–2020 (<https://moh.gov.vn/>). Mặt khác, để có sự tương thích với các tính toán tiếp xúc ngắn hạn, giá trị Y_0 hàng ngày (người/ngày) đã được ước tính bằng cách chia cho 365 ngày [45] và là nguồn dữ liệu nhập vào trong mô hình BenMAP–CE. Từ đó, xác định được tỷ lệ mắc bệnh nền (Y_0) đối với các loại thiệt hại, gồm bệnh đường hô hấp do tất cả nguyên nhân và bệnh tim mạch do tất cả nguyên nhân lần lượt là 0,000378 và 0,000231.

2.5.3. Hàm nồng độ–phản ứng (C–R)

Khu vực được thực hiện nghiên cứu là toàn bộ tỉnh Đồng Nai; tuy nhiên, các nghiên cứu dịch tễ học hiện nay có liên quan đến việc xây dựng các hàm C–R để đánh giá mức độ rủi ro (RR) do tác động từ phơi nhiễm ô nhiễm O_3 mặt đất ở tỉnh Đồng Nai là vẫn chưa có và còn thiếu dữ liệu. Do đó, nhóm nghiên cứu đã thực hiện lựa chọn các giá trị RR từ các nghiên cứu dịch tễ học sẵn có đã công bố cho TP. Hà Nội và TP. Quảng Ninh [14–15], đều có nhiều nét tương đồng về tốc độ, trình độ phát triển kinh tế–xã hội và mật độ phân bố dân cư. Bảng 1 bên trên đã trình bày chi tiết các giá trị RR với độ tin cậy 95% (95% CI) có được từ kết quả công bố của các nghiên cứu dịch tễ học và kết quả tính toán các hệ số β , $\beta_{lowerbound}$ và $\beta_{upperbound}$ tương ứng được thể hiện trong Bảng 5 bên dưới.

3. Kết quả và thảo luận

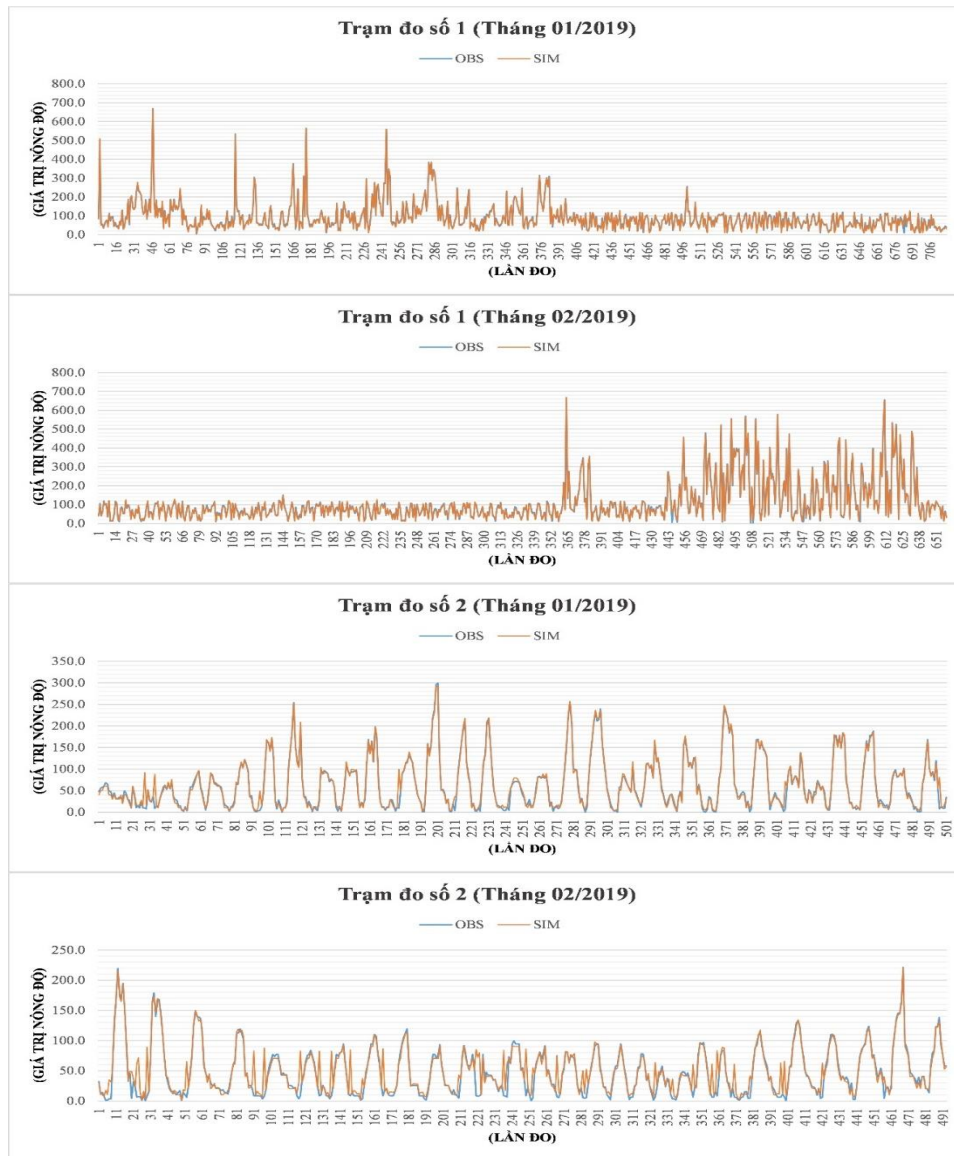
3.1. Phân tích hiệu quả mô phỏng nồng độ O_3 mặt đất

Việc đánh giá hiệu quả mô phỏng nồng độ O_3 mặt đất cho khu vực nghiên cứu thuộc tỉnh Đồng Nai trong các tháng 01/2019 và tháng 02/2019 đã được phân tích dựa trên kết quả nồng độ O_3 mặt đất đo đạc (Bảng 3) và nồng độ mô phỏng (Hình 3) tại 02 vị trí quan trắc (trạm đo số 1 và trạm đo số 2) ở TP. Biên Hòa, tỉnh Đồng Nai như đã mô tả ở mục 2.1 và Hình 1. Ba chỉ số thống kê, gồm có NMB, NME và giá trị hệ số tương quan R (COR) đã được xác định dựa trên các công thức từ (1) đến (3) đã được mô tả ở mục 2.3 để phân tích, đánh giá hiệu quả của hệ thống các mô hình WRF/CMAQ kết hợp. Điều kiện cho phép tương ứng của các chỉ số thống kê cũng được đề xuất theo các nghiên cứu [42–43] cũng đã được báo cáo trong Bảng 4.

Đối với trạm đo số 1, trong tháng 01/2019 kết quả các chỉ số thống kê ước tính đều đảm bảo các điều kiện cho phép tương ứng ở mức tốt, với các giá trị lần lượt là NMB = –1,515% (điều kiện NMB < $\pm$ 30%); NME = 4,164% (điều kiện NME < 50%) và hệ số COR = 0,987 (điều kiện hệ số COR > 0,5). Trong tháng 02/2019, các kết quả cũng đạt được tương tự như trong trường hợp tháng 01/2019 với các kết quả chỉ số thống kê NMB, NME và hệ số COR ước tính lần lượt tại trạm đo số 1 là –1,065%; 3,662% và 0,988.

Tương tự đối với trạm đo số 2, các kết quả chỉ số thống kê ước tính đều đảm bảo các điều kiện cho phép tương ứng ở mức tốt. Cụ thể, các giá trị đạt được trong tháng 01/2019 và 02/2019 đối với chỉ số NMB lần lượt là 1,158% và 7,906% (điều kiện NMB < $\pm$ 30%);

đôi với chỉ số NME lần lượt là 7,099% và 16,208% (điều kiện NME < 50%); và đôi với hệ số COR lần lượt là 0,987 và 0,913 (điều kiện hệ số COR > 0,5).



Hình 3. So sánh tương quan giữa giá trị nồng độ O₃ mặt đất từ kết quả mô phỏng (đường màu cam, SIM) và kết quả quan trắc (đường màu xanh, OBS) tại 02 trạm đo đặc của các ngày trong tháng 01/2018 và 02/2018 tại tỉnh Đồng Nai.

Bảng 3. Kết quả thống kê mô tả mức nồng độ O₃ mặt đất trung bình 8-h cực đại được đo đặc tại 02 trạm đo ở tỉnh Đồng Nai trong tháng 01/2019 và 02/2019.

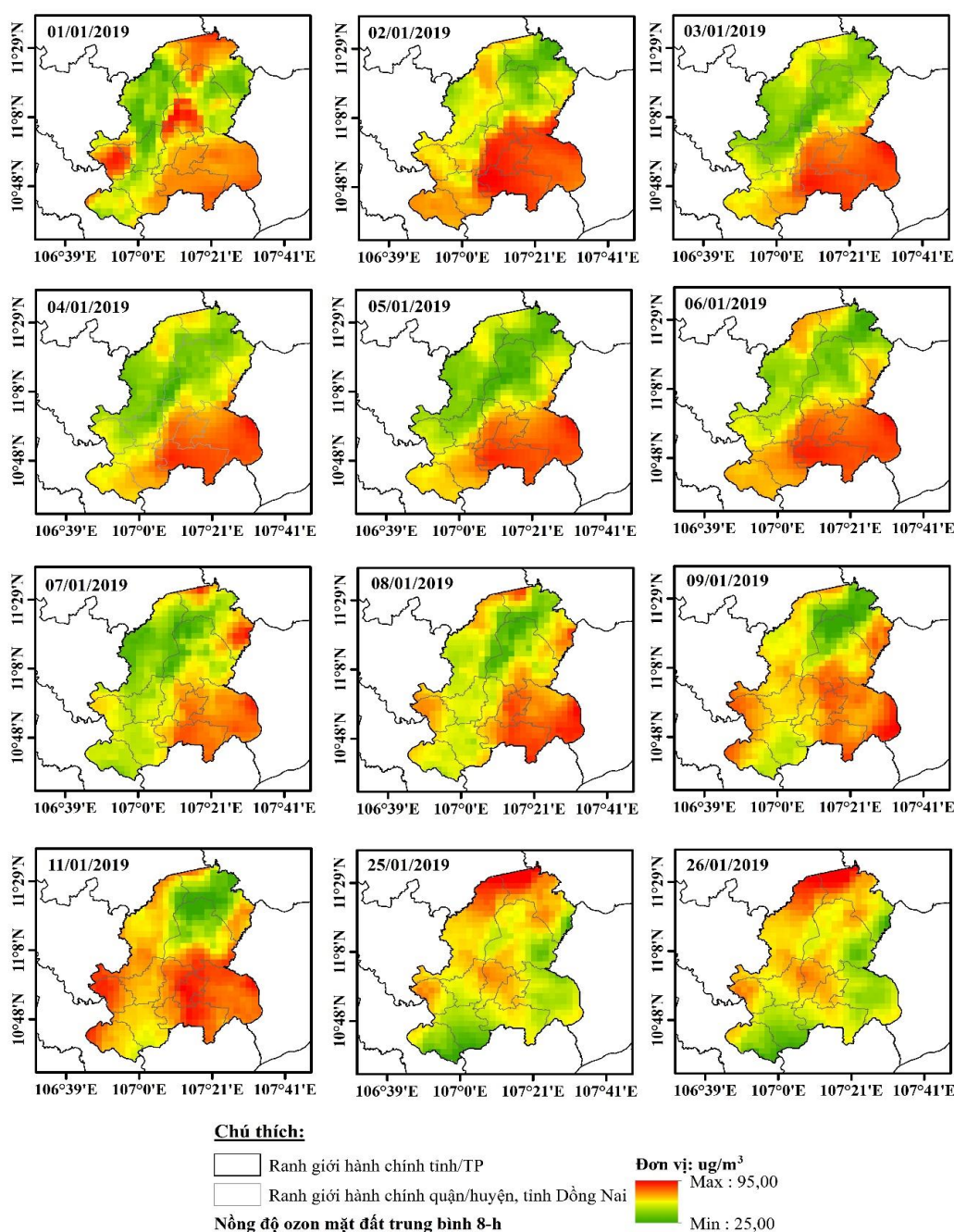
Thông số	Trạm đo số 1	Trạm đo số 2
	Tháng 01/2019	
Giá trị trung bình (µg/m ³)	89.839 ± 35.573	102.376 ± 46.209
Giá trị cực tiểu (µg/m ³)	44.221	14.992
Giá trị cực đại (µg/m ³)	225.778	194.611
Trung vị (µg/m ³)	79.791	97.995
	Tháng 02/2019	
Giá trị trung bình (µg/m ³)	103.658 ± 61.493	78.798 ± 29.467
Giá trị cực tiểu (µg/m ³)	43.448	34.587
Giá trị cực đại (µg/m ³)	237.888	158.689
Trung vị (µg/m ³)	75.825	69.067

Bảng 4. Kết quả xác định các chỉ số thống kê cho kiểm định mô phỏng nồng độ O_3 mặt đất từ các mô hình WRF/CMAQ kết hợp.

Chỉ số thống kê	Trạm quan trắc				Tiêu chuẩn
	Trạm đo số 1 (Tháng 1)	Trạm đo số 1 (Tháng 2)	Trạm đo số 2 (Tháng 1)	Trạm đo số 1 (Tháng 2)	
NMB (%)	-1,515%	-1,065%	1,158%	7,906%	$-30\% < NMB < 30\%$
NME (%)	4,164%	3,662%	7,099%	16,208%	$NME < 50\%$
Hệ số COR	0,987	0,988	0,987	0,913	$COR > 0,5$

3.2. Đánh giá kết quả phân bố không gian–thời gian nồng độ O_3 mặt đất

3.2.1. Tháng 01/2019



Hình 4. Sự phân bố không gian–thời gian mức nồng độ O_3 mặt đất trung bình 8-h của các ngày có mức nồng độ cao nhất (01/01/2019–09/01/2019, 11/01/2019, 25/01/2019–26/01/2019) xảy ra trong tháng 01/2019 tại tỉnh Đồng Nai.

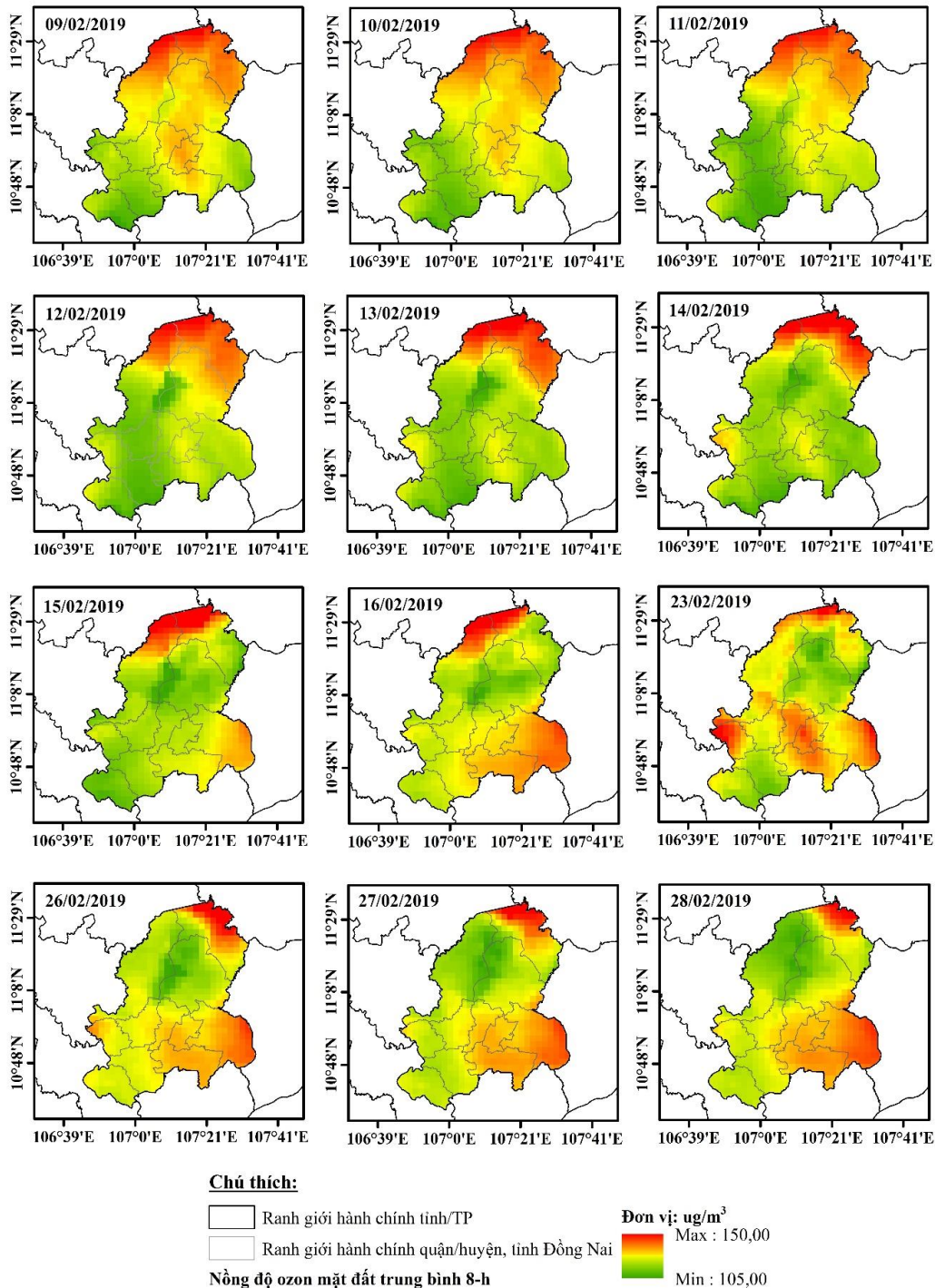
Dựa trên các kết quả mô phỏng từ hệ thống WRF/CMAQ chỉ ra sự biến động nồng độ O_3 trung bình 8-h trong tháng 01/2019 dao động từ 11,36–93,04 $\mu g/m^3$. Hình 4 thể hiện sự phân bố nồng độ O_3 trung bình 8-h của một số ngày có mức nồng độ cao điển hình trong tháng, gồm có giai đoạn từ 01/01–09/01, 11/01 và 25/01–26/01/2019. Trong tháng 01/2019 mức nồng độ trung bình 8-h có xu hướng giảm dần từ ngày 01/01/2019 cho đến ngày 10/01/2019, trong đó ngày 10/01/2019 có mức nồng độ thấp nhất với khoảng từ 11,36–14,13 $\mu g/m^3$. Tiếp theo, ở giai đoạn từ ngày 11/01/2019 đến ngày 31/01/2019, nồng độ O_3 trung bình 8-h hầu như tương đối ổn định và rất ít có sự biến động với sự biến thiên trong khoảng từ 24,49–49,74 $\mu g/m^3$. Đồng thời, từ các kết quả mô phỏng có thể nhận thấy rằng khi so sánh mức nồng độ O_3 trung bình 8-h đối với QCVN 05:2013/BTNMT (ngưỡng trung bình 8-h là 120 $\mu g/m^3$) thì không có ngày nào vượt giới hạn cho phép. Tuy nhiên, khi so sánh với hướng dẫn về chất lượng không khí toàn cầu của WHO năm 2021 với ngưỡng mục tiêu IT 2 là 70 $\mu g/m^3$ thì có 02 ngày có mức nồng độ O_3 trung bình 8-h bị ô nhiễm. Cụ thể đó lần lượt là các ngày 03/01/2019 với giá trị nồng độ O_3 trung bình 8-h cực đại là 93,04 $\mu g/m^3$, đã vượt khoảng 1,33 lần và ở ngày 04/01/2019 với giá trị nồng độ O_3 trung bình 8-h cực đại là 74,60 $\mu g/m^3$, đã vượt khoảng 1,07 lần so với ngưỡng mục tiêu IT 2 của WHO. Mặt khác, cũng có thể thấy rằng trong giai đoạn từ 01/01/2019 đến 11/01/2019 mức nồng độ O_3 trung bình 8-h cao thường xảy ra tập trung tại các khu vực phía Đông và Đông Nam của tỉnh Đồng Nai như các huyện Xuân Lộc, Cẩm Mỹ, Long Thành, một phần phía Nam huyện Thống Nhất và TP. Long Khánh. Trong khi đó, từ 12/01/2019 đến 31/01/2019 mức nồng độ O_3 trung bình 8-h cao thường xảy ra tập trung tại các khu vực phía Bắc và Tây Bắc của tỉnh Đồng Nai như tại các huyện Vĩnh Cửu, Tân Phú và một phần phía Bắc của huyện Định Quán.

3.2.2. Tháng 02/2019

Tương tự như tháng 01/2019, cũng dựa trên các kết quả mô phỏng số từ hệ thống mô hình cho thấy sự biến thiên mức nồng độ O_3 trung bình 8-h trong tháng 02/2019 dao động từ 38,88–149,16 $\mu g/m^3$. Biên độ dao động đã cao hơn so với tháng 01/2019 từ 1,60–13,13 lần. Hình 5 bên dưới cũng trình bày sự phân bố không gian–thời gian nồng độ O_3 trung bình 8-h của một số ngày có mức nồng độ cao điển hình trong tháng, gồm có giai đoạn từ 09/02–16/02, 23/02 và 26/02–28/02/2019. Trong tháng 02/2019 mức nồng độ trung bình 8-h có xu hướng tăng dần trong một số ngày đầu tháng từ ngày 01/02/2019 cho đến ngày 05/02/2019, trong giai đoạn này giá trị nồng độ O_3 trung bình 8-h dao động từ 38,88–93,26 $\mu g/m^3$. Tiếp theo, giá trị nồng độ có xu hướng giảm đến ngày 07/02/2019 với mức biến thiên từ 44,68–54,00 $\mu g/m^3$; từ sau đó giá trị nồng độ bắt đầu tăng mạnh và đạt đỉnh vào ngày 12/02/2019 với mức dao động từ 112,49–149,16 $\mu g/m^3$; và từ ngày 13/02/2019 đến 28/02/2019, giá trị nồng độ O_3 trung bình 8-h có xu hướng ổn định hơn và ít có sự thay đổi đáng kể với mức dao động từ 104,13–148,82 $\mu g/m^3$. Khác biệt so với tháng 01/2019, từ các kết quả mô phỏng có thể nhận thấy rằng khi so sánh mức nồng độ O_3 trung bình 8-h đối với QCVN 05:2013/BTNMT (ngưỡng trung bình 8-h là 120 $\mu g/m^3$) thì có 20 ngày bị ô nhiễm, cụ thể đó là các ngày từ 09/02 đến 28/02/2019, với mức vượt ngưỡng giới hạn cho phép của QCVN từ 1,09–1,24 lần.

Đồng thời, khi so sánh với hướng dẫn về chất lượng không khí toàn cầu của WHO năm 2021 với các ngưỡng mục tiêu IT 1 và IT 2 lần lượt là 100 và 70 $\mu g/m^3$ thì cũng lần lượt có 21 và 24 ngày có mức nồng độ O_3 trung bình 8-h bị ô nhiễm. Cụ thể đó lần lượt là các ngày 01/02/2019 với giá trị nồng độ O_3 trung bình 8-h cực đại là 71,60 $\mu g/m^3$, đã vượt khoảng 1,02 lần so với ngưỡng IT 2; ngày 05/02/2019 với giá trị nồng độ cực đại là 93,26 $\mu g/m^3$, đã vượt khoảng 1,33 lần so với ngưỡng IT 2; ngày 06/02/2019 với giá trị nồng độ cực đại là 75,18 $\mu g/m^3$, đã vượt khoảng 1,07 lần so với ngưỡng IT 2; ngày 08/02/2019 với giá trị nồng độ cực đại là 113,36 $\mu g/m^3$, đã vượt khoảng 1,13 và 1,62 lần so với ngưỡng mục tiêu IT 1 và 2. Trong khi đó, ở giai đoạn từ 09/02/2019 đến 28/02/2019 với giá trị nồng độ O_3 trung

bình 8–h cực đại ở mức từ 131,02–149,16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, lần lượt đã vượt khoảng từ 1,31–1,49 lần và từ 1,87–2,13 lần so với các ngưỡng mục tiêu IT 1 và IT 2 của WHO. Mặt khác, cũng có thể thấy rằng trong giai đoạn từ 01/02/2019 đến 15/02/2019 mức nồng độ O_3 trung bình 8–h cao thường xảy ra tập trung tại các khu vực phía Bắc, Tây Bắc và một phần trung tâm của tỉnh Đồng Nai như tại các huyện Vĩnh Cửu, Tân Phú và một phần phía Bắc của các huyện Định Quán, Thống Nhất, TP. Long Khánh. Trong khi, từ 16/02/2019 đến 28/02/2019 mức nồng độ O_3 trung bình 8–h cao thường xảy ra tập trung tại các khu vực phía Bắc, Đông và Đông Nam của tỉnh Đồng Nai như các huyện Vĩnh Cửu, Tân Phú, Xuân Lộc, Cẩm Mỹ và một phần ở phía Đông của TP. Long Khánh.



Hình 5. Sự phân bố không gian–thời gian mức nồng độ O_3 mặt đất trung bình 8–h của các ngày có mức nồng độ cao nhất (09/02/2019–16/02/2019, 23/02/2019, 26/02/2019–28/02/2019) xảy ra trong tháng 02/2019 tại tỉnh Đồng Nai.

3.3. Đánh giá tác động đến sức khỏe cộng đồng do phơi nhiễm ngắn hạn O_3 mặt đất

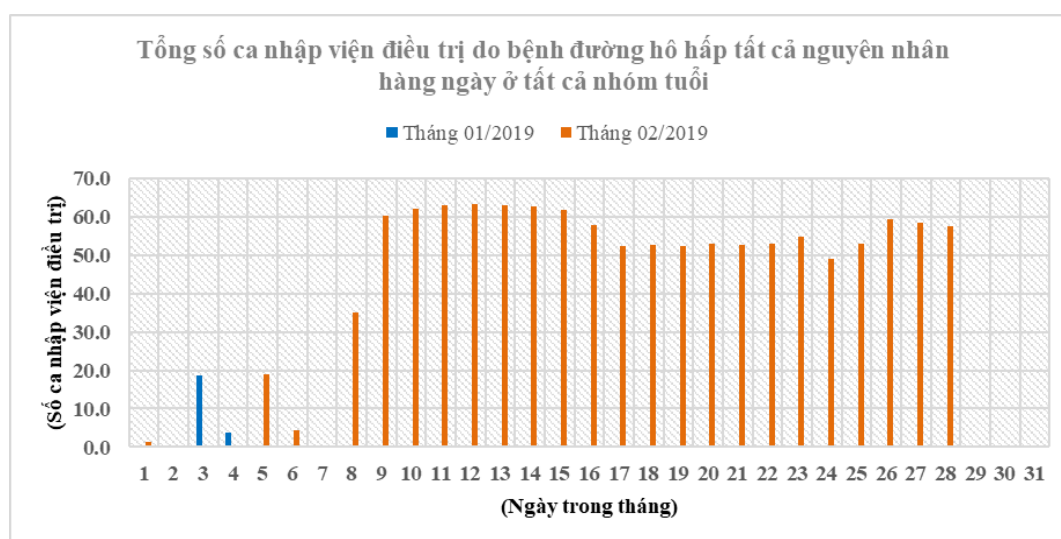
3.3.1. Trường hợp nhập viện điều trị do bệnh đường hô hấp

Kết quả phân tích tác động của tiếp xúc với ô nhiễm O_3 mặt đất ngắn hạn (dựa trên mức giá trị nồng độ O_3 trung bình 8–h cực đại hàng ngày đã mô phỏng kết hợp cùng với các giá trị hệ số β của hàm thiệt hại ở Bảng 5) cho thấy từ tháng 01/2019 đến tháng 02/2019 có khoảng 346,90 (95% CI: 50,04–637,79) ca nhập viện điều trị do các bệnh đường hô hấp bởi tất cả nguyên nhân khi áp dụng mức nồng độ sau khi được kiểm soát bởi QCVN 05:2013/BTNMT là $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tuy nhiên, khi áp dụng mức nồng độ sau khi được kiểm soát bởi các ngưỡng mục tiêu IT 1 và IT 2 của hướng dẫn về chất lượng không khí toàn cầu của WHO năm 2021 lần lượt là 100 và $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ thì số ca nhập viện điều trị ước tính ở mức cao hơn hẳn, cụ thể lần lượt là 679,17 (95% CI: 98,52–1.241,81) ca và 1.224,06 (95% CI: 179,00–2.220,39) ca. Số ca nhập viện điều trị do các bệnh đường hô hấp bởi tất cả nguyên nhân cao nhất xảy ra vào ngày 12/02/2019, lần lượt là 23,70 (95% CI: 3,43–43,50) ca khi tính theo QCVN; 39,68 (95% CI: 5,77–72,40) ca khi tính theo ngưỡng IT 1 và 63,24 (95% CI: 9,28–114,37) ca khi tính theo ngưỡng IT 2 của WHO năm 2021. Mặt khác, số ca nhập viện trong tháng 02/2019 cũng cao hơn hẳn so với trong tháng 01/2019, với khoảng 1.201,53 (95% CI: 175,75–2.178,92) ca so với chỉ 22,54 (95% CI: 3,25–41,47) ca khi tính theo ngưỡng IT 2 của WHO.

Hình 6 bên dưới thể hiện tổng số ca nhập viện điều trị hàng ngày ở tất cả các nhóm tuổi, nhóm giới tính do bệnh về đường hô hấp bởi tất cả các nguyên nhân trong tháng 01/2019 và 02/2019 ở khu vực nghiên cứu.

Bảng 5. Kết quả ước tính giá trị hệ số β , $\beta_{\text{lowerbound}}$, và $\beta_{\text{upperbound}}$ của hàm C–R cho tính toán các loại thiệt hại sức khỏe (ngắn hạn).

Loại thiệt hại	Hệ số β	$\beta_{\text{lowerbound}}$	$\beta_{\text{upperbound}}$
HA do bệnh đường hô hấp tất cả nguyên nhân, tất cả nhóm tuổi	0.000698	0.000100	0.001292
HA do bệnh đường hô hấp tất cả nguyên nhân, trẻ em (0 – 5 tuổi)	0.000698	0.000100	0.001292
HA do bệnh đường hô hấp tất cả nguyên nhân, người già (≥ 65 tuổi)	0.002078	0.000499	0.003633
HA do bệnh tim mạch tất cả nguyên nhân, tất cả nhóm tuổi	–0.000192	–0.000403	0.000015
	0.000306	–0.000163	0.000773
HA do bệnh tim mạch tất cả nguyên nhân, người trưởng thành (15 – 64 tuổi)	–0.000133	–0.000463	0.000204
	0.000088	–0.000616	0.000773
HA do bệnh tim mạch tất cả nguyên nhân, người già (≥ 65 tuổi)	–0.000252	–0.000524	0.000029
	0.000492	–0.000133	0.001118

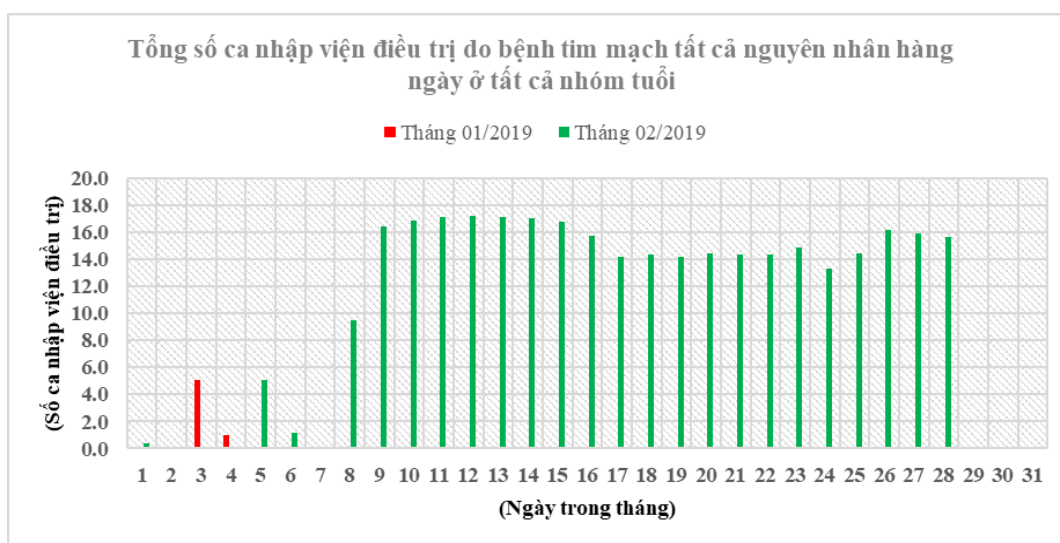


Hình 6. Diễn biến tổng số ca nhập viện điều trị nội hàng ngày do bệnh về đường hô hấp bởi tất cả các nguyên nhân trong tháng 01/2019 và 02/2019 ở tỉnh Đồng Nai (tính theo ngưỡng mục tiêu IT 2 của WHO năm 2021).

3.3.2. Trường hợp nhập viện điều trị do bệnh tim mạch

Tương tự như bệnh đường hô hấp, đối với trường hợp nhập viện điều trị nội trú do bệnh tim mạch bởi tất cả nguyên nhân, các kết quả tác động sức khỏe con người cũng được phân tích dựa trên mức độ tiếp xúc với ô nhiễm O_3 mặt đất ngắn hạn (từ mức giá trị nồng độ O_3 trung bình 8–h cực đại hàng ngày đã mô phỏng bằng mô hình WRF/CMAQ kết hợp) cho thấy từ tháng 01/2019 đến tháng 02/2019 có khoảng 93,50 (95% CI: –50,07–234,93) ca nhập viện khi áp dụng mức nồng độ sau khi được kiểm soát bởi QCVN 05:2013/BTNMT là $120 \mu g/m^3$. Mặt khác, cũng tương tự khi áp dụng mức nồng độ sau khi được kiểm soát bởi các ngưỡng mục tiêu IT 1 và IT 2 của hướng dẫn về chất lượng không khí toàn cầu của WHO năm 2021 lần lượt là 100 và $70 \mu g/m^3$ thì số ca nhập viện điều trị ước tính ở mức cao hơn hẳn, cụ thể lần lượt là 183,72 (95% CI: –98,82–459,63) ca và 332,88 (95% CI: –180,20–827,55) ca. Số ca nhập viện điều trị do các bệnh tim mạch bởi tất cả nguyên nhân cao nhất cũng xảy ra vào ngày 12/02/2019, lần lượt là 6,40 (95% CI: –3,43–16,05) ca khi tính theo QCVN; 10,75 (95% CI: –5,79–26,85) ca khi tính theo ngưỡng IT 1 và 17,23 (95% CI: –9,35–42,74) ca khi tính theo ngưỡng IT 2 của WHO năm 2021. Hơn nữa, số ca nhập viện do bệnh về tim mạch bởi tất cả nguyên nhân ở các nhóm tuổi trong tháng 02/2019 cũng cao hơn hẳn so với trong tháng 01/2019, với khoảng 326,80 (95% CI: –176,96–812,28) ca so với chỉ 6,07 (95% CI: –3,25–15,26) ca khi tính theo ngưỡng IT 2 của WHO.

Hình 7 bên dưới thể hiện tổng số ca nhập viện điều trị hàng ngày ở tất cả các nhóm tuổi, nhóm giới tính do bệnh về tim mạch bởi tất cả các nguyên nhân trong tháng 01/2019 và 02/2019 ở tỉnh Đồng Nai.



Hình 7. Diễn biến tổng số ca nhập viện điều trị nội hàng ngày do bệnh về tim mạch bởi tất cả các nguyên nhân trong tháng 01/2019 và 02/2019 ở tỉnh Đồng Nai (tính theo ngưỡng mục tiêu IT 2 của WHO năm 2021).

3.4. Thảo luận

Các dữ liệu đầu vào trong nghiên cứu này bao gồm dữ liệu về chất lượng không khí (nồng độ O_3 mặt đất), dân số phơi nhiễm (số dân của tỉnh Đồng Nai), các hàm C–R và các hệ số β tương ứng từ các nghiên cứu dịch tễ học. Mỗi loại dữ liệu đầu vào mô hình đều có những sai số, có thể ảnh hưởng đến kết quả tính toán cuối cùng ở những mức độ khác nhau. Kết quả ước tính quy mô dân số bị phơi nhiễm được lấy từ nguồn dữ liệu tin cậy của địa phương là Niên giám Thống kê tỉnh Đồng Nai 2020 và Niên giám Thống kê Y tế 2019–2020. Do đó, các kết quả về thiệt hại sức khỏe về cơ bản phụ thuộc vào lựa chọn các hàm C–R, hệ số β và thấy rằng các kết quả tính trong nghiên cứu có thể có sự chênh lệch. Bởi hiện tại ở Việt Nam, hầu như không có bất kỳ các nghiên cứu định lượng về mối quan hệ giữa ô nhiễm không khí và tính

trạng sức khỏe, đặc biệt là các nghiên cứu dịch tễ học về mối quan hệ giữa O_3 mặt đất và tác động sức khỏe đối với công dân ở các thành phố (phía Nam nói chung và tỉnh Đồng Nai nói riêng); nghiên cứu lựa chọn giải pháp là sử dụng các hệ số β và các hàm C–R từ các nghiên cứu gần đây ở các thành phố phía Bắc của Việt Nam. Đây chính là một trong những yếu tố chính có thể dẫn đến sai số của kết quả tính bởi các hệ số β và các hàm C–R có sự khác biệt rõ rệt về dữ liệu khu vực đánh giá (kết quả ước lượng hàm hồi quy); mặc dù trong quá trình tính toán, đánh giá vẫn xét đến giá trị trung bình và độ tin cậy 95% CI của các thiệt hại sức khỏe đã phản ánh phạm vi sai số.

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu về cơ bản đã tổng quan phù hợp cho khu vực nghiên cứu tại tỉnh Đồng Nai trong điều kiện về các nghiên cứu dịch tễ học đánh giá mối liên hệ C–R do tiếp xúc O_3 ngắn hạn vẫn còn có sự hạn chế nhất định. Kết quả lượng hóa tác động sức khỏe cộng đồng cho thấy trong tháng 01/2019 và 02/2019, ô nhiễm không khí mà cụ thể là O_3 mặt đất đã gây ra thiệt hại sức khỏe cho khu vực nghiên cứu ước tính với khoảng 347 ca nhập viện điều trị do bệnh đường hô hấp bởi tất cả nguyên nhân (theo ngưỡng QCVN) và lên tới 1.224 ca theo ngưỡng mục tiêu IT 2 của WHO năm 2021. Và theo ước tính mức thiệt hại sức khỏe gây ra từ số ca nhập viện điều trị do bệnh tim mạch bởi tất cả nguyên nhân là 183 ca khi tính theo ngưỡng QCVN và có thể lên đến khoảng 333 ca theo ngưỡng mục tiêu IT 2 của hướng dẫn từ WHO năm 2021. Tuy nhiên, trong phạm vi nghiên cứu vẫn chưa xem xét, tính toán đến những thiệt hại sức khỏe con người liên quan đến số ca tử vong sớm do vấn đề hạn chế về mặt dữ liệu nghiên cứu dịch tễ học. Nghiên cứu đã được thực hiện và hoàn thành với các mục tiêu đặt ra; kết quả đạt được sẽ là cơ sở để phát triển tiếp theo hơn nữa việc lượng hóa chi tiết mức thiệt hại quy đổi thành các định mức giá trị kinh tế (tiền tệ). Từ đó, góp phần xây dựng, phát triển nguồn dữ liệu phục vụ công tác quản lý môi trường không khí hiệu quả cho tỉnh Đồng Nai.

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, viết bản thảo: L.K.U.; Xử lý GIS, viết bản thảo: L.K.U., 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. Liang, S. et al. Estimation of health and economic benefits based on ozone exposure level with high spatial–temporal resolution by fusing satellite and station observations. *Environ. Pollut.* **2019**, 255, 113267.
2. Liu, T. et al. The short-term effect of ambient ozone on mortality is modified by temperature in Guangzhou, China. *Atmos. Environ.* **2013**, 76, 59–67.
3. Liu, H. et al. Ground-level ozone pollution and its health impacts in China. *Atmos. Environ.* **2018**, 173, 223–230.
4. Zhang, Y. et al. Tropospheric ozone change from 1980 to 2010 dominated by equatorward redistribution of emissions. *Nat. Geosci.* **2016**, 9(12), 875–879.
5. Qin, L. et al. Seasonal association between ambient ozone and mortality in Zhengzhou, China. *Int. J. Biometeorol.* **2017**, 61(6), 1003–1010.
6. Karthik, L.B.; Sujith, B.; Rizwan, A.S.; Sehgal, M. Characteristics of the Ozone Pollution and its Health Effects in India. *Int. J. Med. Public Heal.* **2017**, 7(1), 56–60.

7. Le, D.N. et al. Air pollution and risk of respiratory and cardiovascular hospitalizations in a large city of the Mekong Delta Region. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2022**.
8. WHO. Burden of disease from Ambient Air Pollution for 2012, 1211 Geneva 27, Switzerland, 2014.
9. WHO. Burden of disease attributable to outdoor air pollution, 1211 Geneva 27, Switzerland, 2011.
10. Fowler, D. et al. Ground-level ozone in the 21st century: future trends, impacts and policy implications, October, 2008.
11. NERC. Global Challenge Network on Tropospheric Ozone Ozone modelling, 2008.
12. Soares, A.R.; Silva, C. Review of Ground-Level Ozone Impact in Respiratory Health Deterioration for the Past Two Decades. *Atmosphere* **2022**, 13(3), 434.
13. Chi, D.T.L.; Toan, V.D.; Linh, Q.H.; Van Chien, V.; Huyen, V.T. Risk assessment for PM10 and PM2.5 in Hanoi, Vietnam: An ecological study. *Pollut. Res.* **2020**, 39(4), 971–979.
14. 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, 1604331.
15. Luong, L.M.T.; Phung, D.; Dang, T.N.; Sly, P.D.; Morawska, L.; Thai, P.K. Seasonal association between ambient ozone and hospital admission for respiratory diseases in Hanoi, Vietnam. *PLoS One* **2018**, 13(9), 1–15.
16. Feng, Z. et al. Economic losses due to ozone impacts on human health, forest productivity and crop yield across China. *Environ. Int.* **2019**, 131, 104966.
17. WHO. WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide, 2006, 51, 6.
18. Ellingsen, K. et al. Global ozone and air quality: a multi-model assessment of risks to human health and crops. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.* **2008**, 8, 2163–2223.
19. Long, B.T.; Phong, N.H.; Duyen, C.M.N. Model for assessing health damage from air pollution in quarrying area – Case study at Tan Uyen quarry, Ho Chi Minh megapolis, Vietnam. *Heliyon* **2020**, 6, e05045.
20. 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.
21. 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.
22. Dong Nai Statistics Office. Dong Nai Statistical Yearbook 2018, Dong Nai Province, 2019.
23. Department of Statistics Ho Chi Minh City. Part II: Actual situation of economic growth of Key Economic Region of South Vietnam in the period of 2010 – 2018, Ho Chi Minh City, 2019.
24. Dong Nai Statistics Office. Dong Nai Statistical Yearbook 2020, Bien Hoa City, 2021.
25. People's Committee of Dong Nai Province. Dong Nai Province – Vietnam Investment Potential, Bien Hoa City, 2015.
26. Center for Technique of Natural Resources and Environment. Automatic air quality monitoring results in 2019. Dong Nai Department of Natural Resources and Environment, 2020. <https://tkttnmt.dongnai.gov.vn/> (Accessed Sep. 06, 2022).
27. Byun, D.; Schere, K.L. Review of the governing equations, computational algorithms, and other components of the models–3 Community Multiscale Air Quality (CMAQ) modeling system. *Appl. Mech. Rev.* **2006**, 59(1–6), 51–76.

28. Viện vật lý địa cầu. Hệ thống mô hình nghiên cứu và dự báo thời tiết WRF. Trung tâm ứng dụng vật lý địa cầu (AGPC).
29. Hạnh, N.T. Dự báo mưa hạn mưa bằng mô hình WRF: độ nhạy cảm của tham số hóa đối lưu. Đại học Quốc gia Hà Nội – Trường Đại học Khoa học tự nhiên, 2016.
30. NCAR. WRF 3.9 User's Guide, 443, 2017.
31. Skamarock, W.C. et al. A Description of the Advanced Research WRF Version 3. *Tech. Rep.* **2008**, pp. 113.
32. NCEP. CISM RDA: NCEP FNL Operational Model Global Tropospheric Analyses, continuing from July 1999. National Centers for Environmental Prediction/National Weather Service/NOAA/U.S. Department of Commerce, 2000.
33. Wang, X. et al. Modelling air quality during the EXPLORE–YRD campaign – Part I. Model performance evaluation and impacts of meteorological inputs and grid resolutions. *Atmos. Environ.* **2021**, 246, 118131.
34. Borge, R. et al. Emission inventories and modeling requirements for the development of air quality plans. Application to Madrid (Spain). *Sci. Total Environ.* **2014**, 466–467, 809–819.
35. Hu, J. et al. Source contributions and regional transport of primary particulate matter in China. *Environ. Pollut.* **2015**, 207, 31–42.
36. Lang, J. et al. Investigating the contribution of shipping emissions to atmospheric PM_{2.5} using a combined source apportionment approach. *Environ. Pollut.* **2017**, 229, 557–566.
37. Li, J. et al. Evaluation of the WRF–CMAQ Model Performances on Air Quality in China with the Impacts of the Observation Nudging on Meteorology. *Aerosol Air Qual. Res.* **2022**, 22(4), 220023.
38. Yarwood, G.; Jung, J.; Whitten, G.Z.; Heo, G.; Mellberg, J.; Estes, M. Updates to the Carbon Bond Mechanism for Version 6 (CB6). Proceeding of the 9th Annu. C. Conf. Chapel Hill, NC, Oct. 11–13, 2010, 6(415), 1–4.
39. 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.
40. 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.
41. Emery, C.; Liu, Z.; Russell, A.G.; Odman, M.T.; Yarwood, G.; Kumar, N. Recommendations on statistics and benchmarks to assess photochemical model performance. *J. Air Waste Manage. Assoc.* **2017**, 67(5), 582–598.
42. 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.
43. Eder, B.; Yu, S. A performance evaluation of the 2004 release of Models–3 CMAQ. *Atmos. Environ.* **2006**, 40(26), 4811–4824.
44. Sacks, J.D. et al. The Environmental Benefits Mapping and Analysis Program – Community Edition (BenMAP–CE): A tool to estimate the health and economic benefits of reducing air pollution. *Environ. Model. Softw.* **2018**, 104(2), 118–129.
45. 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.
46. 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.
47. Linh Nguyen, T.N.; Pimonsree, S.; Prueksakorn, K.; Bich Thao, P.T.; Vongruang, P. Public health and economic impact assessment of PM_{2.5} from open biomass

burning over countries in mainland Southeast Asia during the smog episode. *Atmos. Pollut. Res.* **2022**, 13(6), 101418.

48. Chen, L. et al. Assessment of population exposure to PM_{2.5} for mortality in China and its public health benefit based on BenMAP. *Environ. Pollut.* **2017**, 221, 311–317.
49. Luo, G.; Zhang, L.; Hu, X.; Qiu, R. Quantifying public health benefits of PM_{2.5} reduction and spatial distribution analysis in China. *Sci. Total Environ.* **2020**, 719, 137445.
50. 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.

Risk assessment of hospital admission due to all–cause respiratory and cardiovascular diseases attributed to ground–level O₃ short–term exposure in Dong Nai Province

Uyen Le Khanh^{1,2}, Phong Hoang Nguyen^{1,2}, Long Ta Bui^{1,2*}

¹ Laboratory for Environmental Modelling, Faculty of Environment and Natural Resources, Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT), 268 Ly Thuong Kiet Street, District 10, Ho Chi Minh City, Viet Nam; uyen.le02@hcmut.edu.vn; nhphong@dcselab.edu.vn; longbt62@hcmut.edu.vn

² Vietnam National University Ho Chi Minh City (VNU–HCM), Linh Trung Ward, Thu Duc District, Ho Chi Minh City, Viet Nam; uyen.le02@hcmut.edu.vn; nhphong@dcselab.edu.vn; longbt62@hcmut.edu.vn

Abstract: Dong Nai has always been strong socio–economic growth, population growth, and rapid urbanization make the air quality of the area significantly affected and one of the objects of concern is ozone pollution (ground–level O₃). The pressure created for the local government of Dong Nai province, in proposing and developing solutions to help reduce and control the sources of precursor emissions that contribute to the formation of the surface O₃. This study applied a combination of WRF (Weather Research and Forecasting)/CMAQ (Community Multilevel Air Quality Modeling System) models to simulate the current characteristics of surface O₃ pollution allocation spatially and temporally in January 2019 and February 2019, and a preliminary analysis of the public human health impact of inpatient hospitalization for all–cause respiratory and cardiovascular diseases at all ages and genders. The highlight outcomes have quantified the total number of inpatient hospitalizations due to short–term exposure to O₃ pollution up to 440.39 (95% CI: –0.03–872.72) cases calculated according to the 8–hour average threshold of QCVN 05:2013/BTNMT and 1,556.94 (95% CI: –1.20–3,047.94) cases calculated according to the Interim target threshold 2 of WHO guidance in 2021. This is one of the initial, reliable results, and could support further studies in accessing detailed quantitative economic losses from exposure to short–term ground–level O₃ pollution.

Keywords: Ground–level O₃ pollution; Spatio–temporal distribution; Human health effects; Hospital admission; WRF/CMAQ.