

ƯỚC TÍNH PHÁT THẢI CÁC CHẤT Ô NHIỄM KHÔNG KHÍ VÀ TÁC NHÂN GÂY BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU TỪ HOẠT ĐỘNG ĐUN NẤU DÂN SINH TẠI HÀ NỘI

PHẠM THÙY LINH^{1,2}, LÝ BÍCH THỦY¹, VĂN DIỆU ANH¹, TRẦN PHƯƠNG HÀ^{1,*}

¹ Trường Hóa và Khoa học Sự sống, Đại học Bách khoa Hà Nội

² Viện Nghiên cứu và Ứng dụng Trí tuệ Nhân tạo, Đại học Bách khoa Hà Nội

Tóm tắt

Trong bối cảnh ô nhiễm không khí đô thị và biến đổi khí hậu ngày càng gia tăng, hoạt động đun nấu dân sinh, đặc biệt tại các nước đang phát triển được xác định là một trong những nguồn phát thải đáng kể nhưng đôi khi chưa được nghiên cứu đầy đủ trong các đánh giá và kiểm kê phát thải. Nghiên cứu tập trung phân tích cơ cấu và mức độ tiêu dùng nhiên liệu trong hoạt động đun nấu dân sinh tại Hà Nội năm 2024 thông qua khảo sát 336 hộ gia đình ở cả khu vực thành thị và nông thôn. Phương pháp kiểm kê dựa vào các hệ số phát thải phù hợp với điều kiện Việt Nam được áp dụng nhằm ước tính lượng phát thải các chất ô nhiễm không khí và khí nhà kính (KNK). Kết quả cho thấy khí dầu mỏ hóa lỏng (LPG) là loại nhiên liệu chính được sử dụng trong đun nấu. Tuy nhiên, các loại nhiên liệu truyền thống như củi, phụ phẩm nông nghiệp và than vẫn được sử dụng, đặc biệt ở khu vực nông thôn. Điều này dẫn đến sự phát sinh một lượng lớn các chất ô nhiễm không khí và KNK bao gồm 679 tấn PM_{2.5}, 685 tấn SO₂, 10.690 tấn CO, 710 tấn NO_x (tính theo NO₂), 704.719 tấn CO₂ và 130 kg Benzo[a]pyrene (BaP) - một hợp chất gây ung thư mạnh. Phân tích mức phát thải theo loại nhiên liệu cho thấy phụ phẩm nông nghiệp và than tổ ong đóng góp lớn nhất vào phát thải bụi mịn và BaP. Phân bố mức phát thải theo thời gian cho thấy đỉnh phát thải vào ba khung giờ đun nấu chính trong ngày, đặc biệt là vào buổi tối. Các kết quả thu được từ nghiên cứu không những bổ sung cho cơ sở dữ liệu hiện có về kiểm kê ô nhiễm không khí tại Hà Nội, mà còn làm rõ mức độ đóng góp của các loại nhiên liệu trong phát thải các chất ô nhiễm và nhấn mạnh tầm quan trọng của việc đẩy mạnh chuyển đổi sang năng lượng sạch và sử dụng các thiết bị đun nấu hiệu suất cao, đặc biệt tại khu vực nông thôn.

Từ khóa: Kiểm kê phát thải, đun nấu dân sinh, Hà Nội, ô nhiễm không khí, KNK.

Ngày nhận bài: 2/4/2025; Ngày sửa chữa: 5/5/2025; Ngày duyệt đăng: 26/5/2025.

Inventory of air pollutant and green house gas emissions from residential cooking in Hanoi

Abstract

In the context of increasing urban air pollution and climate change, residential cooking - particularly in developing countries - has been identified as a significant source of emissions, yet it has not received adequate attention in air pollution assessments and emission inventories. This study, therefore, aims to investigate the structure and level of fuel consumption for residential cooking in Hanoi in 2024, based on a survey of 336 households in both urban and rural areas. An emission inventory method, applying locally appropriate emission factors for Vietnam, was then employed to estimate the emissions of air pollutants and greenhouse gases. The results indicate that liquefied petroleum gas (LPG) is the most used cooking fuel. However, traditional fuels such as firewood, agricultural residues, and coal are still in use, particularly in rural areas. This results in the emission of a significant amount of air pollutants and greenhouse gases including 679 tonnes of PM_{2.5}, 685 tonnes of SO₂, 10,690 tonnes of CO, 710 tonnes NO_x (as NO₂), 704,719 tonnes of CO₂, and 130 kg of Benzo[a]pyrene (BaP) - a potentially carcinogenic compound. Fuel-based analysis reveals that agricultural residues and honeycomb coal briquette are the main contributors to fine particulate matter and BaP emissions, respectively. Temporal distribution of emissions reveals the peaks during the three main cooking hours of the day, with the highest occurring in the evening. The findings of the study not only enhance the air pollution inventory database for Hanoi but also elucidate the contributions of different fuel types to pollutant emissions. Moreover, the study highlights the critical importance of promoting the transition to clean energy and adopting high-efficiency cooking technologies, particularly in rural areas.

Keywords: Emission inventory, residential cooking, Hanoi, air pollution, green house gases.

JEL Classifications: O13, O44, P18.



1. GIỚI THIỆU

TP. Hà Nội đang đối mặt với tình trạng ô nhiễm không khí nghiêm trọng, thuộc nhóm cao nhất tại Việt Nam và khu vực Đông Nam Á, gây ảnh hưởng tới sức khỏe cộng đồng (Huy và cộng sự (cs), 2021). Bên cạnh các nguồn bên ngoài, hoạt động đun nấu dân sinh cũng đóng góp vào phát thải các chất ô nhiễm như $PM_{2.5}$, PM_{10} , SO_2 , CO , NO_x và các KNK (Lacey và cs, 2017). Hoạt động này còn là một trong những nguồn chính gây ô nhiễm không khí trong nhà.

Ô nhiễm không khí trong nhà (chủ yếu do đốt nhiên liệu rắn) đã góp phần gây ra 4% tổng số ca tử vong sớm trên phạm vi toàn cầu vào năm 2019 (Health Effects Institute, 2020). Mức độ phơi nhiễm bụi mịn $PM_{2.5}$ và các bon đen trong khu vực nhà bếp phụ thuộc chặt chẽ vào loại nhiên liệu, thói quen đun nấu của hộ gia đình và được ghi nhận đã vượt ngưỡng khuyến cáo của Tổ chức Y tế Thế giới trong nhiều trường hợp (Shupler và cs 2020).

Kiểm kê phát thải là công cụ quan trọng trong quản lý chất lượng không khí, giúp nhận diện nguồn và xác định tải lượng các chất ô nhiễm. Tuy nhiên, đến nay mới có một số ít nghiên cứu được thực hiện nhằm kiểm kê phát thải từ hoạt động đốt nhiên liệu trong đun nấu dân sinh tại Hà Nội (Bằng và cs, 2022; Hung và cs, 2022; Huy và cs, 2021). Do đó, dữ liệu cập nhật, đặc thù về loại nhiên liệu và cơ cấu sử dụng trong đun nấu dân sinh hiện còn thiếu hoặc đã cũ. Các nghiên cứu gần nhất liên quan đến kiểm kê phát thải từ hoạt động dân sinh tại Hà Nội được thực hiện vào năm 2019 và 2017 (Bằng và cs, 2022; Hung và cs, 2022). Trong bối cảnh việc sử dụng nhiên liệu cho các hoạt động dân sinh đang thay đổi nhanh chóng, việc cập nhật kiểm kê phát thải dựa trên khảo sát thực tế là cần thiết. Nghiên cứu này được thực hiện với mục tiêu kiểm kê phát thải các chất ô nhiễm và KNK từ hoạt động đốt nhiên liệu phục vụ cho đun nấu dân sinh, dựa trên dữ liệu khảo sát thực tế về thói quen đun nấu, cơ cấu và mức độ sử dụng các loại nhiên liệu trong đun nấu dân sinh. Kết quả kiểm kê vì vậy mang tính đặc thù địa phương với độ tin cậy cao, phản ánh mức độ phát thải và sự phân bố phát thải theo thời gian (giờ, ngày). Đây là dữ liệu đầu vào quan trọng cho các mô hình dự báo chất lượng không khí địa phương, góp phần hỗ trợ hoạch định chính sách kiểm soát ô nhiễm.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Tiếp cận kiểm kê và ước tính tải lượng

Phương pháp tiếp cận từ dưới lên (bottom-up) được sử dụng để ước tính lượng phát thải từ hoạt động đốt nhiên liệu trong đun nấu dân sinh, dựa trên dữ liệu hoạt động (loại nhiên liệu, mức tiêu thụ) thu thập từ

khảo sát tại các hộ gia đình. Tải lượng phát thải các chất ô nhiễm từ đốt nhiên liệu trong dân sinh được ước tính theo khung kiểm kê phát thải (EI) từ Atmospheric Brown Cloud Emission Inventory Manual – ABC EIM (Shrestha và cs, 2013). Lượng phát thải được tính toán theo phương trình sau:

$$E_i = \sum_j (FPC_j \times P \times EF_{ij})$$

Trong đó:

E_i : Lượng phát thải chất ô nhiễm i (kg/năm).

FPC_j : Định mức tiêu thụ nhiên liệu đầu người của loại nhiên liệu j (kg/người/ năm). Dữ liệu hoạt động được ước tính từ dữ liệu khảo sát về hiện trạng sử dụng nhiên liệu cho đun nấu dân sinh và cách thức xây dựng dữ liệu được trình bày chi tiết tại mục 2.2.

P : Quy mô dân số (nghìn người).

EF_{ij} : Hệ số phát thải của chất ô nhiễm i với nhiên liệu j (g/kg). Cách lựa chọn hệ số phát thải và bộ hệ số được sử dụng trong tính toán được trình bày chi tiết tại mục 2.3.

Theo số liệu từ Niên giám Thống kê, dân số Hà Nội năm 2024 khoảng 8.718 nghìn người, trong đó dân số khu vực thành thị là 4.281 nghìn người và khu vực nông thôn là 4.437 nghìn người (Cục Thống kê TP. Hà Nội, 2024).

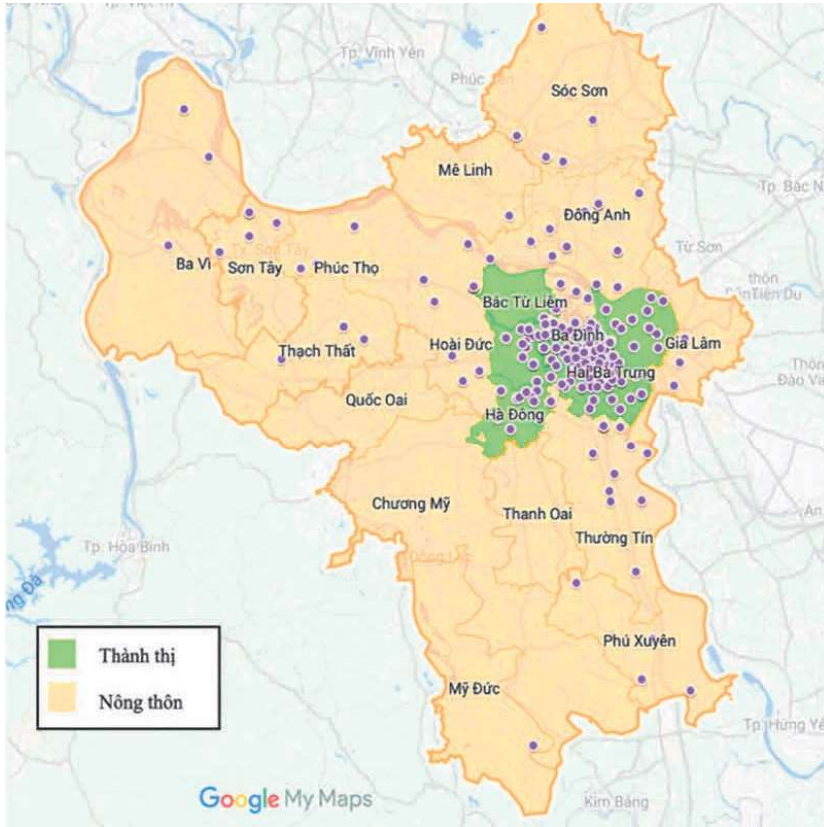
2.2. Xây dựng dữ liệu hoạt động

Dữ liệu về tiêu thụ nhiên liệu trong hoạt động đun nấu dân sinh được thu thập bằng cách kết hợp khảo sát trực tiếp và khảo sát trực tuyến. Bộ bảng hỏi có cấu trúc được thiết kế nhằm thu thập thông tin chi tiết về hành vi và đặc điểm sử dụng nhiên liệu trong đun nấu, tập trung vào các nội dung chính gồm: Điều kiện kinh tế-xã hội của hộ gia đình, quy mô hộ (số lượng thành viên), loại nhiên liệu sử dụng, mục đích đun nấu, lượng nhiên liệu tiêu thụ và khoảng thời gian nấu nướng trong ngày. Dữ liệu sau khi thu thập được tổng hợp và xử lý để xác định mức tiêu thụ nhiên liệu theo đầu người, đại diện cho khu vực Hà Nội.

Quy trình chọn mẫu khảo sát được thực hiện theo phương pháp phân tầng, chia theo hai nhóm: Khu vực thành thị và khu vực nông thôn. Trong mỗi nhóm, các đối tượng khảo sát được chọn ngẫu nhiên nhằm đảm bảo tính đại diện. Hoạt động khảo sát được thực hiện với 253 hộ dân ở thành thị, 83 hộ ở nông thôn (Hình 1) trong khoảng thời gian từ tháng 5 đến tháng 12 năm 2024.

2.3. Lựa chọn hệ số phát thải

Các hệ số phát thải (Mulazzani et al.) đối với một số chất ô nhiễm không khí được ưu tiên lựa chọn từ các nghiên cứu tại Việt Nam và khu vực. EF của các chất ô nhiễm không khí được tham khảo từ các nghiên cứu trong nước của tác giả Nghiên Trung Dũng và cs (2015), lựa chọn từ các nghiên cứu cho



Hình 1. Bản đồ phân bố các mẫu khảo sát

khu vực của tác giả Lai Nguyen Huy và cs (2022) và EPA AP-42 (2000). Hệ số phát thải của các KNK được lựa chọn từ các nghiên cứu trong nước của tác giả Nghiêm Trung Dũng, của tác giả Lai Nguyen Huy cũng như từ Quyết định số 2626/QĐ-BTNMT của Bộ TN&MT (nay là Bộ Nông nghiệp và Môi trường) ngày 10/10/2022 công bố danh mục hệ số phát thải phục vụ kiểm kê KNK.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO THUẬN

3.1. Cơ cấu sử dụng nhiên liệu trong hoạt động đun nấu dân sinh tại Hà Nội

Dựa trên số liệu thống kê từ 336 phiếu khảo sát, thu thập từ 283 hộ gia đình tại khu vực thành thị và 83 hộ gia đình tại khu vực nông thôn của Hà Nội, về hiện trạng tiêu thụ năng lượng và nhiên liệu cho hoạt động đun nấu tại các hộ gia

Bảng 1. Hệ số phát thải (Mulazzani et al.) tiêu biểu cho một số chất ô nhiễm không khí và KNK từ hoạt động đốt nhiên liệu tại chỗ

Chất ô nhiễm	Hệ số phát thải của các loại nhiên liệu (g/kg nhiên liệu)				
	LPG	Củi	Than tổ ong	Than khác	Phụ phẩm nông nghiệp
Chất ô nhiễm không khí					
PM _{2,5}	0,24 ^c	3,4 ^c	0,44 ^c	0,62 ^c	4,89 ^c
SO ₂	0,38 ^c	1,31 ^a	8,5 ^c	8,5 ^c	0,25 ^c
NO _x	3,26 ^c	0,12 ^c	1,84 ^c	1,84 ^c	0,17 ^c
CO	1,5 ^a	48 ^a	47 ^c	47 ^c	57 ^c
NM VOC	2,7 ^c	7,9 ^c	13,1 ^c	13,1 ^c	0,18 ^c
PAHs (mg/kg)	0,7 ^c	47,2 ^c	102 ^c	102 ^c	40,1 ^c
BaP (mg/kg)	0,01 ^c	0,42 ^c	1,6 ^c	1,6 ^c	0,08 ^c
KNK					
CO ₂	2.421 ^a	1.564 ^c	1.688 ^a	1.688 ^a	1.101 ^c
CH ₄	0,28 ^c	5,03 ^c	4,4 ^c	5,14 ^d	0,87 ^c
N ₂ O	0,09 ^b	0,18 ^c	0,2 ^c	0,2 ^c	4,32 ^c

^a Nghiêm Trung Dũng và cs, 2015.

^b EPA AP-42, 1995.

^c Huy và cs, 2021.

^d Chuyển đổi từ hệ số (kg/kJ) công bố bởi Bộ TN&MT, 2022 dựa vào nhiệt trị (TJ/tấn) của nhiên liệu: Than khác = 0,0257 (IPCC, 2006).



Bảng 2. Tỷ lệ (%) các hộ gia đình sử dụng các loại nhiên liệu trong hoạt động đun nấu dân sinh

Nhiên liệu/ Năng lượng	Tỷ lệ hộ sử dụng nhiên liệu/ năng lượng (%)	
	Thành thị (n=253)	Nông thôn (n=83)
Điện	79,1	79,3
LPG	66,8	79,5
Củi	3,2	9,6
Than tổ ong	4,0	20,5
Than khác	5,0	2,4
Phụ phẩm nông nghiệp	2,0	14,5

đình, cơ cấu sử dụng nhiên liệu và năng lượng trong đun nấu dân sinh được tóm tắt trong Bảng 2.

Kết quả từ Bảng 2 cho thấy, phần lớn hộ gia đình ở cả khu vực thành thị và nông thôn đều sử dụng điện và LPG làm nguồn năng lượng chính cho hoạt động đun nấu hàng ngày. Điện là nguồn năng lượng phổ biến nhất với tỷ lệ hộ sử dụng cao và tương đối đồng đều giữa hai khu vực (79,1% ở thành thị và 79,3% ở nông thôn). Trong khi đó, trong số các nhiên liệu được sử dụng cho đun nấu, LPG là nhiên liệu phổ biến nhất được sử dụng bởi 66,8% hộ gia đình ở khu vực thành thị và 79,5% hộ gia đình ở nông thôn. Kết quả này phù hợp với Báo cáo của Nguyen Thanh Hung và cs (2022) về xu hướng sử dụng phổ biến của LPG trong khu vực đô thị và ngoại thành. Sự phổ biến của LPG tại khu vực nông thôn phản ánh sự chuyển biến tích cực trong hành vi tiêu dùng năng lượng hướng đến các nguồn nhiên liệu sạch hơn. Dù điện và LPG chiếm ưu thế, việc sử dụng kết hợp nhiều loại nhiên liệu trong đun nấu vẫn còn phổ biến, đặc biệt ở nông thôn. Tại đây chỉ 36,2% số hộ sử dụng duy nhất một loại nhiên liệu/năng lượng (trong đó 16,9% chỉ dùng điện, 16,9% chỉ dùng LPG, 1,2% chỉ sử dụng củi và 1,2% chỉ sử dụng phụ phẩm nông nghiệp) thấp hơn đáng kể so với 53,4% ở thành thị (36,8% chỉ dùng điện, 16,2% chỉ dùng LPG và 0,4% chỉ dùng than tổ ong). Các loại nhiên liệu truyền thống như than, củi và phụ phẩm nông nghiệp vẫn được sử dụng, chủ yếu với vai trò nhiên liệu bổ sung ở cả thành thị và nông thôn. Than tổ ong là loại nhiên liệu gây ô nhiễm cao và chính quyền địa phương đã nỗ lực tuyên truyền hạn chế sử dụng than tổ ong trong đun nấu, tuy nhiên vẫn còn hiện diện một tỷ lệ nhỏ các hộ gia đình ở cả hai khu vực sử dụng loại nhiên liệu này.

Kết quả phân tích cơ cấu sử dụng năng lượng và nhiên liệu trong đun nấu ở Hà Nội cho thấy, khu vực thành thị đang tiến gần hơn tới mô hình sử dụng năng lượng hiện đại và sạch, với tỷ lệ cao hộ gia đình chỉ dùng điện hoặc LPG. Trong khi đó ở

nông thôn dù mức độ tiếp cận điện và LPG khá tốt, việc kết hợp đồng thời nhiều loại nhiên liệu, bao gồm cả nhiên liệu sinh khối vẫn diễn ra phổ biến cho thấy cần thiết tăng cường việc chuyển đổi sang năng lượng sạch. Tình trạng dùng nhiều loại nhiên liệu cùng lúc phổ biến ở cả hai khu vực là một thách thức đối với công tác kiểm soát phát thải chất ô nhiễm không khí, đặc biệt là khi việc đốt các nhiên liệu truyền thống thường có hiệu quả thấp và mức độ phát thải cao. Đồng thời, việc xây dựng các giải pháp quản lý cũng như chương trình hỗ trợ phù hợp cần dựa trên hiểu biết chi tiết về mức tiêu thụ năng lượng và nhiên liệu đặc thù từng vùng, từng nhóm hộ.

3.2. Mức tiêu thụ nhiên liệu trong hoạt động đun nấu dân sinh tại Hà Nội

3.2.1. Tổng mức tiêu thụ nhiên liệu

Kết quả khảo sát năm 2024 cho thấy, mức tiêu thụ LPG trung bình đạt 71 kg/hộ/năm tại khu vực thành thị và 105 kg/hộ/năm tại nông thôn. Trong khi đó, mức tiêu thụ củi và than khác tương ứng là 1 kg/hộ/năm và 14 kg/hộ/năm ở thành thị; 53 kg/hộ/năm và 12 kg/hộ/năm ở nông thôn. Các loại than tổ ong và phụ phẩm nông nghiệp có mức tiêu thụ thấp hơn nhưng vẫn chiếm tỷ lệ không nhỏ, đặc biệt ở khu vực nông thôn với mức tiêu thụ lần lượt là 33 kg/hộ/năm và 76 kg/hộ/năm.

Tổng mức tiêu thụ năng lượng quy đổi từ các nhiên liệu đốt tại thành thị đạt khoảng 3.913 MJ/hộ/năm, trong khi nông thôn lên tới 8.016 MJ/hộ/năm, cao hơn gấp đôi so với thành thị. Tuy nhiên, cần làm rõ rằng các giá trị này chỉ bao gồm tổng mức năng lượng từ các loại nhiên liệu đốt như LPG, củi, than tổ ong, than củi và phụ phẩm nông nghiệp, không bao gồm năng lượng từ điện. Đây là một giới hạn quan trọng cần lưu ý khi diễn giải và so sánh mức tiêu thụ năng lượng tổng giữa các khu vực.

So sánh với nghiên cứu trước tại Hà Nội (Huy và cs, 2021), có thể thấy mức tiêu thụ năng lượng năm 2024 thấp hơn ở các thời điểm khảo sát trước đó. Một xu hướng hợp lý để giải thích sự sụt giảm tiêu thụ nhiên liệu đốt là sự gia tăng của việc sử dụng điện cho mục đích nấu nướng. Nghiên cứu của Duc Hong Vo (2025) đã chỉ ra rằng các hộ

Bảng 3. Mức tiêu thụ nhiên liệu (kg/hộ/năm) và tổng mức tiêu thụ năng lượng

Vị trí LPG		Mức tiêu thụ nhiên liệu (kg/hộ/năm)					Tổng mức tiêu thụ năng lượng (MJ/hộ/năm)	
		Củi	Than tổ ong	Than khác	Phụ phẩm nông nghiệp	Khác		
Hà Nội, 2024 (Nghiên cứu này)	Thành thị	71	1	9	14	4	3.913 [*]	
	Nông thôn	105	53	33	12	76	8.016 [*]	
Hà Nội, 2012 (Huy và cs, 2021)	Nội thành	75	-	80	-	-	6.022 ^{**}	
	Ngoại thành	53	106	92	-	-	7.215 ^{**}	
	Nông thôn	50	346	6	-	15	7.969 ^{**}	
Kenya (Sophy, 2024)	Nông thôn	2.220	25.390	-	8.260	-	3.420	40.290
Nepal, 2018 (Sadavarte và cs, 2019)	Thành thị	-	-	-	-	-	-	54.266

(MJ/hộ/năm) trong đun nấu dân sinh tại Hà Nội

(-) Không có số liệu

(*) Quy đổi từ mức tiêu thụ nhiên liệu (kg/hộ/ngày) dựa vào nhiệt trị (TJ/tấn) của các loại nhiên liệu, cụ thể: LPG = 0,0456; Củi = 0,0176; Than tổ ong = 0,0266; Than khác = 0,0257; Phụ phẩm nông nghiệp = 0,0167 (IPCC, 2006).

(**) Quy đổi từ mức tiêu thụ nhiên liệu (kg/hộ/năm) theo nhiệt trị và quy mô hộ trong cùng nghiên cứu.

Bảng 4. Mức tiêu thụ năng lượng bình quân đầu người từ đốt nhiên liệu trong hoạt động đun nấu dân sinh tại Hà Nội

Khu vực	Loại nhiên liệu	Mức tiêu thụ năng lượng bình quân đầu người từ đốt nhiên liệu (MJ/người/ngày)			
		Hà Nội, 2024 (nghiên cứu này)	Hà Nội, 2012* (Huy và cs, 2021)	Ấn Độ, 2019 (Garg và cs, 2019)	Nepal, 2018 (Rupakheti và cs, 2019)
Thành thị	LPG	2,16	2,10	6-7	-
	Củi	0,02	-	-	-
	Than tổ ong	0,16	1,30	-	-
	Than khác	0,20	0,09	-	-
	Phụ phẩm nông nghiệp (rơm, trấu)	0,02	-	-	-
Tổng		2,55	3,49	6-7	-
Nông thôn	LPG	2,86	1,53	-	0,58
	Củi	0,45	2,57	30-40	12,92
	Than tổ ong	0,55	0,86	-	1,21
	Than khác	0,14	0,11	-	
	Phụ phẩm nông nghiệp (rơm, trấu)	0,38	4,27	-	1,66
Tổng		4,38	9,34	30-40	16,37

(-): Không có số liệu; (*) Số liệu nông thôn được tính gộp từ số liệu ngoại thành và nông thôn.



gia đình có thu nhập cao hơn và chủ hộ có trình độ học vấn cao hơn thường sử dụng nhiều thiết bị điện hiện đại phục vụ nấu nướng như bếp từ, nồi cơm điện, lò vi sóng và nồi áp suất điện.

Xu hướng gia tăng sử dụng thiết bị điện song hành với quá trình phát triển các loại thiết bị đun nấu có hiệu quả năng lượng cao đã góp phần làm giảm mức tiêu thụ năng lượng từ nhiên liệu đốt trong sinh hoạt. Bên cạnh đó, những thay đổi trong thói quen sinh hoạt của người dân, đặc biệt tại khu vực thành thị như xu hướng gia tăng ăn hàng hoặc đặt đồ ăn thay vì tự nấu tại nhà có thể cũng là nguyên nhân góp phần vào xu hướng giảm mức tiêu thụ nhiên liệu phục vụ đun nấu dân sinh tại Hà Nội.

Khi so sánh với các nghiên cứu quốc tế, mức tiêu thụ tại Hà Nội nhìn chung thấp hơn đáng kể, đặc biệt là so với nông thôn Nepal (Sadavarte và cs, 2019) – nơi ghi nhận mức tiêu thụ lên tới 54.266 MJ/hộ/năm, cao gấp khoảng 7-14 lần so với mức tiêu thụ của cả thành thị và nông thôn Hà Nội. Đây là quốc gia mà tỷ lệ hộ sử dụng nhiên liệu sinh khối như củi, phụ phẩm nông nghiệp (rơm rạ) và bếp truyền thống vẫn rất cao. Tương tự như vậy, mức tiêu thụ tại khu vực nông thôn Kenya (Sophy, 2024) cao gấp 5 lần so với khu vực nông thôn Hà Nội.

3.2.2. Mức tiêu thụ nhiên liệu bình quân đầu người

Dựa vào kết quả khảo sát về mức độ sử dụng các loại nhiên liệu trong đun nấu tại các hộ gia đình tại khu vực thành thị và nông thôn của Hà Nội, mức tiêu thụ nhiên liệu bình quân đầu người tại cả hai khu vực được tính toán và trình bày tại Bảng 4. Kết quả ước tính cho thấy sự khác biệt đáng kể trong mức độ tiêu thụ nhiên liệu cho hoạt động đun nấu giữa hai khu vực thành thị và nông thôn. Tại khu vực thành thị Hà Nội, mức độ tiêu thụ LPG là 2,16 MJ/người/ngày; mức độ tiêu thụ các loại nhiên liệu khác như than tổ ong, than khác ở mức thấp hơn đáng kể, lần lượt là 0,16 MJ/người/ngày và 0,20 MJ/người/ngày. Việc sử dụng các loại sinh khối như củi, phụ phẩm nông nghiệp (rơm, trấu...) gần như không đáng kể, đều ở mức 0,02 MJ/người/ngày. Tổng mức tiêu thụ nhiên liệu cho đun nấu tại khu vực thành thị đạt 2,55 MJ/người/ngày, thấp hơn khoảng 27% với mức được ghi nhận trong nghiên cứu trước đây tại Hà Nội (3,49 MJ/người/ngày). Tuy nhiên, con số này thấp hơn đáng kể so với mức tiêu thụ tại khu vực thành thị của Ấn Độ (Garg và cs 2019) (6–7 MJ/người/ngày), cho thấy sự khác biệt trong thói quen đun nấu, cơ cấu nhiên liệu sử dụng và loại thiết bị sử dụng.

Mức tiêu thụ năng lượng cho đun nấu tại nông thôn cao hơn, đạt 4,38 MJ/người/ngày. LPG vẫn chiếm tỷ

trọng lớn nhất (2,86 MJ/người/ngày), tuy nhiên mức độ sử dụng các loại nhiên liệu truyền thống hầu như cao hơn đáng kể so với khu vực thành thị, cụ thể mức tiêu thụ củi là 0,45 MJ/người/ngày, phụ phẩm nông nghiệp là 0,38 MJ/người/ngày, than tổ ong là 0,55 MJ/người/ngày và than khác 0,14 MJ/người/ngày. Điều này được lý giải bởi thực trạng tiếp cận LPG chưa đồng đều, cũng như thói quen sử dụng than và sinh khối do nguồn cung sẵn có và chi phí thấp. Bên cạnh đó, định mức tiêu thụ LPG trên đầu người tại khu vực nông thôn lớn hơn khoảng 32% so với khu vực thành thị có thể được lý giải bằng sự khác biệt về hiệu quả năng lượng của các loại nhiên liệu và thiết bị đun nấu được sử dụng trong các hộ gia đình tại hai khu vực.

Đáng lưu ý là mức độ tiêu thụ nhiên liệu, đặc biệt là các nhiên liệu truyền thống tại khu vực nông thôn Hà Nội thấp hơn đáng kể so với một số nước trong châu lục như Ấn Độ và Nepal. Cụ thể, mức tiêu thụ các loại nhiên liệu tại nông thôn Hà Nội là 4,38 MJ/người/ngày, xấp xỉ một phần tư mức tiêu thụ nhiên liệu tại Nepal (16,37 MJ/người/ngày), mức tiêu thụ củi tại nông thôn Hà Nội là 0,45 MJ/người/ngày thấp hơn đáng kể Ấn Độ (30–40 MJ/người/ngày) và Nepal (12,92 MJ/người/ngày) (Garg và cs 2019; Rupakheti và cs 2019). Tuy nhiên, đây vẫn là các nguồn phát thải ô nhiễm không khí cần được lưu tâm, đặc biệt khi sử dụng các loại bếp đun lộ thiên hoặc thông gió kém hiệu quả.

3.3. Phát thải các chất ô nhiễm không khí và KNK từ hoạt động đun nấu dân sinh tại Hà Nội

3.3.1. Kết quả ước tính phát thải các chất ô nhiễm không khí và KNK theo các loại nhiên liệu

Dựa vào kết quả ước tính mức độ sử dụng nhiên liệu, mức độ phát thải các chất ô nhiễm không khí chính bao gồm bụi, các chất ô nhiễm dạng khí và các KNK phát thải từ đốt nhiên liệu trong hoạt động đun nấu dân sinh tại Hà Nội được tính toán và trình bày tại Bảng 5.

Kết quả kiểm kê cho thấy hoạt động đốt nhiên liệu trong nấu dân sinh tại Hà Nội trong năm 2024 đã phát thải một lượng đáng kể các chất ô nhiễm không khí. Cụ thể, lượng phát thải khí CO là 10.690 tấn, bụi PM_{2.5} là 679 tấn, hợp chất hữu cơ dễ bay hơi không bao gồm methane (NMVOC) là 1.684 tấn, SO₂ là 685 tấn và NO_x là 710 tấn. Một điểm đặc biệt quan trọng là phát thải Benzo[a]pyrene (BaP) - một chất gây ung thư mạnh thuộc nhóm hợp chất hữu cơ đa vòng thơm (PAHs) - được ghi nhận ở mức 130 kg/năm, trong khi tổng PAHs là 15 tấn/năm. Mặc dù mức phát thải này có vẻ nhỏ về giá trị so với các chất ô nhiễm không khí khác, nhưng mức độ độc tính và tác động lâu dài của BaP là đáng lo ngại, đặc biệt trong bối cảnh tiếp xúc kéo dài

Bảng 5. Mức phát thải các chất ô nhiễm không khí và KNK từ hoạt động đun nấu dân sinh tại Hà Nội

Thông số	Hà Nội, 2024 (Nghiên cứu này)	Hà Nội, 2019 (Bảng và cs, 2022)	Hà Nội, 2017 (Hung và cs, 2022)	Hà Nội, 2012* (Huy và cs, 2021)	Hà Nội, 2005 (Guttikunda, 2008)
Chất ô nhiễm không khí					
PM _{2,5} (tấn/năm)	679	2.175	1.500	1.512	-
SO ₂ (tấn/năm)	685	37,51	-	1.369	358
CO (tấn/năm)	10.690	15.906	-	27.371	-
NO _x (tấn/năm)	710	735	730	540	307
NM VOC (tấn/năm)	1.684	-	5.320	4.682	-
PAHs (tấn/năm)	15	-	-	29	-
BaP (kg/năm)	130	-	-	262	-
KNK					
CO ₂ (tấn/năm)	704.719	-	-	1.145.277	-
CH ₄ (tấn/năm)	653	-	1.000	2.449	-
N ₂ O (tấn/năm)	433	-	-	101	-

(-): Không có số liệu; (*) Tính từ số liệu phát thải đầu người và dân số năm 2012 trong nghiên cứu của Lai Nguyen Huy và cs 2021

với khói bếp tại các hộ gia đình nấu bằng củi hoặc phụ phẩm nông nghiệp (rơm rạ) tại các nơi thông gió kém.

So với năm 2005, lượng phát thải SO₂ và NO_x vào năm 2024 tăng gần gấp đôi, trong khi dân số Hà Nội cùng thời điểm tăng khoảng 2,9 lần. Giai đoạn 2005-2012 ghi nhận sự gia tăng đáng kể phát thải, đặc biệt là SO₂ - một chỉ thị phản ánh mức độ sử dụng nhiên liệu than. Trong giai đoạn tiếp theo (2012 - 2024), tổng lượng phát thải các chất ô nhiễm có xu hướng biến động nhẹ: Tăng dần từ năm 2012 đến 2019 và sau đó giảm đáng kể trong giai đoạn 2019-2024, đặc biệt là phát thải PM_{2,5} và CO với mức giảm 1,5 - 3 lần. Đáng chú ý, năm 2024 ghi nhận mức phát thải thấp nhất đối với phần lớn các chất ô nhiễm không khí trong suốt giai đoạn 2012 - 2024.

Sự biến động trong xu hướng phát thải có thể được lý giải bởi các thay đổi trong dữ liệu hoạt động, bao gồm quy mô dân số và cơ cấu và mức sử dụng nhiên liệu đốt. Dù dân số Hà Nội trong giai đoạn 2012 - 2024 tăng liên tục, kết quả thống kê từ một số nghiên cứu cho thấy đã có sự chuyển đổi rõ rệt từ các loại nhiên liệu rắn (như than và củi) sang nhiên liệu sạch hơn.

Báo cáo về mức độ tiếp cận và sử dụng các loại nhiên liệu của các nước khu vực Trung Á năm 2018 của Ngân hàng Thế giới cho thấy tỷ lệ tiếp cận với nhiên liệu và công nghệ đun nấu sạch tại Việt Nam tăng từ khoảng 47% năm 2010 lên gần 70% năm 2016 (World Bank, 2018). So sánh giữa năm 2012 và 2024, việc sử dụng nhiên liệu rắn cho đun nấu tại cả khu vực thành thị và nông thôn Hà Nội đã giảm đáng kể, trong khi mức sử dụng LPG tại khu vực nông thôn có xu hướng gia tăng (Bảng 3). Ngoài ra, sự khác biệt trong hệ số phát thải (EFs) sử dụng giữa các nghiên cứu cũng ảnh hưởng đến kết quả kiểm kê. Trong khi các nghiên cứu giai đoạn 2012 - 2019 chủ yếu sử dụng hệ số phát thải khu vực hoặc quốc tế, nghiên cứu năm 2024 này áp dụng chủ yếu hệ số phát thải được xây dựng dựa trên điều kiện thực tế tại Việt Nam và khu vực, góp phần nâng cao độ chính xác của kết quả ước tính.

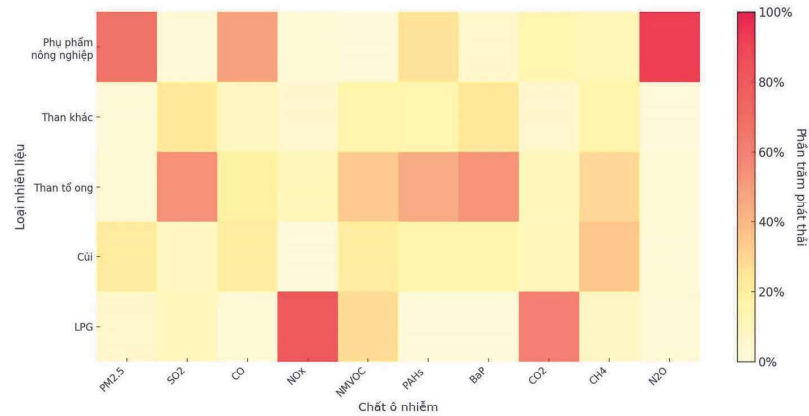
Đối với phát thải KNK, lượng CO₂ - KNK chính - phát thải từ hoạt động đun nấu ước tính là 704.719 tấn/năm, phản ánh tiềm năng đóng góp đáng kể của đun nấu dân sinh vào tổng phát thải KNK đô thị. Ngoài ra, các KNK khác như CH₄ (653 tấn/năm) và N₂O (433



tấn/năm), dù có lượng nhỏ hơn, nhưng có đóng góp đáng kể vào quá trình ấm lên của toàn cầu do tiềm năng gây hiệu ứng nhà kính cao.

So với năm 2012, lượng phát thải KNK trong năm 2024 đã giảm đáng kể, chủ yếu nhờ vào việc giảm tiêu thụ các loại nhiên liệu truyền thống, đặc biệt là than. Kết quả này cho thấy quá trình chuyển đổi từ các loại nhiên liệu truyền thống như than và củi sang các dạng nhiên liệu sạch hơn, điển hình là LPG, mang lại lợi ích kép: Không chỉ góp phần làm giảm phát thải các chất ô nhiễm không khí gây hại cho sức khỏe cộng đồng mà còn giúp cắt giảm phát thải KNK, hỗ trợ các mục tiêu phát triển bền vững và ứng phó với biến đổi khí hậu.

Phân tích mức độ đóng góp tương đối của các loại nhiên liệu sử dụng phổ biến trong đun nấu dân sinh tại Hà Nội vào phát thải các chất ô nhiễm không khí và KNK (Hình 2) cho thấy nhiên liệu sinh khối, đặc biệt phụ phẩm nông nghiệp là một trong những loại nhiên liệu có mức phát thải cao nhất trên một số chỉ tiêu, nổi bật ở PM_{2.5} và CO - những chất có tác động nghiêm trọng đến sức khỏe và chất lượng không khí. Cụ thể, đây là nguồn đóng góp chính vào lượng phát thải PM_{2.5} (66,47%) và CO (49,18%). Ngoài ra, đây cũng là nguồn phát thải chính của N₂O, chiếm 91,96% tổng lượng phát thải này và đóng góp lần lượt 14,41% và 12,30% vào tổng phát thải của CO₂ và CH₄, góp phần vào hiệu ứng nhà kính. Do đặc tính cháy không hoàn toàn và thiếu kiểm soát trong đun nấu, phụ phẩm nông nghiệp được đánh giá là nguồn phát thải đáng lo ngại nhất trong nhóm nhiên liệu khảo sát.



Hình 2. Tỷ lệ (%) đóng góp của các loại nhiên liệu sử dụng trong đun nấu dân sinh vào tổng phát thải các chất ô nhiễm không khí và KNK tại Hà Nội trong năm 2024

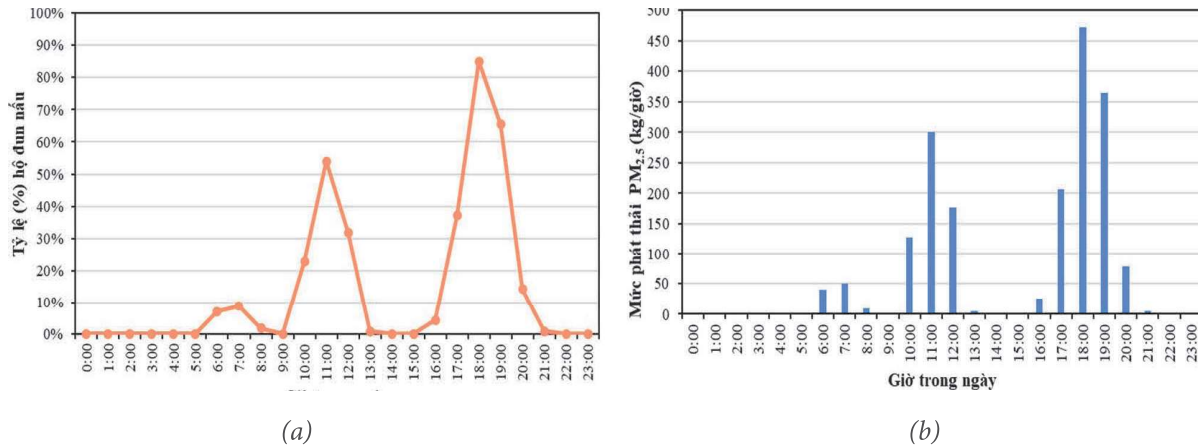
Than tổ ong là nguồn phát thải chính của SO₂, PAHs và BaP - những chất ô nhiễm có tác động nghiêm trọng đến sức khỏe hô hấp và nguy cơ ung thư. Cụ thể, việc đốt than tổ ong cho quá trình đun nấu có thể đóng góp lần lượt 54,02%, 44,84% và 53,45% vào tổng lượng phát thải của SO₂, PAHs và BaP. Như vậy, mặc dù than tổ ong đã bị loại bỏ dần ở Hà Nội từ năm 2021, nhưng những ghi nhận về mức độ đóng góp của nguồn phát thải này trong nghiên cứu cho thấy việc duy trì thói quen sử dụng loại nhiên liệu này trong đun nấu tại các hộ gia đình, đặc biệt trong các khu bếp kín, điều kiện thiếu không khí và không có thiết bị kiểm soát khí thải có thể góp phần làm gia tăng đáng kể lượng phát thải các chất ô nhiễm không khí.

Trong khi đó, mặc dù là nhiên liệu được sử dụng phổ biến nhất, LPG thể hiện mức phát thải thấp nhất trong hầu hết các nhóm chất ô nhiễm, ngoại trừ CO₂ và NO_x. Cụ thể, phát thải từ LPG chỉ chiếm khoảng 6,20% phát thải PM_{2.5}. Điều này được lý giải là do LPG có đặc điểm cháy hoàn toàn hơn, nhiệt trị cao và không sinh ra tro hoặc muội than. Tuy nhiên, mức phát thải NO_x cao từ LPG (chiếm 80,05% lượng NO_x phát thải) được ghi nhận cũng phù hợp với các nghiên cứu trước đó của Lebel và cs (2022) cho thấy quá trình đốt ở nhiệt độ cao có thể thúc đẩy hình thành NO_x. Như vậy, ngoại trừ một số đóng góp đáng kể về CO₂ và NO_x, phát thải từ LPG được xem là tương đối thân thiện với môi trường, cho thấy hiệu quả giảm phát thải khi sử dụng nhiên liệu sạch này.

Củi và than khác có mức phát thải thấp hơn so với phụ phẩm nông nghiệp, nhưng vẫn là nguồn phát thải đáng lo ngại của một số chất ô nhiễm. Cụ thể, nhiên liệu củi và than khác đều có mức phát thải trung bình đến cao đối với SO₂, CH₄ và NMVOC, đặc biệt than khác còn là nguồn phát thải 24,95% BaP, phản ánh sự hiện diện của các hợp chất thơm đa vòng độc hại trong khói đốt. Dù đây là các nhiên liệu sinh khối phổ biến ở vùng nông thôn, nhưng việc sử dụng lâu dài với hệ thống bếp không có thông gió phù hợp sẽ làm gia tăng nguy cơ mắc bệnh hô hấp và ung thư.

3.3.2. Phân tích phát thải theo thời gian

Phân tích xu hướng biến động số lượng hộ gia đình thực hiện hoạt động đun nấu theo từng khung giờ trong ngày tại Hà Nội cho thấy hoạt động đun nấu có tính chu kỳ rõ rệt, phản ánh thói quen sinh hoạt phổ biến của người dân (Hình 3a).



Hình 3. Biểu đồ phân bố của hoạt động đun nấu và phát thải PM_{2.5} theo thời gian trong ngày tại Hà Nội: a) Tỷ lệ (%) hộ đun nấu theo giờ trong ngày; b) Mức phát thải PM_{2.5} theo giờ trong ngày

Cụ thể, hoạt động đun nấu tập trung chủ yếu vào ba khoảng thời gian: Buổi sáng (06:00 - 07:00), buổi trưa (10:00 - 12:00), và buổi tối (17:00 - 19:00), trong đó khung giờ buổi tối có số lượng hộ gia đình đun nấu nhiều nhất.

Phân tích thói quen đun nấu của người dân và xác định tỷ lệ (%) số hộ thực hiện hoạt động đun nấu theo từng khung giờ trong ngày có ý nghĩa quan trọng trong việc ước tính phát thải tức thời (theo giờ) và đánh giá mức độ phơi nhiễm ngắn hạn trong không khí xung quanh và không khí trong nhà. Các thời điểm đun nấu cao điểm như buổi trưa và buổi tối cũng là lúc mức độ phát thải các chất ô nhiễm có xu hướng tăng cao, đặc biệt tại các hộ có sử dụng nhiên liệu sinh khối như phụ phẩm nông nghiệp. Từ phân bố theo thời gian trong ngày của hoạt động đun nấu, mức phát thải theo thời gian trong ngày được xác định. Ví dụ kết quả phân tích lượng phát thải PM_{2.5} trong ngày (Hình 3b) cho thấy lượng phát thải PM_{2.5} lớn nhất là 200 - 470 kg/h, diễn ra vào khung giờ tối từ 17:00 - 19:00. Mức phát thải này lớn hơn khoảng 1,5 - 3,5 lần mức phát thải vào khung giờ trưa 10:00 - 12:00 (130 - 300 kg/h) và gấp 5 - 12 lần mức phát thải vào khung giờ sáng 06:00 - 07:00 (40 - 50 kg/h).

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã ước tính phát thải các chất ô nhiễm chính từ hoạt động đốt nhiên liệu cho đun nấu dân sinh (không bao gồm thương mại) tại Hà Nội năm 2024, dựa trên các số liệu hoạt động thu thập từ khảo sát trực tiếp và hệ số phát thải phù hợp với điều kiện địa phương.

Kết quả nghiên cứu cho thấy mức tiêu thụ năng lượng cho đun nấu của hộ gia đình tại nông thôn cao hơn gấp đôi so với thành thị. Phân tích cơ cấu năng lượng sử dụng cho đun nấu cho thấy điện và LPG là nguồn năng lượng chính cho hoạt động đun nấu hằng

ngày tại cả hai khu vực thành thị và nông thôn của Hà Nội. Trong đó, LPG là nhiên liệu phổ biến nhất được sử dụng bởi 66,8% hộ gia đình ở khu vực thành thị và 79,5% hộ gia đình ở nông thôn, tương đương mức độ tiêu thụ LPG là 2,16 MJ/người/ngày tại thành thị và 2,86 MJ/người/ngày tại nông thôn. Các loại nhiên liệu truyền thống như than, củi và phụ phẩm nông nghiệp vẫn được sử dụng, chủ yếu với vai trò nhiên liệu bổ sung ở cả thành thị và nông thôn. Mức tiêu thụ các loại nhiên liệu này do vậy thấp hơn nhưng vẫn chiếm tỷ lệ không nhỏ, đặc biệt ở khu vực nông thôn.

Kết quả ước tính phát thải các chất ô nhiễm không khí cho thấy đun nấu dân sinh là một nguồn gây phát thải một lượng lớn chất ô nhiễm không khí tại Hà Nội, cụ thể: 679 tấn PM_{2.5}, 685 tấn SO₂, 10.690 tấn CO, 710 tấn NO_x (tính theo NO₂), và 130 kg Benzo[a]pyrene (BaP) - một hợp chất gây ung thư mạnh thuộc nhóm PAHs. Tổng lượng KNK phát sinh từ sử dụng các loại nhiên liệu cho đun nấu là 704.719 tấn/năm CO₂, 653 tấn/năm CH₄ và 433 tấn/năm N₂O.

Trong số các loại nhiên liệu được sử dụng trong đun nấu, phụ phẩm nông nghiệp và than tổ ong là hai nguồn nhiên liệu có mức phát thải lớn nhất các chất ô nhiễm không khí và KNK. Trong đó, phụ phẩm nông nghiệp đóng góp tới 66,47% phát thải PM_{2.5}, 49,18% phát thải CO và 91,96% phát thải N₂O; than tổ ong lần lượt đóng góp 54,02%, 44,84% và 53,45% vào tổng lượng phát thải của SO₂, PAHs và BaP. LPG là nhiên liệu sạch nhất với hiệu suất cháy cao và phát thải thấp. Do vậy, việc sử dụng nhiên liệu truyền thống ở nông thôn là một trong những thách thức lớn cho việc giảm phát thải tổng thể.

Phân bố phát thải theo thời gian trong ngày tương ứng với thói quen đun nấu của các hộ gia đình cho thấy phát thải sẽ tập trung vào các khung đun nấu



chính trong ngày là sáng (từ 6:00-7:00), trưa (10:00-12:00) và đặc biệt là tối (17:00-19:00).

Nghiên cứu cho thấy mức độ ô nhiễm không khí phát sinh từ hoạt động đun nấu dân sinh phụ thuộc vào lượng và loại nhiên liệu tiêu thụ, cơ cấu sử dụng nhiên liệu, và loại thiết bị sử dụng. Những phát hiện này cho thấy cần tiếp tục đẩy mạnh chính sách chuyển đổi sang nhiên liệu sạch, đồng thời hỗ trợ các giải pháp bếp đun hiệu suất cao cho khu vực nông thôn và vùng khó khăn, nhằm giảm thiểu phát thải không khí độc hại và cải thiện sức khỏe cộng đồng.

Bên cạnh đó, nghiên cứu khuyến nghị cần tiếp tục cập nhật, phát triển các hệ số phát thải thực nghiệm theo điều kiện địa phương và mở rộng khảo sát để nâng cao độ chính xác cho kiểm kê phát thải.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đại học Bách khoa Hà Nội (HUST) trong đề tài mã số T2024-TĐ-003■

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Bộ TN&MT (2022). Quyết định số 2626/QĐ-BTNMT Công bố danh mục hệ số phát thải phục vụ kiểm kê KNK.
2. Cục Thống kê TP. Hà Nội (2024). Niên giám thống kê TP. Hà Nội 2024. Truy cập ngày 5/6/2025, từ <https://hanoi.gso.gov.vn>.
3. Guttikunda, S. (2008). *An Air Quality Management Action Plan for Hanoi, Vietnam (SIM-air working paper series No.14-2008)*. Urban Emissions Info.
4. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. (2017). *Report on emission inventory and air quality modeling for Hanoi*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Hanoi Office.
5. Health Effects Institute (2020). *State of Global Air 2020. Special Report*. Boston, MA: Health Effects Institute. <https://www.stateofglobalair.org/resources/report/state-global-air-report-2020>.
6. Huy, L. N., Winijkul, E., & Kim Oanh, N. T. (2021). Assessment of emissions from residential combustion in Southeast Asia and implications for climate forcing potential. *Science of the Total Environment*, 785, 147311. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147311>.
7. Hồ, Q.B. (2022). *Nghiên cứu xây dựng bản đồ phát thải các chất gây ô nhiễm không khí phục vụ dự báo và kiểm soát ô nhiễm không khí vùng kinh tế trọng điểm Bắc Bộ (Báo cáo số 2022-54-1267/NS-KQNC)*. Viện Môi trường và Tài nguyên, Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh; Bộ TN&MT.
8. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2006). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 2: Energy*. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>.
9. Antonette D'Sa, K.V. Narasimha Murthy. (2004). LPG as a cooking fuel option for India. *Energy for Sustainable Development*. Volume 8, Issue 3, Pages 91-106. ISSN 0973-0826. [https://doi.org/10.1016/S0973-0826\(08\)60471-8](https://doi.org/10.1016/S0973-0826(08)60471-8).
10. Lacey, F.G., Henze, D.K., Lee, C.J., van Donkelaar, A., Martin, R.V., & Bonzini, M. (2017). Transatlantic transport of air pollution and its effects on mortality in Europe. *Environmental Research Letters*, 12(9), 094012. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa7cad>.
11. Lebel, E. D., Finnegan, C. J., Ouyang, Z., & Jackson, R. B. (2022). Methane and NO_x emissions from natural gas stoves, cooktops, and ovens in residential homes. *Environmental Science & Technology*, 56(4), 2529-2538. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.1c04707>.
12. Nguyen, T.H., Ngo, T.H., Nagashima, T., Lam, Y. F., Đoàn, Q. V., Kurokawa, J., Chatani, S., Derdouri, A., Cheewaphongphan, P., Khan, A., & Niyogi, D. (2022). Development of a high-resolution emission inventory for urban air quality management and modelling studies in Hanoi, Vietnam. *Urban Climate*, 46, 101334. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101334>.
13. Nghiem, T.D., Ly, B.T., Nguyen, T.Y.L., Nguyen, T.T.T, Do, K.U., & Nguyen, T.T.H. (2015). Development of emission factors for environmental inventory. *National Environmental Conference, Ministry of Natural Resources and Environment*, 58, 222-229.
14. Sadavarte P, Rupakheti M, Bhavne P et al (2019). Nepal emission inventory-Part I: Technologies and combustion sources (NEEMI-Tech) for 2001-2015. *Amos*.
15. Shrestha, R.M., Kumar, S., & Martin, S. (2013). Energy and Air Pollution Modeling for Policy Development in Developing Countries. *Asian Institute of Technology, Bangkok*.
16. Shupler, M., Hystad, P., Gustafson, P., Rangarajan, S., Mushtaha, M., Brauer, M., & Yusuf, S. (2020). Household and personal air pollution exposure measurements from 120 communities in eight countries: results from the PURE-AIR study. *The Lancet Planetary Health*, 4(10), e451-e462. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(20\)30240-2](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(20)30240-2).
17. Sophy, A. O. (2024). *Analysis of Cooking Fuels and Cooking Energy Demand in Rural Households*. *Power System Technology*, 48(4), 999-1012. <https://doi.org/10.52783/pst.1048>.
18. U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) (2000). *Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP-42), Volume I: Stationary Point and Area Sources (5th ed.)*.
19. Vo, D. H. (2025). Socio-demographic determinants of electricity consumption across Vietnamese households. *PLOS ONE*, 20(4), e0320758. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0320758>.