



Original Article

Climatology of Thunderstorms at Three Airports in Vietnam: Thermodynamic Indices and Atmospheric Parameters

Nguyen Quoc Bao, Nguyen Minh Truong*

VNU University of Science, 334 Nguyen Trai, Thanh Xuan, Hanoi, Vietnam

Received 25th August 2025

Revised 15th October 2025; Accepted 30th October 2025

Abstract: Thunderstorm events at three major airports in Vietnam, including Noi Bai, Da Nang, and Tan Son Nhat, during the period 2007-2023 were characterized based on aviation report data. The results show that Tan Son Nhat, Noi Bai, and Da Nang airports have an average of 199, 110, and 81 thunderstorms/year, respectively. The thunderstorm season lasts from May-September at Noi Bai (accounting for 80%), April-September at Da Nang (accounting for 85%), and May-October at Tan Son Nhat (accounting for 75%) airport. Regarding the time of occurrence, thunderstorms at Noi Bai airport are scattered throughout the day, while at Da Nang and Tan Son Nhat airport, they are concentrated in the afternoon and evening. Thermodynamic indices and atmospheric parameters from sounding data at radiosonde stations near the airports were also analyzed to determine favorable environmental conditions for thunderstorms. Comparison of RSS skill scores shows that precipitable water (PW) and K index are good predictors of thunderstorms at all three airports. The study also identified the ranges of these thermodynamic indices and atmospheric parameters in thunderstorm environments at each airport. For example, 80% of thunderstorms at Noi Bai, Da Nang, and Tan Son Nhat airports occur when PW is in the range of 53.8-72.1, 52.3-68.0, and 52.1-65.2 mm, respectively.

Keywords: Thunderstorm; Thermodynamic indices; Atmospheric parameters; Airport.

* Corresponding author.

E-mail address: truongnm@vnu.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.5437>

Khí hậu học đông tại ba sân bay ở Việt Nam: Các chỉ số nhiệt động lực và tham số khí quyển

Nguyễn Quốc Bảo, Nguyễn Minh Trường*

*Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc Gia Hà Nội,
334 Nguyễn Trãi, Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam*

Nhận ngày 25 tháng 8 năm 2025

Chỉnh sửa ngày 15 tháng 10 năm 2025; Chấp nhận đăng ngày 30 tháng 10 năm 2025

Tóm tắt: Đặc điểm đông tại ba sân bay lớn của Việt Nam gồm Nội Bài, Đà Nẵng và Tân Sơn Nhất trong giai đoạn 2007-2023 được nghiên cứu dựa trên số liệu báo cáo hàng không. Kết quả cho thấy ở sân bay Tân Sơn Nhất, Nội Bài, và Đà Nẵng tương ứng có trung bình 199, 110, và 81 cơn dông/năm. Mùa dông diễn ra từ tháng 5-9 ở sân bay Nội Bài (chiếm 80%), tháng 4-9 ở sân bay Đà Nẵng (chiếm 85%) và tháng 5-10 ở Tân Sơn Nhất (chiếm 75%). Về thời gian xuất hiện, dông ở sân bay Nội Bài phân bố rải rác trong ngày, trong khi ở sân bay Đà Nẵng và sân bay Tân Sơn Nhất tập trung vào buổi chiều và tối. Các chỉ số nhiệt động lực và tham số khí quyển từ số liệu cao không tại các trạm gần sân bay cũng được phân tích để làm rõ điều kiện môi trường thuận lợi cho các cơn dông. So sánh điểm kỹ năng RSS cho thấy lượng nước khả giáng (PW) và chỉ số KI là nhân tố dự báo dông tốt ở cả ba sân bay. Ngoài ra, nghiên cứu còn xác định các khoảng giá trị đặc trưng của các chỉ số trong môi trường dông, chẳng hạn 80% số cơn dông tại các sân bay Nội Bài, Đà Nẵng, và Tân Sơn Nhất xảy ra khi PW nằm trong khoảng 53,8-72,1, 52,3-68,0 và 52,1-65,2 mm,...

Từ khóa: Dông; Chỉ số nhiệt động lực; Tham số khí quyển; Sân bay.

1. Mở đầu

Dông là một hiện thời tiết nguy hiểm, khi xảy ra thường đi kèm với nhiều hiện tượng như sấm sét, gió giật, mưa lớn, mưa đá, lốc xoáy,... [1, 2]. Ngành hàng không là lĩnh vực chịu nhiều ảnh hưởng từ dông bởi những tác động tiêu cực của chúng tới quá trình hoạt động [1]. Các ổ dông có thể gây hỏng hóc cho thiết bị và phương tiện tại sân bay, dẫn đến mất an toàn chuyến bay. Ngoài ra dông còn khiến chuyến bay bị trì hoãn, hủy chuyến, chuyển hướng hoặc kéo dài thời gian bay. Những tác động của chúng dẫn đến nhiều khó khăn trong việc lập kế hoạch và tăng chi phí chuyến bay [3]. Có 3 yếu tố chính của môi trường thuận lợi cho hình thành và phát triển dông gồm:

i) Sự bất ổn trong khí quyển; ii) Độ ẩm cao trong nửa dưới tầng đối lưu; và iii) Một cơ chế nâng dẫn đến sự nâng lên của không khí trong lớp biên [4, 5]. Độ đứt gió thẳng đứng được coi là điều kiện thứ 4 của môi trường thuận lợi cho cơn dông có thể tồn tại lâu hơn và phát triển mạnh hơn [1, 6].

Nhiều tác giả đã nghiên cứu về sự phân bố theo thời gian của dông và các đặc điểm điều kiện môi trường thuận lợi cho dông ở các khu vực khác nhau trên thế giới. Taszarek (2019) đã chỉ ra rằng hoạt động dông hàng năm đạt đỉnh là vào tháng 7 và tháng 8 ở miền bắc, miền đông và miền trung châu Âu, trái ngược với miền tây và đông nam châu Âu hoạt động dông mạnh nhất vào tháng 5 và tháng 6 [2]. Ahmed (2019) nghiên cứu phân bố dông ở Pakistan khu vực nam Á chỉ

* Tác giả liên hệ.

Địa chỉ email: truongnm@vnu.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.5437>

ra dông phát triển mạnh nhất vào giai đoạn tiền gió mùa và gió mùa tháng 4 đến tháng 9 [7]. Ở Trung Quốc dông phát triển mạnh nhất vào mùa ẩm từ tháng 4 đến tháng 9 [8]. Yavuz (2022) nghiên cứu dông ở sân bay khu vực Marmara, Thổ Nhĩ Kỳ chỉ ra dông tập trung vào khoảng từ 1100-1900 UTC trong ngày, mưa chiếm 72% thời gian xảy ra dông và khoảng 90% số cơn dông xảy ra trong điều kiện CAPE từ 0-1000 J/kg [9]. Pandit (2023) nghiên cứu dông tại 12 sân bay ở Ấn Độ cho thấy dông ở khu vực này xảy ra chủ yếu trong khoảng thời gian từ 1200-1400UTC do lớp biên khí quyển được đặc trưng bởi động năng rối, động lượng rối, các quá trình ẩn nhiệt, hiển nhiệt và độ đứt gió [10].

Hiện nay có nhiều phương pháp được sử dụng để dự báo và nghiên cứu dông như sử dụng dữ liệu từ radar, vệ tinh, phương pháp thống kê, sử dụng kết quả từ mô hình số, sử dụng quan trắc cao không. Trong đó việc biết cấu trúc nhiệt động lực học của khí quyển là rất quan trọng để dự báo dông. Vì lý do này, các chỉ số nhiệt động lực học và các tham số khí quyển đã được sử dụng để phân tích dông trong nhiều nghiên cứu. Haklander (2003) nghiên cứu 32 chỉ số dông ở Hà Lan cho thấy chỉ số là LI100 (Lowest 100hPa Lift Index) cho kỹ năng dự báo tốt nhất với $LI100 \leq 3.0^{\circ}\text{C}$ [11]. Ma (2021) thực hiện nghiên cứu về môi trường thuận lợi cho sự hình thành và phát triển dông ở miền bắc Trung Quốc và chỉ ra lượng nước khả giáng (PW-Precipitable Water) có kỹ năng tốt nhất trong việc dự báo dông, các tham số bất ổn định có kỹ năng đáng kể trong việc phân biệt giữa các loại dông mạnh, mực ngưng kết nâng (LCL-Lifted Condensation Level) dự báo tốt cho môi trường dông không kèm theo mưa và có mưa [8]. Nghiên cứu về dông ở Ấn Độ trong thời kỳ gió mùa hoạt động của tác giả Mondal (2024) chỉ ra nên kết hợp nhiều chỉ số để tăng độ chính xác cho dự báo. Các chỉ số $EH1 > 1$ và $SCP \geq 3,5$, $STP \geq 1,2$ cùng với SRH thấp ở 3 km ($100 \text{ m}^2/\text{s}^2$) có kỹ năng tốt trong dự báo những cơn dông dữ dội do chúng phụ thuộc nhiều vào gió đứt. Mặt khác, chỉ số CAPE, chỉ số KI và chỉ số VT cho thấy kỹ năng tốt trong dự báo đối với dông bình thường [12]. Kanaujiya (2024) cũng chỉ ra đối với dự báo dông,

một chỉ số nhiệt động lực học đơn lẻ là không đủ, mà cần phải phân tích một số chỉ số [13].

Việt Nam nằm ở vị trí trung tâm dông của châu Á - một trong ba trung tâm dông của thế giới [14]. Một số nghiên cứu về đặc điểm dông ở Việt Nam đã chỉ ra rằng Việt Nam có trung bình 80 ngày dông/năm và 250 giờ dông/năm. Dông ở Nam Bộ có phần nhiều hơn ở Bắc Bộ và Trung Bộ. Dông xảy ra hầu như quanh năm, song chủ yếu trong mùa mưa. Mùa dông phổ biến là từ tháng IV đến tháng IX ở Bắc Bộ, từ tháng IV đến tháng VI và từ tháng VIII đến tháng X ở Trung Bộ, từ tháng V đến tháng X ở Tây Nguyên, Nam Bộ [14, 15]. Tuy nhiên các nghiên cứu về đặc điểm cụ thể về dông và các chỉ số nhiệt động lực ở các sân bay còn rất hạn chế - đặc biệt là các sân bay lớn như Nội Bài, Đà Nẵng, Tân Sơn Nhất, nơi chịu nhiều tác động từ dông.

Nghiên cứu này tập trung phân tích đặc điểm dông tại ba sân bay lớn của Việt Nam gồm Nội Bài, Đà Nẵng và Tân Sơn Nhất trong giai đoạn 2007-2023. Đầu tiên sẽ thực hiện phân tích đặc điểm phân bố dông theo năm, tháng, ngày và giờ trong ngày. Bên cạnh đó, đặc điểm thời gian tồn tại của các cơn dông, các chỉ số nhiệt động lực và tham số khí quyển trong môi trường có dông cũng được phân tích để làm rõ điều kiện môi trường thuận lợi cho cơn dông. Số liệu và phương pháp nghiên cứu được trình bày trong Mục 2. Kết quả nghiên cứu và thảo luận và Kết luận được trình bày trong Mục 3 và Mục 4.

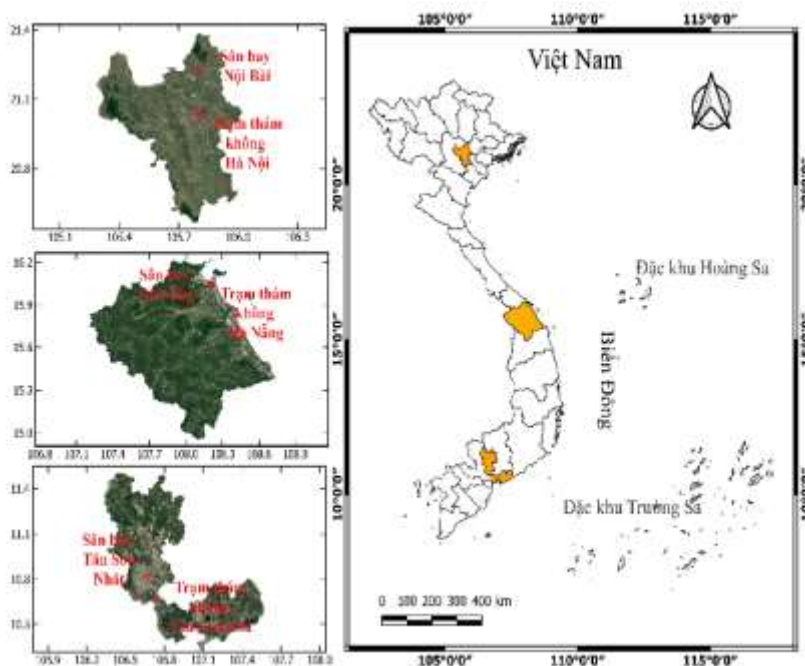
2. Số liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Sân bay Nội Bài, sân bay Đà Nẵng, sân bay Tân Sơn Nhất là 3 sân bay trọng điểm của Việt Nam. Hằng năm mỗi sân bay phục vụ hàng chục nghìn chuyến bay với hàng chục triệu lượt khách trong nước và quốc tế. Sân bay Nội Bài (Noi Bai International Airport) là sân bay quốc tế lớn nhất của miền Bắc Việt Nam. Sân bay có tâm tại $21^{\circ}12'50''\text{B}$, $105^{\circ}48'11''\text{Đ}$, cao hơn mực nước biển 12 m, thuộc huyện Sóc Sơn, cách trung tâm

thủ đô Hà Nội 35 km về phía Tây Bắc. Sân bay Đà Nẵng (Danang International Airport) là sân bay quốc tế lớn nhất khu vực miền Trung - Tây Nguyên và lớn thứ ba của Việt Nam. Sân bay nằm tại vị trí $16^{\circ}02'38''\text{B}$, $108^{\circ}11'58''\text{Đ}$, cao hơn mực nước biển 10 m, thuộc quận Hải Châu, cách trung tâm thành phố Đà Nẵng 3 km. Sân bay Tân Sơn Nhất (Tan Son Nhat International

Airport) là sân bay quốc tế lớn nhất Việt Nam hiện nay. Sân bay nằm có vị trí $10^{\circ}49'8''\text{B}$, $106^{\circ}39'7''\text{Đ}$, cao hơn mực nước biển 10 m, cách trung tâm Thành phố Hồ Chí Minh 8 km về phía Bắc, thuộc quận Tân Bình, sân bay Tân Sơn Nhất là đầu mối giao thông quan trọng của Nam Bộ.



Hình 1. Vị trí của ba sân bay và vị trí trạm trắc cao không.

2.2. Số liệu

Nghiên cứu này sử dụng dữ liệu thời tiết của báo cáo hàng không trong 17 năm từ 2007-2023 tại ba sân bay Nội Bài, Đà Nẵng, Tân Sơn Nhất. Trong đó chủ yếu là số liệu từ báo cáo khí tượng hàng không (METAR) và báo cáo khí tượng hàng không đặc biệt (SPECI). Báo cáo khí tượng hàng không METAR là một dạng báo cáo thời tiết hàng không tiêu chuẩn quốc tế cung cấp thông tin về điều kiện khí tượng tại sân bay và khu vực lân cận. Báo cáo được thực hiện với tần suất phát báo 30 phút một lần đối với sân bay quốc tế. Báo cáo khí tượng sân bay đặc biệt (SPECI) được phát trong trường hợp xảy ra các tình huống ảnh hưởng đến hoạt động hàng không

giữa hai bản tin METAR. Hầu như tất cả các báo cáo (trên 98%) tại ba sân bay trong giai đoạn này đều được công bố, thu thập và thực hiện phân tích.

Trong các báo cáo khí tượng hàng không này, có nhiều thông tin như nhiệt độ không khí, nhiệt độ điểm sương, độ ẩm tương đối, khí áp, tầm nhìn, tốc độ gió, hướng gió và thời tiết hiện tại. Các báo cáo này được sử dụng để xác định thời gian xảy ra các cơn dông. Khi xác định các cơn dông, tất cả các loại mã liên quan tới dông (ví dụ: TS, TSRA, VCTS) đều được trích xuất và xử lý. Đối với một cơn dông, sự xuất hiện của bất kỳ mã hiện tượng dông nào trong cả hai loại báo cáo đều được tìm kiếm và nếu chúng xuất hiện liên tục nhau thì xác định là một cơn dông. Theo kết quả phân tích, tổng cộng có 1208 ngày

đông với 1876 cơn dông ở sân bay Nội Bài, 1073 ngày dông với 1371 cơn dông ở sân bay Đà Nẵng và 2387 ngày dông với 3383 cơn dông ở sân bay Tân Sơn Nhất đã được xác định trong khoảng thời gian 17 năm.

Số liệu quan trắc của các đài cao không gần các sân bay Nội Bài, Đà Nẵng, Tân Sơn Nhất được lấy từ trang web của Đại học Wyoming, <http://weather.uwyo.edu/>, gồm nhiều chỉ số và tham số và tham số khí quyển được đo đạc và tính toán. Các quan trắc cao không được thực hiện hai lần một ngày vào lúc 00 và 12 UTC bởi các Đài khí tượng cao không, thuộc Cục Khí tượng Thủy văn, tại tọa độ gần các sân bay theo quy định [16]. Khoảng cách từ các đài cao không đến các sân bay nằm trong khoảng 2-22 km (Hình 1). Theo kết quả nghiên cứu của Nelson (2021), cần quan trắc cao không với khoảng cách nhỏ hơn 20 km trong lớp biên và nhỏ hơn 40 km trong tầng đối lưu tự do để xác định đặc trưng cho môi trường không khí gần mây [17]. Hai quan trắc gần nhất trước và sau cơn dông sẽ được sử dụng để phân tích. Ví dụ khi ghi nhận cơn dông lúc 08 UTC các quan trắc cao không lúc 00 và 12 UTC sẽ được sử dụng, còn nếu cơn dông xảy ra lúc 20 UTC thì các quan trắc lúc 12 UTC cùng ngày và lúc 00 UTC ngày hôm sau được xem xét. Tuy số liệu quan trắc cao không khá thưa (12 h/lần) nhưng việc sử dụng các quan trắc gần sự kiện nhất vẫn có thể giúp nắm bắt được các điều kiện môi trường khí quyển thuận lợi cho cơn dông, bao gồm cả trước, trong và sau cơn dông [1].

2.3. Các chỉ số nhiệt động lực và tham số khí quyển

Trong nghiên cứu thực hiện phân tích 13 chỉ số nhiệt động lực và tham số khí quyển bao gồm: chỉ số KI, chỉ số Showalter (SHOW), chỉ số nâng (LI), chỉ số tổng các chỉ số (TTI), chỉ số tổng thẳng đứng (VT), chỉ số tổng ngang (CT), chỉ số SWEAT, chỉ số Bulk Richardson number (BRN), năng lượng đối lưu tiềm năng (CAPE), chỉ số cản đối lưu (CIN), khí áp mực ngưng kết nâng (LCLP), nhiệt độ mực ngưng kết nâng (LCLT) và lượng nước khả giáng (PW). Giá trị các chỉ số được tính toán từ số liệu quan trắc thám

không, được tải từ trang web của Đại học Wyoming, thông tin chi tiết về các chỉ số <https://weather.uwyo.edu/upperair/indices.html>.

Trong đó chỉ số KI là sự kết hợp của hàm lượng ẩm ở mực 850–700 hPa và nhiệt độ ở mực 850–500 hPa, $KI = (T_{850} - T_{500}) + T_{d850} - (T_{700} - T_{d700})$. Chỉ số tổng các chỉ số (TTI) là tổng của hai chỉ số VT và CT, $TTI = VT + CT$. Với tổng chỉ số tổng thẳng đứng (VT) và tổng ngang (CT) được tính theo công thức, $T = T_{850} - T_{500}$; $CT = T_{d850} - T_{500}$. Trong đó T_{850} , T_{700} , và T_{500} là nhiệt độ các mực 850, 700, và 500 hPa; T_{d850} và T_{d700} là nhiệt độ điểm sương mực 850 và 700 hPa.

Chỉ số SHOW có công thức, $SHOW = T_{500} - T_{L850}$, với T_{L850} là nhiệt độ của phần tử khí được nâng lên theo lý thuyết phần tử từ mực 850 tới mực 500 hPa. Tương tự SHOW, chỉ số nâng LI được định nghĩa là sự chênh lệch giữa nhiệt độ quan sát được ở mực 500 hPa và nhiệt độ của một phần tử khí sau khi nâng lên theo lý thuyết phần tử từ bề mặt lên mực 500 hPa (T_{Lsfc}), $LI = T_{500} - T_{Lsfc}$.

Chỉ số SWEAT được phát triển để dự báo các hiện tượng dông dữ dội và vòi rồng, $SWEAT = 12T_{d850} + 20(TT - 49) + 2f_{850} + f_{500} + 125[\sin(d_{500} - d_{850})] + 0,2$. Trong đó f_{850} và f_{500} là tốc độ gió tính bằng hải lý ở mực 850 và 500 hPa, d_{850} và d_{500} là hướng gió ($0-360^\circ$) ở mực 850 và 500 hPa.

Năng lượng đối lưu tiềm năng CAPE là thước đo về cường độ dòng thẳng đối lưu. Nó được biểu diễn như là năng lượng nổi khả năng theo lý thuyết phần tử cho một phần tử khí lớp biên khi được nâng lên từ mực LFC đến mực cân bằng EL. Tương tự CAPE, Chỉ số cản đối lưu CIN được tính cho lớp từ bề mặt (Sfc) đến LFC. Chỉ số BRN thể hiện điều kiện môi trường thuận lợi cho hình thành và phát triển dông liên quan đến độ bất ổn định của môi trường và độ đứt gió, $BRN = CAPE / (0.5 U^2)$. Trong đó $U = \sqrt{(u_2 - u_1)^2 + (v_2 - v_1)^2}$ là độ đứt gió giữa 2 mực; u_1 , v_1 là trung bình gió u , v mực thấp dưới 500 m; u_2 , v_2 là trung bình gió u , v mực thấp dưới 6000 m.

Lượng nước khả giáng (PW) là tổng lượng hơi nước có trong một cột không khí từ mặt đất

lên đến đỉnh của bầu khí quyển cho biết thông tin về độ ẩm trong bầu khí quyển. Mục ngưng kết nâng là độ cao mà tại đó không khí ẩm bị nâng lên đủ cao để đạt đến trạng thái bão hòa ($RH = 100\%$) và bắt đầu ngưng tụ thành mây. Các tham số nhiệt độ (LCLT) và khí áp (LCLP) ở mục ngưng kết nâng có thể phản ánh độ cao mục ngưng kết nâng và trạng thái độ ẩm của khí quyển liên quan đến quá trình đối lưu.

2.4. Điểm kỹ năng Rank Sum Scores

Điểm kỹ năng RSS (Rank Sum Scores) là một phương pháp hiệu quả để đánh giá kỹ năng dự báo có hoặc không có dông của các chỉ số và tham số và đã được nhiều tác giả sử dụng [11, 18]. Để tính giá trị RSS đối với một chỉ số cụ thể, chúng tôi thực hiện sắp xếp giá trị chỉ số theo thứ tự từ cao đến thấp, sau đó đánh thứ hạng cho mỗi giá trị chỉ số. Cuối cùng giá trị RSS được tính bằng sự chênh lệch giữa hạng trung bình của trường hợp không có dông và trường hợp có dông chia cho tổng số mẫu. Một chỉ số hoặc tham số càng có sự tách biệt giữa các trường hợp có và không có dông thì kỹ năng dự báo của nó càng cao, tương ứng điểm kỹ năng RSS càng cao.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Phân bố dông theo thời gian tại các sân bay

Trong phần này, chúng tôi sẽ thực hiện thống kê, phân tích tần suất xuất hiện của dông theo ngày, tháng và năm. Bên cạnh đó, đặc điểm về thời gian tồn tại của các cơn dông cũng được xem xét bằng việc phân tích thời gian bắt đầu và kết thúc của các cơn dông từ dữ liệu quan trắc.

3.1.1. Phân bố dông theo năm (Hình 2)

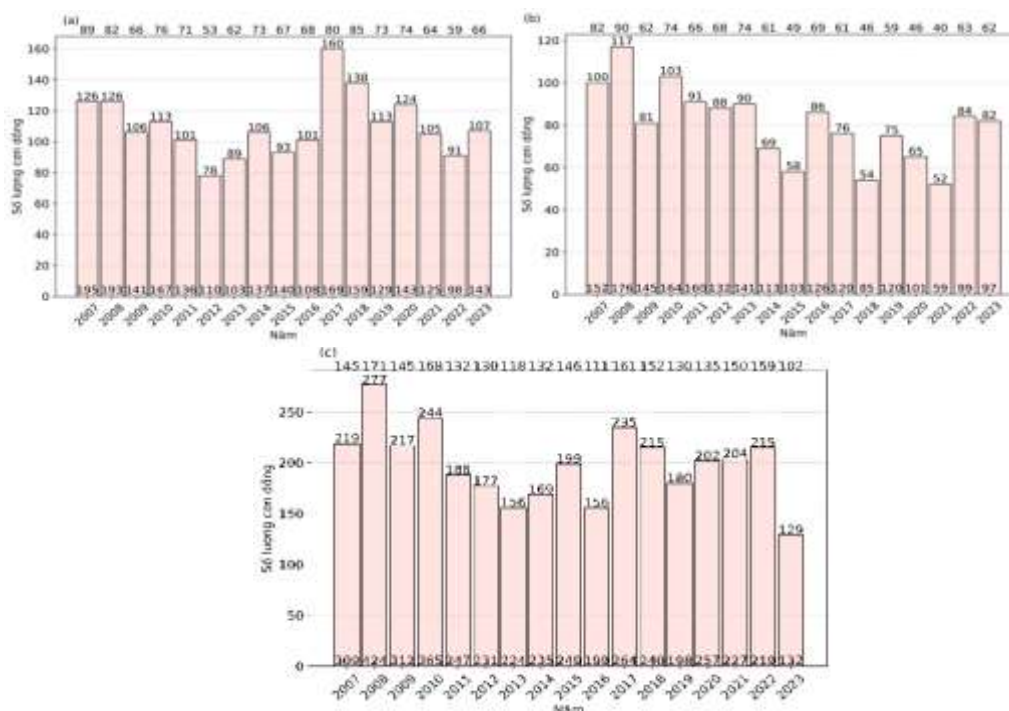
Với chuỗi số liệu thời gian phân tích trong 17 năm (2007–2023), ở sân bay Nội Bài trung bình có 110 cơn dông/năm với 141 giờ dông/năm và 71 ngày dông/năm. Năm 2012 là năm có ít dông nhất trong chuỗi thời gian với 78 cơn dông, 110 giờ dông và 53 ngày có dông. Năm 2017 có nhiều dông nhất, có tới 160 cơn dông, 169 giờ dông và 80 ngày dông. Tuy nhiên về thời gian

dông và ngày dông năm 2007 có 89 ngày xảy ra dông với 195 giờ. Sân bay Đà Nẵng dông xảy ra ít hơn về cả ba tiêu chí với trung bình 81 cơn dông/năm, 123 giờ dông/năm và 63 ngày dông/năm. Năm ít nhất có 52 cơn dông với 59 giờ dông và 40 ngày dông ghi nhận vào năm 2021. Năm 2008 xảy ra nhiều dông nhất với 117 cơn dông, 176 giờ dông và 90 ngày dông. Ở sân bay Tân Sơn Nhất, tần suất dông xảy ra nhiều hơn, trung bình có 199 cơn dông/năm với 255 giờ dông/năm và 140 ngày dông/năm. Năm 2008 có nhiều dông nhất với 277 cơn dông, 424 giờ dông và 171 ngày xảy ra dông. Năm 2023 có ít dông nhất với 129 cơn, 132 giờ và 102 ngày xảy ra dông (Hình 2).

Thực hiện kiểm nghiệm Mann-kendall và ước lượng hệ số góc Sen các chuỗi số liệu trong Hình 2, cho thấy dông ở sân bay Đà Nẵng và giờ dông ở sân bay Tân Sơn Nhất xu hướng giảm, với sân bay Nội Bài không có xu thế biến đổi cụ thể của dông theo năm (Bảng 1). Tần suất xuất hiện dông nhiều nhất ở sân bay Tân Sơn Nhất, sau đó đến sân bay Nội Bài và sân bay Đà Nẵng phù hợp với xu thế phân bố dông trong nghiên cứu của tác giả Nguyễn Đức Ngữ (Hình 2). Tuy nhiên số lượng ngày dông thống kê có dự khác biệt đáng kể đặc biệt ở sân bay Tân Sơn Nhất trung bình 140 ngày dông/năm (so với khoảng 20-80 ngày dông/năm ở Việt Nam trong nghiên cứu Nguyễn Đức Ngữ [15]). Nhưng kết quả này phù hợp với kết quả chỉ ra của tác giả Mai Văn Khiêm thống kê dông giai đoạn 2015-2019 ở Việt Nam [19]. Sự khác biệt có thể do sự khác nhau về chuỗi thời gian thống kê.

Bảng 1. Kết quả kiểm nghiệm Mann-kendall và Sen's Slope của các thông số dông theo năm tại ba sân bay (giá trị trong ô biểu diễn trị số Sen's Slope, ô tô màu biểu diễn xu thế có ý nghĩa thống kê với p -value < 0.05)

Sân bay	Cơn dông	Ngày dông	Giờ dông
Nội Bài	-0,68	-0,15	-2,55
Đà Nẵng	-1,81	-2,4	-5,3
Tân Sơn Nhất	-0,95	-3,34	-8,66



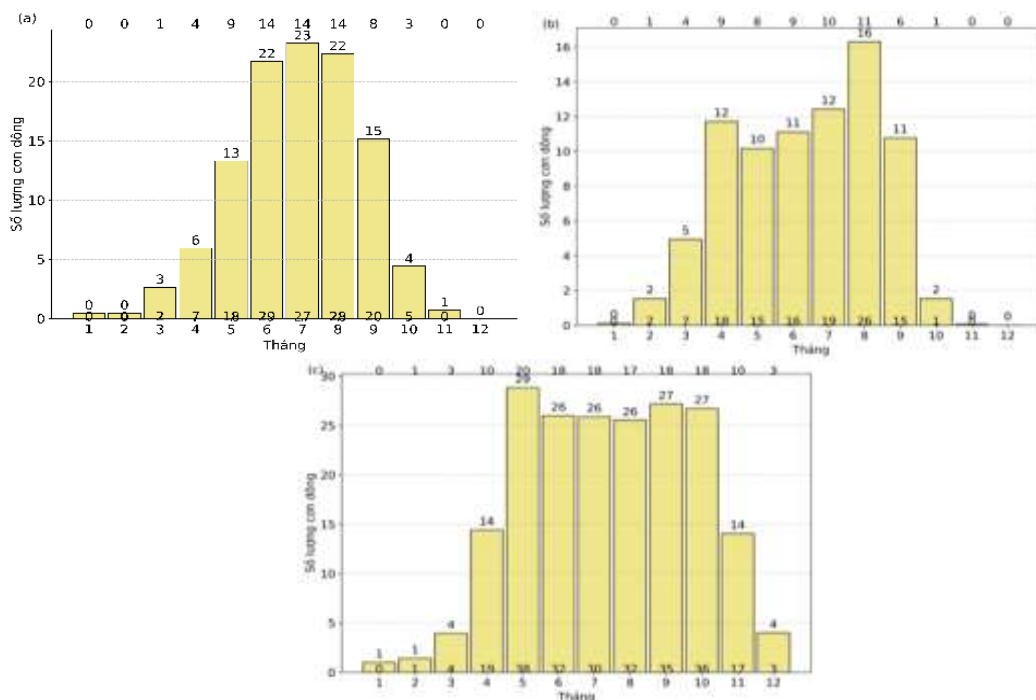
Hình 2. Phân bố dông theo năm của sân bay Nội Bài (a), Đà Nẵng (b), và Tân Sơn Nhất (c). Dãy chỉ số dưới cùng thể hiện số giờ dông của năm tương ứng. Dãy chỉ số trên cùng thể hiện số ngày dông của năm tương ứng.

3.1.2. Phân bố dông theo tháng (Hình 3)

Hình 3 biểu diễn phân bố dông theo tháng cho thấy, ở sân bay Nội Bài dông xảy ra phần lớn tập trung từ tháng 5 đến tháng 9 chiếm hơn 80% về cả ba tiêu chí: số cơn dông/năm, ngày dông/năm, giờ dông/năm. Các tháng 11-12 và 1-2 hầu như rất ít dông xuất hiện. Tháng 5, 6, 7 là ba tháng ghi nhận các chỉ số thống kê về dông cao nhất với trung bình 22-23 cơn dông/tháng, 27-29 giờ dông/tháng và 14 ngày xảy ra dông/tháng. Với sân bay Đà Nẵng dông xảy ra chủ yếu tập trung từ tháng 4 đến tháng 9 chiếm hơn 85% cho cả ba chỉ số thống kê: số cơn dông/tháng, giờ dông/tháng và ngày dông/tháng. Dông xảy ra nhiều nhất vào tháng 8 với trung bình 16 cơn dông/tháng, 26 giờ dông/tháng và 11 ngày dông/tháng. Tháng 11, 12, 1 hầu như không xảy ra dông. Ở sân bay Tân Sơn Nhất dông xuất hiện ở hầu hết các tháng trong năm, tuy nhiên cũng rất ít vào các tháng 12, 1, 2, 3 với khoảng 1-4 cơn dông/tháng. Từ tháng 4 đến tháng 11 tuần

suất xảy ra dông trung bình nhiều hơn 14 cơn dông/tháng với hơn 17 giờ dông/tháng và 10 ngày dông/tháng. Đặc biệt là trong các tháng 5-10 dông xuất hiện rất nhiều hơn (chiếm hơn 75% dông trong năm) khoảng 26-29 cơn dông/tháng, với hơn 30 giờ dông/tháng và 17-20 ngày xảy ra dông/tháng. Tháng 5 là tháng có các chỉ số thống kê dông cao nhất với trung bình 29 cơn dông/tháng với 38 giờ dông/tháng và 20 ngày dông/tháng.

Dựa vào kết quả thống kê số lượng cơn dông trung bình tháng trong gia đoạn 2007-2023, chúng tôi có thể xác định mùa dông ở các sân bay là những tháng có số lượng cơn dông cao hơn trung bình năm. Kết quả cho thấy mùa dông ở các sân bay có khác nhau nhưng tập trung chủ yếu từ tháng 4 đến tháng 10. Trong đó, ở sân bay Nội Bài, mùa dông được xác định là khoảng thời gian từ tháng 5 đến tháng 9 hàng năm. Mùa dông ở sân bay Đà Nẵng kéo dài từ tháng 4 đến tháng 9. Đối với sân bay Tân Sơn Nhất mùa dông tập trung từ tháng 5 đến tháng 10.



Hình 3. Phân bố đông theo tháng của sân bay Nội Bài (a), Đà Nẵng (b), và Tân Sơn Nhất (c).
Dãy chỉ số dưới cùng thể hiện số giờ đông trung bình của tháng tương ứng.
Dãy chỉ số trên cùng thể hiện số ngày đông trung bình của tháng tương ứng.

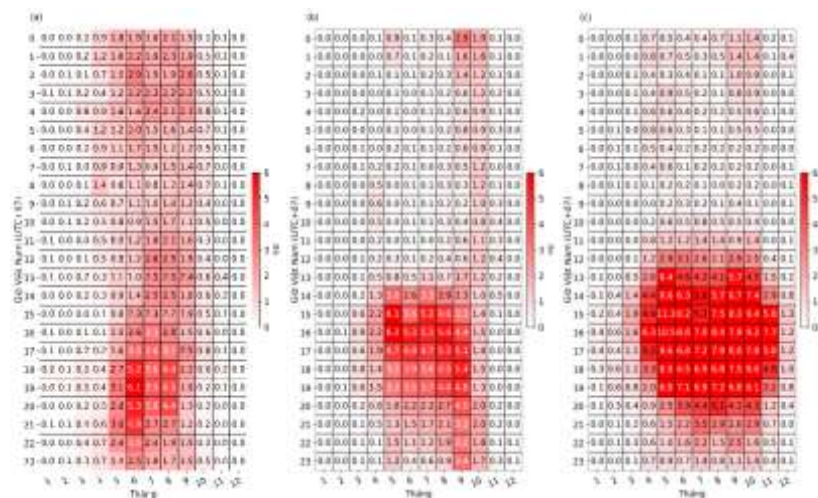
3.1.3. Phân bố đông theo giờ (Hình 4)

Phân bố đông theo giờ trong ngày ở các tháng có sự khác biệt giữa ba sân bay Nội Bài, Đà Nẵng và Tân Sơn Nhất (Hình 4). Tại sân bay Nội Bài giai đoạn từ tháng 5 đến tháng 9 tần suất đông xuất hiện rải rác ở hầu hết các khung giờ trong ngày (Hình 4a). Tuy nhiên tập trung cao nhất vào thời gian chiều tối từ 16–21 giờ Việt Nam (VNT). Vào khoảng thời gian từ 18–20 VNT các ngày trong tháng 5 xác suất xảy ra đông là cao nhất với trung bình 5–6 con/tháng tương ứng với 5–6 ngày trong tháng 5 xảy ra đông trong khung giờ này. Các tháng 11–2 rất ít các sự kiện đông xảy ra ở tất cả các khung giờ trong ngày.

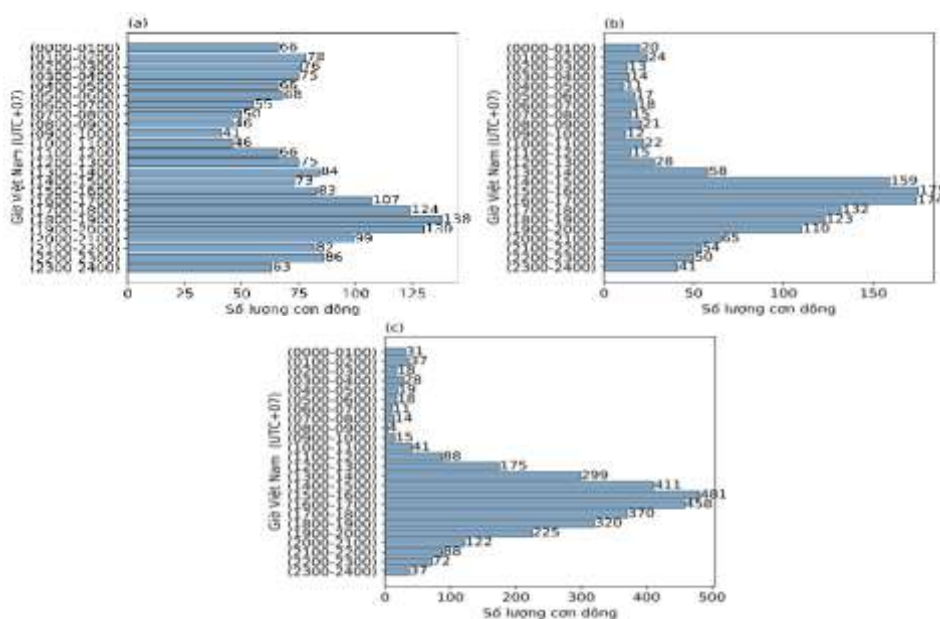
Tại sân bay Đà Nẵng (Hình 4b), đông từ tháng 4 đến tháng 8 xảy ra chủ yếu vào buổi chiều và tối từ 14–22 VNT. Đông trong tháng 9 và 10 có khả năng xảy ra ở hầu hết các khoảng thời gian trong ngày. Thời gian có xác suất xảy ra đông cao nhất với trung bình 5–7 con/tháng là khoảng 15–17 VNT từ tháng 5 đến tháng 8 và

16–18 VNT trong tháng 9. Các tháng từ tháng 11 đến tháng 3 và khoảng thời gian 00–12 VNT từ tháng 4–7 xác suất xảy ra đông ở sân bay Đà Nẵng thấp.

Tại sân bay Tân Sơn Nhất, tần suất xảy ra đông là lớn nhất trong ba sân bay (Hình 4c). Tuy nhiên phân bố đông trong ngày tập trung hơn so với hai sân bay Nội Bài và Đà Nẵng. Đông xảy ra nhiều tập trung vào khoảng thời gian vào buổi trưa, chiều và tối trong khoảng 13–20 VNT từ tháng 4–10. Tháng 11, đông ở sân bay Tân Sơn Nhất chủ yếu xảy ra vào buổi chiều từ 15–18 VNT. Tương tự xu hướng của hai sân bay Nội Bài và Đà Nẵng, tần suất xảy ra đông ở tháng 9 và tháng 10 có sự rải rác ở hầu hết các khoảng thời gian trong ngày. Khoảng thời gian từ 14–19 VNT trong tháng 5 đến tháng 10 có tần suất đông xảy ra đông lớn hơn 6 ngày/tháng, trong đó xác suất cao nhất lên đến 10–12 ngày/tháng vào khoảng thời gian từ 14–17 VNT trong tháng 5. Các tháng 1 và 2 và các giờ buổi sáng từ 00–12 VNT tháng 12 và tháng 3 tần suất xảy ra đông thấp.



Hình 4. Phân bố đông theo giờ trong ngày giữa các tháng tại sân bay Nội Bài (a), Đà Nẵng (b), và Tân Sơn Nhất (c). Đơn vị chỉ số trong hình là số cơn dông/tháng.



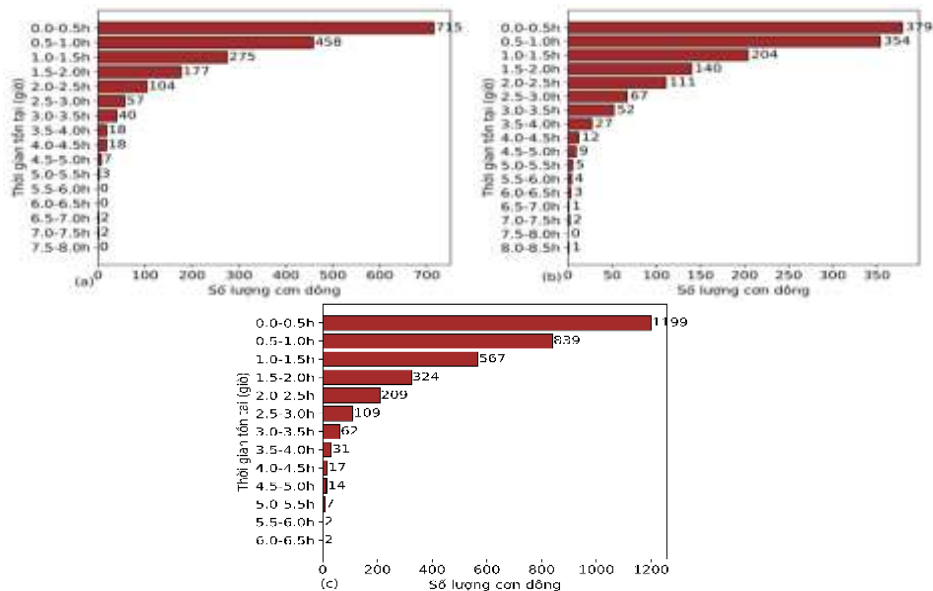
Hình 5. Phân bố thời gian xuất hiện dông trong ngày tại sân bay Nội Bài (a), Đà Nẵng (b), và Tân Sơn Nhất (c).

Nhiều nghiên cứu ở các khu vực khác nhau trên thế giới đã chỉ ra dông thường xuất hiện vào buổi chiều và buổi tối [1, 20]. Ở Việt Nam, nghiên cứu dông của nhóm tác giả Trần Tân Tiến (2008) đã chỉ ra dông thường có tần suất lớn nhất vào chiều tối đặc biệt là khoảng thời gian từ 13-19 VNT và thấp nhất lúc 7 VNT [14]. Nghiên cứu này có kết quả tương tự, Hình 5 cho thấy thời

gian bắt đầu của các cơn dông ở ba sân bay tập trung vào khoảng chiều-tối, tuy nhiên có sự khác biệt giữa ba sân bay. Tương tự phân bố thời gian dông tồn tại trong ngày, khoảng thời gian xuất hiện các cơn dông ở sân Nội Bài rải rác ở hầu hết các khung giờ trong ngày và nhiều nhất là khoảng 18-19 VNT. Ngoài ra có thể thấy có một cực đại phụ của thời gian bắt đầu các cơn dông ở

sân bay Nội Bài là vào buổi đêm gần sáng, trong khoảng từ 01-04 VNT. Tại sân bay Đà Nẵng thời gian bắt đầu xuất hiện các cơn dông tập trung vào buổi chiều tối từ 13-21 VNT, chiếm 73% số lượng cơn dông, trong đó tần suất cực đại xuất

hiện vào lúc 15-16 VNT. Tại sân bay Tân Sơn Nhất thời gian bắt đầu xuất hiện dông chủ yếu vào chiều-tối từ 12-20 VNT, chiếm 81% số lượng cơn dông với tần suất cực đại quan sát được vào lúc 15-16 VNT.



Hình 6. Phân bố thời gian tồn tại của các cơn dông tại sân bay Nội Bài (a), Đà Nẵng (b), và Tân Sơn Nhất (c).

3.1.4. Thời gian tồn tại các cơn dông

Thời gian tồn tại của mỗi cơn dông thông thường kéo dài từ vài chục phút đến vài giờ. Hình 6 cho thấy hơn 95% số lượng các cơn dông được ghi nhận ở sân bay Nội Bài và sân bay Tân Sơn Nhất có thời gian tồn tại dưới 3 giờ. Ở sân bay Đà Nẵng có 84% số cơn dông tồn tại dưới 3 giờ tính cho chuỗi thời gian 2007-2023. Nghiên cứu của Yavuz (2024) về đặc điểm dông ở sân bay Istanbul, Thổ Nhĩ Kỳ cũng chỉ ra hơn 70% dông ở đó kéo dài từ 0-3 giờ [1]. Những kết quả thống kê này phù hợp với thời gian tồn tại của một hiện tượng thời tiết quy mô vừa.

3.2. Các chỉ số nhiệt động lực và tham số tại các sân bay

Cùng với phân bố nhiệt độ và độ ẩm, độ bất ổn định của khí quyển đóng vai trò quan trọng trong quá trình xảy ra dông. Các chỉ số nhiệt động lực và tham số khí quyển được sử dụng để

đánh giá về đặc điểm môi trường khí quyển tại thời điểm nhất định. Những thông tin này rất quan trọng để hiểu được sự hình thành và phát triển của dông [1]. Trong phần này, chúng tôi tiến hành phân tích đặc điểm khoảng giá trị của 13 chỉ số nhiệt động lực và tham số của môi trường liên quan đến dông ở ba sân bay Nội Bài, Đà Nẵng, và Tân Sơn Nhất, bao gồm: PW, KI, LI, SHOW, TTI, CT, VT, CAPE, CIN, SWEAT, BRN, LCLT, và LCLP được tính trong chuỗi thời gian từ 2007-2023. Những giá trị chỉ số tính toán từ hai obs quan trắc gần sự kiện dông nhất (trước và sau) được sử dụng để phân tích đặc điểm môi trường liên quan đến dông (chủ yếu để mô tả môi trường “thuận lợi cho dông” hoặc “có dông” được sử dụng trong nghiên cứu).

3.2.1. Đánh giá điểm kỹ năng RSS

Dựa vào Bảng 2, điểm kỹ năng RSS của các chỉ số nhiệt động lực và tham số khí quyển tại ba sân bay cho thấy lượng nước khả giáng PW và

chỉ số KI có điểm kỹ năng cao ở cả ba sân bay. Điều này cho thấy sự khác biệt của lượng nước khả giáng và giá trị của chỉ số KI trong trường hợp có dông và không có dông là lớn hơn các chỉ số còn lại. Do đó chúng là những nhân tố cảnh báo/dự báo dông tốt ở cả ba sân bay. Trong đó ở sân bay Nội Bài các chỉ số có kỹ năng dự báo tốt như PW (RSS = 0,37), KI (RSS = 0,35), và LCLT (RSS = 0,32). Ở sân bay Đà Nẵng có các chỉ số như PW (RSS = 0,31), KI (RSS = 0,3), SHOW (RSS = 0,28). Tương tự, các chỉ số PW (RSS = 0,28), KI (RSS = 0,26), và LI (RSS = 0,24) là những chỉ số và tham số kỹ năng dự báo dông tốt ở sân bay Tân Sơn Nhất.

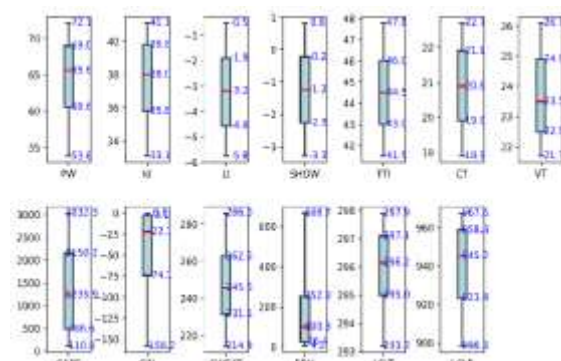
Bảng 2. Điểm kỹ năng RSS của chỉ số nhiệt động lực học và tham số khí quyển tại ba sân bay. Sắp xếp theo thứ tự từ cao đến thấp

Chỉ số	RSS-NB	Chỉ số	RSS-DN	Chỉ số	RSS-TSN
PW	0,37	PW	0,31	PW	0,28
KI	0,35	KI	0,3	KI	0,26
LCLT	0,32	SHOW	0,28	LI	0,24
SHOW	0,31	TT	0,26	LCLT	0,24
LI	0,29	LI	0,24	CAPE	0,22
BRN	0,29	CT	0,23	BRN	0,22
CAPE	0,28	CAPE	0,21	TT	0,21
CT	0,27	BRN	0,21	SHOW	0,2
TT	0,26	VT	0,2	CT	0,17
VT	0,21	SWEAT	0,2	LCLP	0,16
SWEAT	0,18	LCLT	0,18	VT	0,15
CIN	0,17	CIN	0,17	SWEAT	0,1
LCLP	0,03	LCLP	0,13	CIN	0,01

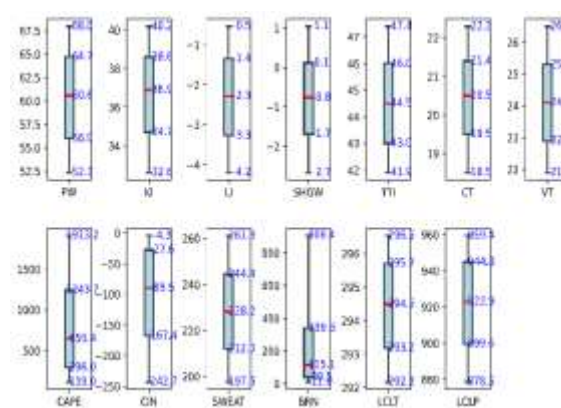
3.2.2. Giá trị của các chỉ số và tham số trong trường hợp có dông

Hình 7 biểu diễn khoảng giá trị các chỉ số nhiệt động lực và tham số trong môi trường thuận lợi cho dông ở sân bay Nội Bài cho thấy có 90% số cơn dông xảy ra với môi trường có lượng nước khả giáng $PW \geq 53,8$ mm, trong đó 80% số cơn dông xảy ra trong môi trường có lượng nước khả giáng từ 53,8 đến 72,1 mm. Với chỉ số KI, có 90% số cơn dông xảy ra trong môi trường có $KI \geq 33,1$ và 80% số cơn dông xảy ra với điều kiện môi trường có giá trị chỉ số KI nằm trong khoảng từ 33,1 đến 41,1. Tương tự có 90% số cơn dông xảy ra trong môi trường có giá trị

các chỉ số TTI, CT, VT, CAPE, CIN, SWEAT, BRN, LCLT, LCLP lớn hơn 41,5, 18,9, 21,7, 110,8, -158,2, 214,3, 4,2, 293,2 và 898,3 tương ứng. Trong đó có 80% số cơn dông xảy ra trong môi trường có khoảng giá trị các chỉ số và tham số là TTI từ 41,9-47,4; CT trong khoảng 10,5-22,3, VT trong khoảng 21,9-26,5, CAPE trong khoảng 119-1913,2, CIN trong khoảng -158,2-0, SWEAT trong khoảng 214,3-286,0, BRN trong khoảng 4,2-666,7, LCLT trong khoảng 293,2-297,9, và LCLP trong khoảng 898,3-967,6. Với hai chỉ số LI và SHOW có 90% số cơn dông xảy ra trong môi trường có chỉ số $LI \leq -0,5$ và $SHOW \leq 0,8$, trong đó 80% số cơn dông xảy ra trong môi trường có giá trị chỉ số LI trong khoảng -5,8- -0,5) và giá trị chỉ số SHOW trong khoảng -3,3-0,8.

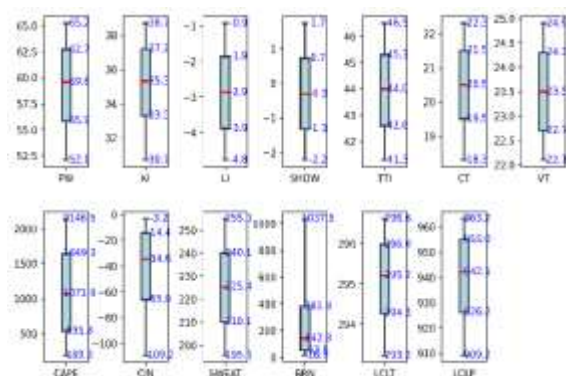


Hình 7. Biểu đồ hộp biểu diễn giá trị các chỉ số và tham số trong trường hợp có dông ở sân bay Nội Bài. Trong đó các giá trị trên biểu đồ tương ứng là phân vị 10, 25, 50, 75 và 90.



Hình 8. Tương tự Hình 7, ngoại trừ cho sân bay Đà Nẵng.

Khoảng giá trị các chỉ số và tham số trong môi trường liên quan tới dông ở sân bay Đà Nẵng cho thấy có 90% số cơn dông xảy ra với môi trường có lượng nước khả giáng $PW \geq 52,3$ mm, trong đó 80% số cơn dông xảy ra trong môi trường có PW từ 52,3 đến 68,0 mm (Hình 8). Với chỉ số KI có 90% số cơn dông xảy ra trong môi trường có $KI \geq 32,6$ và 80% số cơn dông xảy ra với điều kiện môi trường có giá trị chỉ số này nằm trong khoảng 32,6–40,2. Tương tự có 90% số cơn dông xảy ra trong môi trường có giá trị các chỉ số và tham số TTI, CT, VT, CAPE, CIN, SWEAT, BRN, LCLT, và LCLP lớn hơn 41,9, 18,5, 21,9, 119,0, -242,2, 197,6, 11,0, 292,2, và 878,3 tương ứng. Trong đó có 80% số cơn dông xảy ra trong môi trường có khoảng giá trị các chỉ số và tham số là TTI từ 41,9–47,4, CT trong khoảng 18,5–22,3, VT trong khoảng 21,9–26,5, CAPE trong khoảng 119–1913,2, CIN trong khoảng -242,2– -4,3, SWEAT trong khoảng 197,6–261,3, BRN trong khoảng 11,0–906,4, LCLT trong khoảng 292,2–296,5, và LCLP trong khoảng 878,5–959,4. Với hai chỉ số LI và SHOW có 90% số cơn dông xảy ra trong môi trường có chỉ số $LI \leq -0,5$ và $SHOW \leq 1,1$, trong đó 80% số cơn dông xảy ra trong môi trường có giá trị chỉ số LI trong khoảng -4,2– -0,5 và giá trị chỉ số SHOW trong khoảng -2,7–1,1.



Hình 9. Tương tự Hình 7, ngoại trừ cho sân bay Tân Sơn Nhất.

Ở sân bay Tân Sơn Nhất, khoảng giá trị các chỉ số và tham số trong môi trường thuận lợi cho dông được biểu diễn trong Hình 9 cho thấy: có 90% số cơn dông xảy ra với môi trường có lượng

nước khả giáng $PW \geq 52,1$ mm, trong đó 80% số cơn dông xảy ra trong môi trường có lượng nước khả giáng từ 52,1 đến 65,2 mm. Với chỉ số KI có 90% số cơn dông xảy ra trong môi trường $KI \geq 30,7$ và 80% số cơn dông xảy ra với điều kiện môi trường có giá trị chỉ số KI nằm trong khoảng 30,7–38,7. Tương tự có 90% số cơn dông xảy ra trong môi trường có giá trị các chỉ số và tham số TTI, CT, VT, CAPE, CIN, SWEAT, BRN, LCLT, và LCLP lớn hơn 41,3, 18,3, 22,1, 189,3, -109,2, 195,6, 16,5, 293,2, và 909,2 tương ứng. Trong đó có 80% số cơn dông xảy ra trong môi trường có khoảng giá trị các chỉ số và tham số là TTI từ 41,3–46,5, CT trong khoảng 18,3–22,3, VT trong khoảng 22,1–24,9, CAPE trong khoảng 189,3–2146,5, CIN trong khoảng -109,2– -3,2, SWEAT trong khoảng 195,6–255), BRN trong khoảng 16,5–1037,5, LCLT trong khoảng 293,2–296,6, và LCLP trong khoảng 909,2–963,2). Với hai chỉ số LI và SHOW có 90% số cơn dông xảy ra trong môi trường có chỉ số $LI \leq -0,9$ và $SHOW \leq 1,7$, trong đó 80% số cơn dông xảy ra trong môi trường có giá trị chỉ số LI trong khoảng -4,8– -0,9) và giá trị chỉ số SHOW trong khoảng -2,2–1,7.

Giá trị trung bình của các chỉ số và tham số PW , KI , LI , $SHOW$, TTI , CT , VT , $CAPE$, CIN , $SWEAT$, BRN , $LCLT$ và $LCLP$ trong môi trường liên quan đến dông ở ba sân bay dao động trong khoảng 59,0–64,1, 34,8–37,4, -3,0–2,3, -1,2–0,3, 43,9–44,6, 20,4–20,8, 23,5–24,1, 859,6–1441,0, -110,52–48,9, 225,3–251,6, 459,5–713,4, 294,4–295,8 và 921,4–938,8 tương ứng. Ram (2012) nghiên cứu môi trường liên quan đến dông ở sân bay Mohanbari, miền đông Ấn Độ cho thấy phạm vi giá trị trung bình của các chỉ số LI , KI , TTI , $SHOW$, và $CAPE$ trong các tháng 3-5 lần lượt là -2,0–0,7, 33,9–35,0, 46,0–49,6, -1,0–0,3 và 562,6–988,7 [21], không khác nhiều so với các kết quả thu được trong nghiên cứu này. Yavuz (2024) phân tích đặc điểm môi trường có dông ở sân bay Istanbul, Thổ Nhĩ Kỳ chỉ ra giá trị trung bình của các chỉ số SI , LI , $SWEAT$, KI , TTI , $CAPE$, CIN và BRN lần lượt là 1,9, 0,0, 159,4, 27,7, 48,4, 331,4, -63,9 và 55,9 [1], khác tương đối nhiều so với kết quả trong nghiên cứu này. Từ sự khác biệt giá trị

của các chỉ số nhiệt động lực và tham số khí quyển ở ba sân bay và các nghiên cứu tương tự cho các khu vực trên thế giới chỉ ra rằng các chỉ số có khoảng giá trị khác nhau tùy theo các khu vực địa lý. Điều này cho thấy rằng ngưỡng của các chỉ số nhiệt động lực và tham số khí quyển cần được tùy chỉnh để phù hợp với từng khu vực cụ thể.

4. Kết luận

Thông kê đặc điểm dông ở ba sân bay trong 17 năm trong giai đoạn 2007–2023 cho thấy sân bay Tân Sơn Nhất có số lượng dông lớn nhất trong ba sân bay với trung bình có 199 cơn dông/năm, 255 giờ dông/năm và 140 ngày dông/năm. Sau đó là sân bay Nội Bài với trung bình 110 cơn dông/năm, 141 giờ dông/năm và 71 ngày dông/năm. Sân bay Đà Nẵng có số lượng dông ít nhất với trung bình 81 cơn dông/năm, 123 giờ dông/năm và 63 ngày dông/năm. Mùa dông của ba sân bay tập trung chủ yếu từ tháng 4 đến tháng 10. Trong đó sân bay Nội Bài mùa dông từ tháng 5 đến tháng 9 (hơn 80% số cơn dông), sân bay Đà Nẵng mùa dông từ tháng 4 đến tháng 9 (hơn 85% số cơn dông) và sân bay Tân Sơn Nhất mùa dông từ tháng 5 đến tháng 10 (hơn 75% số cơn dông). Dông ở sân bay Nội Bài có tần suất xuất hiện rải rác vào các khung giờ trong ngày. Ở sân bay Đà Nẵng và sân bay Tân Sơn Nhất dông chủ yếu xảy ra vào buổi chiều và buổi tối trong đó sân bay Đà Nẵng khoảng từ 13–21 h VNT (71% số cơn dông), sân bay Tân Sơn Nhất khoảng từ 12–20 VNT (81% số cơn dông). Thời gian tồn tại của các cơn dông ở cả ba sân bay hầu hết kéo dài từ vài chục phút đến vài tiếng, với hơn 95% số cơn dông ở sân bay Nội Bài, sân bay Tân Sơn Nhất và 84% số cơn dông ở sân bay Đà Nẵng có độ dài dưới 3 giờ.

Dựa vào điểm kỹ năng RSS có thể thấy lượng nước khả giáng và chỉ số KI là hai nhân tố dự báo/cảnh báo tốt cho dông ở cả ba sân bay. Phân tích khoảng giá trị các chỉ số nhiệt động lực học và tham số khí quyển trong môi trường có dông cho thấy có sự khác biệt giữa các sân bay.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được thực hiện với sự hỗ trợ từ Chương trình học bổng đào tạo thạc sĩ, tiến sĩ trong nước của Quỹ Đổi mới sáng tạo Vingroup (VINIF), mã số VINIF.2024.ThS.43.

Tài liệu tham khảo

- [1] V. Yavuz, Performance Analyzes of Thermodynamic Indices and Atmospheric Parameters in Thunderstorm and Non-thunderstorm Days in Istanbul, Turkey, *Pure and Applied Geophysics*, Vol. 181, No. 7, 2024, pp. 2297-2316, <https://doi.org/10.1007/s00024-024-03521-0>.
- [2] M. Taszarek, J. Allen, T. Púčik, P. Groenemeijer, B. Czernecki, L. Kolendowicz, K. Lagouvardos, V. Kotroni, W. Schulz, A Climatology of Thunderstorms across Europe from a Synthesis of Multiple Data Sources, *Journal of Climate*, Vol. 32, No. 6, 2019, pp. 1813-1837, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-18-0372.1>.
- [3] O. Kolay, B. Efe, E. T. Özdemir, Z. Aslan, A Multi-Year Investigation of Thunderstorm Activity at Istanbul International Airport Using Atmospheric Stability Indices, *Atmosphere*, Vol. 16, No. 4, 2025, pp. 470, <https://doi.org/10.3390/atmos16040470>.
- [4] R. H. Johns, C. A. Doswell III, Severe Local Storms Forecasting, *Weather and Forecasting*, Vol. 7, No. 4, 1992, pp. 588-612, [https://doi.org/10.1175/1520-0434\(1992\)007<0588:SLSF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0434(1992)007<0588:SLSF>2.0.CO;2).
- [5] K. Arora, K. Ray, S. Ram, R. Mehajan, The Role of Instability Indices in Forecasting Thunderstorm and Non-thunderstorm Days Across Six Cities in India, *Climate*, Vol. 11, No. 1, 2023, pp. 14, <https://doi.org/10.3390/cli11010014>.
- [6] R. Stull, Chapter 14 Thunderstorm Fundamentals, *Practical Meteorology: An Algebra-based Survey of Atmospheric Science*, (v1.02b), Department of Earth, Ocean & Atmospheric Sciences, University of British Columbia, Vancouver, BC, 2017, pp. 481-544.
- [7] R. Ahmed, M. Latif, S. Adnan, M. K. Abuzar, Thunderstorm Frequency Distribution and Associated Convective Mechanisms over Pakistan, *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 137, 2019, pp. 755-773, <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2619-x>.

- [8] R. Ma, J. Sun, X. Yang, An Eight-year Climatology of the Warm-season Severe Thunderstorm Environments over North China, *Atmospheric Research*, Vol. 254, 2021, pp. 105519, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105519>.
- [9] V. Yavuz et al., Long-term Thunderstorm Analysis at Airports in the Marmara Region: Types and Favourable Atmospheric Conditions, *International Journal of Global Warming*, Vol. 28, No. 1, 2022, pp. 81-95, <https://doi.org/10.1504/IJGW.2022.125083>.
- [10] S. Pandit, S. Mishra, A. Mittal, A. Kumar Devrani, Nowcasting Severity of Thunderstorm Associated with Strong wind Flow over Indian Subcontinent: Resource Lightning Surge, *Atmósfera*, Vol. 37, 2023, pp. 85-98, <https://doi.org/10.20937/atm.53042>.
- [11] A. J. Haklander, A. Van Delden, Thunderstorm Predictors and their Forecast Skill for the Netherlands, *Atmospheric Research*, Vol. 67, 2003, pp. 273-299, [https://doi.org/10.1016/S0169-8095\(03\)00056-5](https://doi.org/10.1016/S0169-8095(03)00056-5).
- [12] U. Mondal, A. Kumar, S. K. Panda, D. Sharma, S. Das, Comprehensive Study of Thunderstorm Indices Threshold Favorable for Thunderstorms During Monsoon Season Using WRF-ARW Model and ERA5 over India, *Geoenvironmental Disasters*, Vol. 11, No. 1, 2024, pp. 13, <https://doi.org/10.1186/s40677-023-00262-5>.
- [13] B. K. Kanaujiya, C. Singh, Bhawna, A Climatological Study of Thunderstorm Days without Rainfall at IGI Airport during the Monsoon Season, *Journal of Earth System Science*, Vol. 133, No. 4, 2024, pp. 204, <https://doi.org/10.1007/s12040-024-02416-x>.
- [14] T. T. Tien, N. K. Linh, C. Thanh, L. Q. Huy, D. T. H. Dzung, Thunderstorm Forecast Technique for Noi Bai Airport, *VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences*, Vol. 24, No. 3, 2008, pp. 125-132, <https://js.vnu.edu.vn/EES/article/view/2217>.
- [15] N. D. Ngu, N. T. Hieu, Climate and Climatic Resources of Vietnam, Science and Engineering, Ha Noi, 2013 (in Vietnamese).
- [16] N. T. Hung, Revision and Addition of Regulations on the Release of Radiosonde Ballon, Air Navigation Department, 2018 (in Vietnamese).
- [17] T. C. Nelson, J. Marquis, A. Varble, K. Friedrich, Radiosonde Observations of Environments Supporting Deep Moist Convection Initiation during RELAMPAGO-CACTI, *Monthly Weather Review*, Vol. 149, No. 1, 2021, pp. 289-309, <https://doi.org/10.1175/MWR-D-20-0148.1>.
- [18] R. K. Sahu, J. Dadich, B. Tyagi, N. K. Vissa, Evaluating The Impact of Climate Change in Threshold Values of Thermodynamic Indices During Pre-monsoon Thunderstorm Season over Eastern India, *Natural Hazards*, Vol. 102, 2020, pp. 1541-1569, <https://doi.org/10.1007/s11069-020-03978-x>.
- [19] M.V. Khiem, T. K. Laurila, L. P. Hoang, D. D. Tien, A. Mäkelä, S. Kiesiläinen, Thunderstorm Activity and Extremes in Vietnam for the Period 2015-2019, *Climate*, Vol. 10, 2020, pp. 141, <https://doi.org/10.3390/cli10100141>.
- [20] R. Phukan, S. Singh, D. Saha, An Objective Method for Forecasting Thunderstorms Over Agartala Using Stability Indices, *MAUSAM*, Vol. 73, No. 3, 2022, pp. 710-716.
- [21] R. Ram, R. Verma, U. Singh, G. Raha, Threshold Values of Various Indices of Thunder Storms during Pre-monsoon over Mohanbaria, *Mausam*, Vol. 63, No. 2, 2012, pp. 326-330, <https://doi.org/10.54302/mausam.v63i2.1430>.