



## AN ALGORITHM FOR MIST AND FOG FORECASTING FOR NOIBAI INTERNATIONAL AIRPORT

Le Thi Viet Ha, Hoang Nam Binh\*, Tran Thu Phuong

University of Transport and Communications, No 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam

### ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 25/01/2021

Revised: 18/03/2021

Accepted: 29/03/2021

Published online: 15/04/2021

<https://doi.org/10.47869/tcsj.72.3.9>

\* *Corresponding author*

Email: binhhn@utc.edu.vn

**Abstract.** Mist or fog is a product of water vapor condensation in the air at or near Earth's surface limiting visibility, reducing visibility to less than 4,000 meters (mist) or 1,000 meters (fog). They are severe weather phenomenon and work in small or medium areas. Mist and fog conditions have potential negative impact on several economic activities, such as agriculture, marine, etc. and especially aviation operations. They are the limiting factor in aviation and can delay a flight or to cause the flight to divert to the planned destination airport. Therefore, the visibility forecasting is very important in aviation to ensure flight safety. This article presents an algorithm for fog and mist forecasting before 24 hours at Noibai International Airport, Hanoi, Vietnam by regression and classification method. Forecasting algorithm depends on the indexes FSI (Fog Stability Index), Fog Threat (Fog Potential), Fog Point (Fog formation temperature) and the thermal inversions layer at 1000 - 800 millibar level (sea level to near 1,500 meters). The forecasting model includes two regression equations combining other conditions. The results show that the forecasting model has good quality for the mist but not good for the fog phenomenon.

**Keywords:** Fog forecasting, Fog Index, Regression, Classification, Noibai international airport.



## THIẾT LẬP MỘT THUẬT TOÁN DỰ BÁO MÙ VÀ SƯƠNG MÙ CHO KHU VỰC SÂN BAY QUỐC TẾ NỘI BÀI

Lê Thị Việt Hà, Hoàng Nam Bình\*, Trần Thu Phương

Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 3 Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

### THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 25/01/2021

Ngày nhận bài sửa: 18/03/2021

Ngày chấp nhận đăng: 29/03/2021

Ngày xuất bản Online: 15/04/2021

<https://doi.org/10.47869/tcsj.72.3.9>

\* Tác giả liên hệ

Email: binhhn@utc.edu.vn

**Tóm tắt.** Hiện tượng mù và sương mù là sản phẩm ngưng kết hơi nước trong lớp không khí sát mặt đất làm giảm tầm nhìn ngang xuống dưới 4000m (mù) hoặc 1000m (sương mù). Đây là hiện tượng thời tiết nguy hiểm có quy mô vừa và nhỏ, ảnh hưởng xấu đến nhiều lĩnh vực, đặc biệt là lĩnh vực hàng không. Nếu tầm nhìn ngang dưới giá trị khai thác tối thiểu, các chuyến bay phải hoãn lại việc cất cánh, hoặc bay chờ trong khoảng thời gian nhất định cho đến khi tầm nhìn đạt hoặc vượt ngưỡng khai thác tối thiểu để hạ cánh, hoặc quyết định chuyển sang sân bay dự bị. Do đó, công tác dự báo tầm nhìn ngang là rất cần thiết nhằm đảm bảo an toàn khai thác bay. Bài báo trình bày một thuật toán dự báo mù và sương mù trước 24 giờ cho khu vực sân bay quốc tế Nội Bài bằng phương pháp hồi quy và phân lớp. Thuật toán dự báo phụ thuộc các chỉ số FSI (Fog Stability Index), Fog Threat (Fog Potential), Fog Point (Fog formation temperature) và lớp nghịch nhiệt ở độ cao 1000 - 800mb tương ứng cao độ từ sát bề mặt đến độ cao khoảng 1500m. Thuật toán dự báo được thiết lập với hệ 2 phương trình hồi quy kết hợp một số điều kiện khác. Phân tích thống kê kết quả dự báo cho thấy mô hình có khả năng dự báo tốt hiện tượng có mù hoặc không mù nhưng chưa dự báo tốt hiện tượng sương mù.

**Từ khóa:** Dự báo sương mù, Chỉ số sương mù, Phương pháp hồi quy, Phương pháp phân lớp, Sân bay quốc tế Nội Bài.

© 2021 Trường Đại học Giao thông vận tải

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cảng hàng không quốc tế Nội Bài là một trong những cảng hàng không lớn và quan trọng nhất Việt Nam với hàng trăm lượt chuyến nội địa và quốc tế cất hạ cánh trung bình mỗi ngày.

Tuy nhiên, tình trạng sân bay bị "tê liệt" do ảnh hưởng của hoạt động mù, sương mù và mây thấp, đặc biệt trong các tháng mùa đông, gây không ít thiệt hại cho các hãng hàng không cũng như hành khách. Thông tư Quy định về khí tượng hàng không dân dụng [1] đã quy định rõ thời gian thực hiện quan trắc và báo cáo thời tiết (Điều 4), các nội dung quan trắc và báo cáo (Điều 5). Ngoài ra, Thông tư còn quy định trách nhiệm của cơ sở cung cấp dịch vụ khí tượng tại cảng hàng không quốc tế phải thực hiện các bản tin dự báo, cảnh báo thời tiết phục vụ khai thác bay như dự báo hạ cánh, dự báo cất cánh, dự báo thời tiết trên đường bay và khu vực bay, cảnh báo các điều kiện thời tiết nguy hiểm đến tàu bay... trong đó có hiện tượng mù, sương mù và mây thấp. Nhằm đảm bảo an toàn cho hoạt động khai thác bay, nhất là sau một số sự cố hàng không liên quan đến hiện tượng thời tiết nguy hiểm, Cục Hàng không Việt Nam đã ban hành Chỉ thị về Đảm bảo an toàn bay [2]. Chỉ thị nêu rõ quy định bắt buộc xác định ít nhất 01 sân bay dự bị hạ cánh khi lập kế hoạch bay. Nếu điều kiện thời tiết phức tạp như sương mù dày đặc trên diện rộng thì phải chọn thêm sân bay dự bị thứ 2 nằm ngoài vùng ảnh hưởng của khu vực thời tiết nguy hiểm. Chỉ thị cũng yêu cầu các cơ sở cung cấp dịch vụ khí tượng cảng hàng không quốc tế Nội Bài, Đà Nẵng, Tân Sơn Nhất có trách nhiệm phát bản tin dự báo thời tiết tại cảng hàng không, sân bay (TAF) và bản tin dự báo thời tiết tại cảng hàng không, sân bay được bổ sung (TAF AMD) cho các sân bay tương ứng, hiệu lực 24 giờ. Bên cạnh đó, các cảng hàng không quốc tế phải chấp hành nghiêm các quy định về tiêu chuẩn thời tiết tối thiểu đối với tàu bay và tổ lái. Xây dựng hướng dẫn hành động ứng phó của kiểm soát viên trong trường hợp thời tiết xuống dưới tiêu chuẩn tại sân bay để bổ sung vào tài liệu hướng dẫn khai thác của đài kiểm soát không lưu và nâng cao chất lượng bản tin cảnh báo thời tiết nguy hiểm trên đường bay.

Mù, sương mù và mây thấp là một trong những hiện tượng thời tiết nguy hiểm ảnh hưởng xấu đến nhiều lĩnh vực (Ví dụ: đối với nông nghiệp: ảnh hưởng đến sự quang hợp của cây trồng; đối với giao thông: ảnh hưởng tầm nhìn...). Mù và sương mù là sản phẩm ngưng kết hơi nước trong khí quyển tạo thành những giọt nước nhỏ li ti hoặc những tinh thể băng có kích thước vô cùng bé bay lơ lửng trong lớp không khí ngay sát mặt đất gây giảm tầm nhìn ngang. Tầm nhìn ngang khí tượng, tầm nhìn ngang đường cất cánh và hạ cánh là vô cùng quan trọng đối với an toàn hàng không cũng như hiệu quả kinh tế. Khi tầm nhìn ngang xuống dưới 4000m được gọi là hiện tượng mù và dưới 1000m là sương mù [3][4]. Sương mù ở Việt Nam thường xuất hiện từ các tháng cuối thu (tháng XI) cho đến cuối xuân (tháng IV), nhiều và mạnh nhất diễn ra trong các tháng mùa đông [5]. Khu vực ven biển Bắc Bộ, thời gian sương mù ảnh hưởng nhiều nhất là các tháng XII, I, II và III [6].

Sương mù được hình thành bởi 04 nguyên nhân chính [3]: (1) Nước nóng bốc hơi vào không khí lạnh hơn; (2) Hai khối không khí gần bão hòa có nhiệt độ khác nhau hòa trộn lẫn nhau; (3) Lớp không khí sát mặt đất lạnh đi do ảnh hưởng của mặt đệm lạnh; và (4) Không khí ẩm lạnh đi đoạn nhiệt do khí áp giảm. Căn cứ các nguyên nhân hình thành, sương mù được phân thành 06 loại gồm (1) Sương mù bốc hơi; (2) Sương mù hỗn hợp; (3) Sương mù bức xạ; (4) Sương mù bình lưu; (5) Sương mù sườn dốc; và (6) Sương mù front. Phương pháp dự báo hiện tượng này có thể được sử dụng là mô hình số trị [6] hoặc sử dụng phương pháp thống kê các hình thể synop [5] trên cơ sở nguyên nhân hình thành. Vì sương mù là hiện tượng có quy mô vừa và nhỏ nên việc dự báo cho một địa điểm cụ thể bằng phương pháp synop thường gặp nhiều khó khăn do không thể đánh giá được hết các yếu tố ảnh hưởng của điều kiện địa phương. Để dự báo chính xác hiện tượng, bên cạnh phương pháp synop cần có phương pháp định lượng bổ sung. Một trong những phương pháp có khả năng đáp ứng được yêu cầu đó là phương pháp thống kê.

Dự báo mù và sương mù được các nhà khoa học trong nước quan tâm nghiên cứu từ

những năm 60 của thế kỷ XX. Theo Phan Văn Tân [5], Đặng Trần Duy và cs. thực hiện nghiên cứu trên cơ sở chuỗi số liệu từ 1960 - 1966 của trạm Cò Tô để xây dựng những đặc trưng thống kê về sự xuất hiện mù và sương mù với các yếu tố như nhiệt độ, nhiệt độ điểm sương, độ ẩm, hướng gió và tốc độ gió. Trần Tân Tiến [6] xây dựng phương pháp dự báo sương mù bức xạ - bình lưu trên cơ sở giải hệ phương trình nhập nhiệt, vận chuyển nước và hơi nước. Kết quả nghiên cứu cho thấy mô hình dự báo có khả năng ứng dụng trong nghiệp vụ. Theo [5], Kiều Thị Xin đã sử dụng chuỗi số liệu từ năm 1961 đến 1981 của 3 trạm khí tượng ven biển Bắc Bộ xác định các đặc trưng thống kê để dự báo mù và sương mù. Nghiên cứu đưa ra nhận định hiện tượng mù và sương mù khu vực ven biển Bắc Bộ xuất hiện vào các tháng XII - III hàng năm và nhiều nhất là tháng III. Phan Văn Tân [5] nghiên cứu đặc điểm chế độ và phương pháp thống kê dự báo sương mù khu vực biển và ven bờ Vịnh Bắc Bộ. Nghiên cứu đã đưa ra bộ tiêu chí để áp dụng trong nghiệp vụ dự báo mù và sương mù. Các tiêu chí gồm thời gian xuất hiện sương mù trong năm cực đại vào tháng III, có thể kéo dài 1 ÷ 2 ngày; thời điểm xuất hiện sương mù trong ngày là 6 ÷ 8 giờ hoặc 19 ÷ 20 giờ. Ngoài ra, tác giả còn thống kê đặc điểm nhiệt độ, nhiệt độ điểm sương, độ ẩm, hướng gió, tốc độ gió và lượng mây trước và trong thời điểm xuất hiện sương mù. Nguyễn Xuân Tiến và cs. [7] nghiên cứu hoạt động sương mù, mưa nhỏ bằng phương pháp thống kê synop và đánh giá tác động của chúng tới điều kiện sinh trưởng của cây nông nghiệp ở khu vực Bắc Trung Bộ.

Trên thế giới, việc nghiên cứu dự báo sương mù cũng rất được quan tâm. Các mô hình số trị sử dụng trong dự báo hiện tượng thời tiết có thể kể đến như NWP (Numerical Weather Prediction) [8], HIRLAM (High Resolution Limited Area Model) [9] hay WRF (Weather Research and Forecasting Model) [10]. Các mô hình số trị trên được ứng dụng dự báo sương mù ở các quốc gia như Anh, Mỹ, Tây Ban Nha, Đan Mạch, Phần Lan, Hàn Quốc... Kết quả dự báo từ mô hình đều được thực hiện kiểm chứng với các chỉ số dự báo sương mù như FSI (Fog Stability Index). FSI là chỉ số được phát triển bởi cơ quan dự báo thời tiết Mỹ. Cho đến nay, phương pháp dự báo sương mù bằng chỉ số FSI được nhiều tác giả trên thế giới nghiên cứu và áp dụng, như Arun và cs. [11] dự báo cho khu vực Indo-Gangetic (Ấn Độ), Karel và cs. [12] dự báo dựa trên số liệu 2 trạm Praha-Libus và Brno Sokolnice (Cộng hòa Séc), Song và cs. [13] phát triển chỉ số FSI dự báo cho sân bay Incheon (Hàn Quốc), Holtslag và cs. [14] thực hiện tối ưu hóa chỉ số từ số liệu 12 trạm khí tượng ở Hà Lan. Bên cạnh đó, một số nghiên cứu khác đã đề xuất công thức dự báo dựa trên chuỗi số liệu thống kê như công thức của Stoelinga và Warner [15] phụ thuộc vào mật độ hơi nước; công thức RUC (Rapid Update Cycle) được phát triển bởi Cơ quan Quản lý Khí quyển và Đại dương Quốc gia Hoa Kỳ (NOAA) [10] phụ thuộc vào độ ẩm tương đối; công thức FSL (Forecast Systems Laboratory) [16] phụ thuộc vào nhiệt độ bề mặt, nhiệt độ điểm sương và độ ẩm tương đối.

Sự hình thành và phát triển sương mù là tổ hợp sự tương tác lớp bề mặt, mặt biển và lớp không khí gần bề mặt. Phương pháp dự báo sương mù bình lưu truyền thống cho các vùng ven biển là dựa vào hướng gió, nhưng áp dụng cho sương mù bức xạ hay sương mù địa hình thì gặp nhiều hạn chế. Hầu hết các nghiên cứu đều chỉ ra rằng việc dự báo sương mù không chỉ dựa vào điều kiện bề mặt mà còn phụ thuộc các điều kiện ở cao độ khác nhau như tốc độ xáo trộn, nhiệt độ không khí và điểm sương trong lớp 0 - 1000m; độ ẩm riêng; gradient nhiệt độ thẳng đứng và nhiều yếu tố khác [5][6].

Bài báo giới thiệu một thuật toán dự báo mà trong đó các nhân tố sử dụng thể hiện ý nghĩa vật lý và các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình hình thành mù và sương mù. Các nhân tố đó là tổ hợp đại lượng quan trắc khí tượng thông thường nhằm đưa ra kết quả dự báo có độ tin cậy tốt cho khu vực sân bay quốc tế Nội Bài - Hà Nội.

## 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Nghiên cứu lựa chọn phương pháp thống kê để xây dựng phương trình tương quan và xác định các ngưỡng dự báo bằng phương pháp phân lớp. Đây là phương pháp được nhiều nghiên cứu ứng dụng dựa trên tập cơ sở dữ liệu lớn và ưu thế về tốc độ xử lý tính toán [17]. Phương trình hồi quy tổng quát có dạng:

$$F = C_0 + C_1x_1 + C_2x_2 + \dots + C_nx_n \quad (1)$$

Trong đó:  $C_i$  - hệ số của phương trình hồi quy;  $x_i$  - biến phụ thuộc là các nhân tố dự báo.

Các hệ số  $C_i$  ( $i = 0 \div n$ ) được tìm bằng phương pháp hồi quy tuyến tính đa biến từ tập số liệu quan trắc là mối liên hệ giữa trường số liệu thiên khí và dữ liệu quan trắc tầm nhìn. Số liệu quan trắc tầm nhìn được thu thập từ mã METAR (METeorological Aerodrome Reports). Bản tin METAR của sân bay Nội Bài được phát liên tục 24h/24h với tần suất 30 phút/lần tương ứng 48 phiên quan trắc (ốp) mỗi ngày. Độ dài chuỗi 10 năm quan trắc (2010 - 2019) là 175.296 phần tử. Số liệu quan trắc được thu thập từ website của trường Đại học Wyoming (Mỹ) tại địa chỉ <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html> với các phiên quan trắc (ốp) 00h00 và 12h00 từ 2010 đến 2019 và được xử lý tính toán thông qua phần mềm RAOB (RAwinsonde OBServation program).

Các nhân tố dự báo là các chỉ số liên quan chặt chẽ đến sự hình thành và phát triển sương mù: FSI, Fog Point và Fog Threat.

- FSI (Fog Stability Index) là chỉ số được sử dụng khá phổ biến. Chỉ số này là tổ hợp tuyến tính của các yếu tố khí tượng trong lớp khí quyển sát bề mặt đến mực 850mb:  $T_{2m}$  (nhiệt độ tại độ cao 2m, °C),  $T_{850}$  (nhiệt độ tại mực 850mb, °C),  $T_{d2m}$  (nhiệt độ điểm sương tại độ cao 2m, °C) và  $W_{850}$  (tốc độ gió tại mực 850mb, knot, 1knots = 1,852km/h). FSI được xác định theo công thức [14][18]:

$$FSI = 4T_{2m} - 2(T_{850} + T_{d2m}) + W_{850} \quad (2)$$

Theo [14], khi  $FSI < 31$  thì xác suất xuất hiện sương mù là cao; khi  $31 < FSI < 55$  thì xác suất là trung bình và khi  $FSI > 55$  thì khả năng xuất hiện sương mù là thấp. Chỉ số FSI biểu thị khả năng xuất hiện sương mù càng cao khi có độ ẩm càng lớn ( $T_{2m} - T_{d2m}$  càng nhỏ), khí quyển ổn định ( $T_{2m} - T_{850}$  nhỏ) và tốc độ gió nhỏ tại mực 850mb ( $W_{850}$  nhỏ). Chỉ số này có thể đánh giá được sự hình thành sương mù bức xạ.

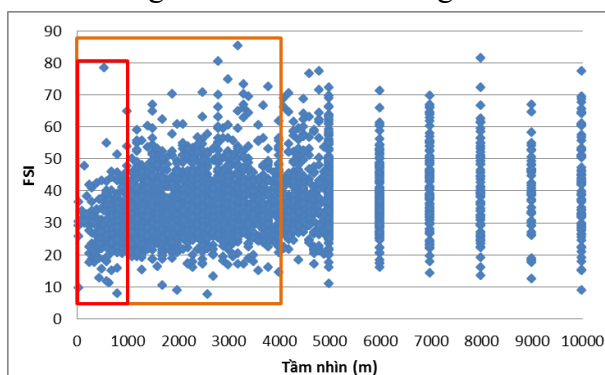
Số liệu thống kê thu thập tại trạm quan trắc Nội Bài (Hình 1) cho thấy khi  $FSI < 31$  thì chỉ có 15,3% khả năng xuất hiện sương mù, khi  $31 \leq FSI < 55$  thì khả năng đó là 5,9%. Trường hợp  $FSI \geq 55$  thì khả năng xuất hiện sương mù là thấp và khả năng xuất hiện giá trị tầm nhìn ngang trên 4000m là 63,53%. Như vậy khả năng dự báo sương mù của chỉ số FSI cho khu vực Nội Bài là không cao nhưng lại hữu hiệu trong việc dự báo không có hiện tượng sương mù.

- Fog Point (FGP) là chỉ số biểu thị nhiệt độ hình thành sương mù. Chỉ số này được xác định căn cứ theo đường tỷ lệ giữa khối lượng hơi nước với khối lượng không khí khô trong khối không khí bão hòa từ đường cong nhiệt độ điểm sương tại mực ngưng kết nâng (LCL - Lifting condensation level) đến bề mặt [18]. Chỉ số này có thể đánh giá được sự hình thành sương mù bốc hơi. Hình 2 cho thấy giá trị Fog Point khu vực Nội Bài dao động từ -30 đến 30°C. Khi  $FGP < 2$  hoặc  $FGP > 28$  thì không có khả năng hình thành sương mù.

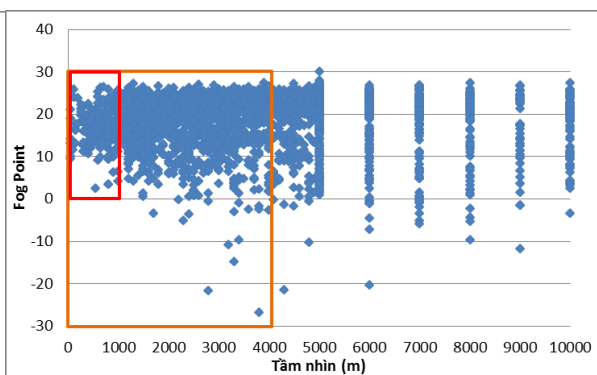
- Fog Threat (FGT) là chỉ số biểu thị sương mù tiềm năng, xác định theo công thức [18]:

$$FGT = WBPT_{850} - FGP \quad (3)$$

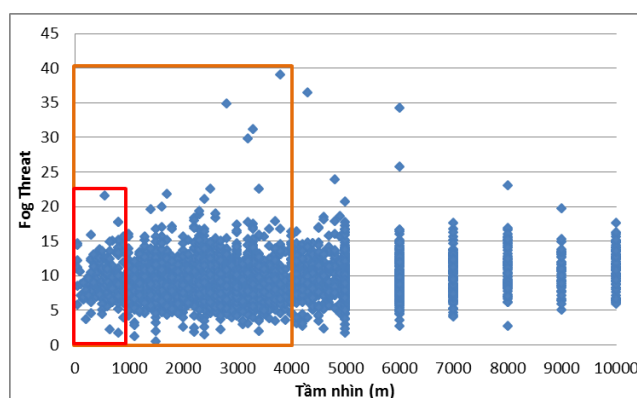
Trong đó,  $WBPT_{850}$  là nhiệt độ thế vị bầu ẩm mực 850mb. Đại lượng biểu thị nhiệt độ thấp nhất tiềm năng mà không khí có thể bị làm lạnh bởi quá trình bốc hơi ở mực 850mb ( $WBPT_{850} = 850\text{mb}$  wet bulb potential temperature). Chỉ số này có liên quan đến sự hình thành sương mù bình lưu và sương mù front.



Hình 1. Phân bố chỉ số FSI và giá trị tầm nhìn tại trạm quan trắc Nội Bài.



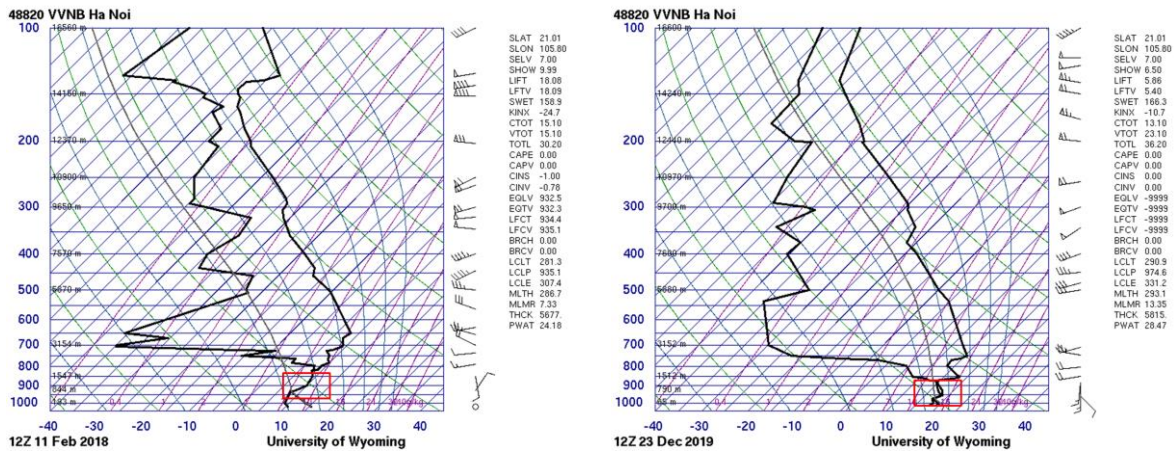
Hình 2. Phân bố chỉ số Fog Point và giá trị tầm nhìn tại trạm quan trắc Nội Bài.



Hình 3. Phân bố chỉ số Fog Threat và giá trị tầm nhìn tại trạm quan trắc Nội Bài.

Theo [18], khi  $FGT > 3$  thì xác suất xuất hiện sương mù là thấp vì nhiệt độ ngưng tụ tiềm năng vượt ngưỡng nhiệt độ hình thành sương mù; khi  $0 < FGT < 3$  thì xác suất là trung bình và khi  $FGT < 0$  thì khả năng xuất hiện sương mù là lớn. Dữ liệu Fog Threat tại trạm quan trắc Nội Bài (Hình 3) cho thấy giá trị này luôn không âm và do đó ngưỡng dự báo theo [18] không phù hợp đối với vùng nghiên cứu. Tuy nhiên khi  $FGT < 16$  thì có khả năng xuất hiện sương mù và  $FGT \geq 16$  thì khả năng xuất hiện sương mù là rất thấp (2,6%).

Ngoài ra, quá trình lạnh đi của khối không khí nóng ẩm sát bề mặt lan truyền lên những lớp không khí cao hơn sẽ tạo thành lớp nghịch nhiệt có thể lên tới mực 800mb (gần 1500m so với mực nước biển) và có thể tạo thành sương mù bình lưu [3] (ví dụ thời điểm 12h00 ngày 23/12/2019 - Hình 4b). Do đó nghiên cứu lựa chọn thêm chỉ số nghịch nhiệt (Thermal inversion - TIN). Chỉ số này được xác định bằng giản đồ thiên khí (Hình 4), TIN = 1 nếu tồn tại lớp nghịch nhiệt trong khoảng 1000 - 800mb và ngược lại TIN = 0. Tuy nhiên cũng có nhiều thời điểm xuất hiện lớp nghịch nhiệt nhưng quan trắc trong 24 giờ tiếp theo không xuất hiện sương mù (ví dụ thời điểm 12h00 ngày 11/2/2018 - Hình 4a), thậm chí tầm nhìn ngang đạt giá trị trên 10km.



a) Thời điểm 12h00 ngày 11/2/2018

b) Thời điểm 12h00 ngày 23/12/2019

Hình 4. Giảm đồ thiên khí Skew-T tại trạm quan trắc Nội Bài.

trích xuất tại địa chỉ <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>.

Như vậy, kết hợp các nhân tố dự báo FSI, Fog Threat (FGT), Fog Point (FGP) và Thermal inversion (TIN) có thể dự báo được sự xuất hiện mù và sương mù khu vực nghiên cứu. Với 4 nhân tố dự báo được lựa chọn, phương trình (1) được viết lại như sau:

$$F = C_0 + C_1FSI + C_2FGT + C_3FGP + C_4TIN \quad (4)$$

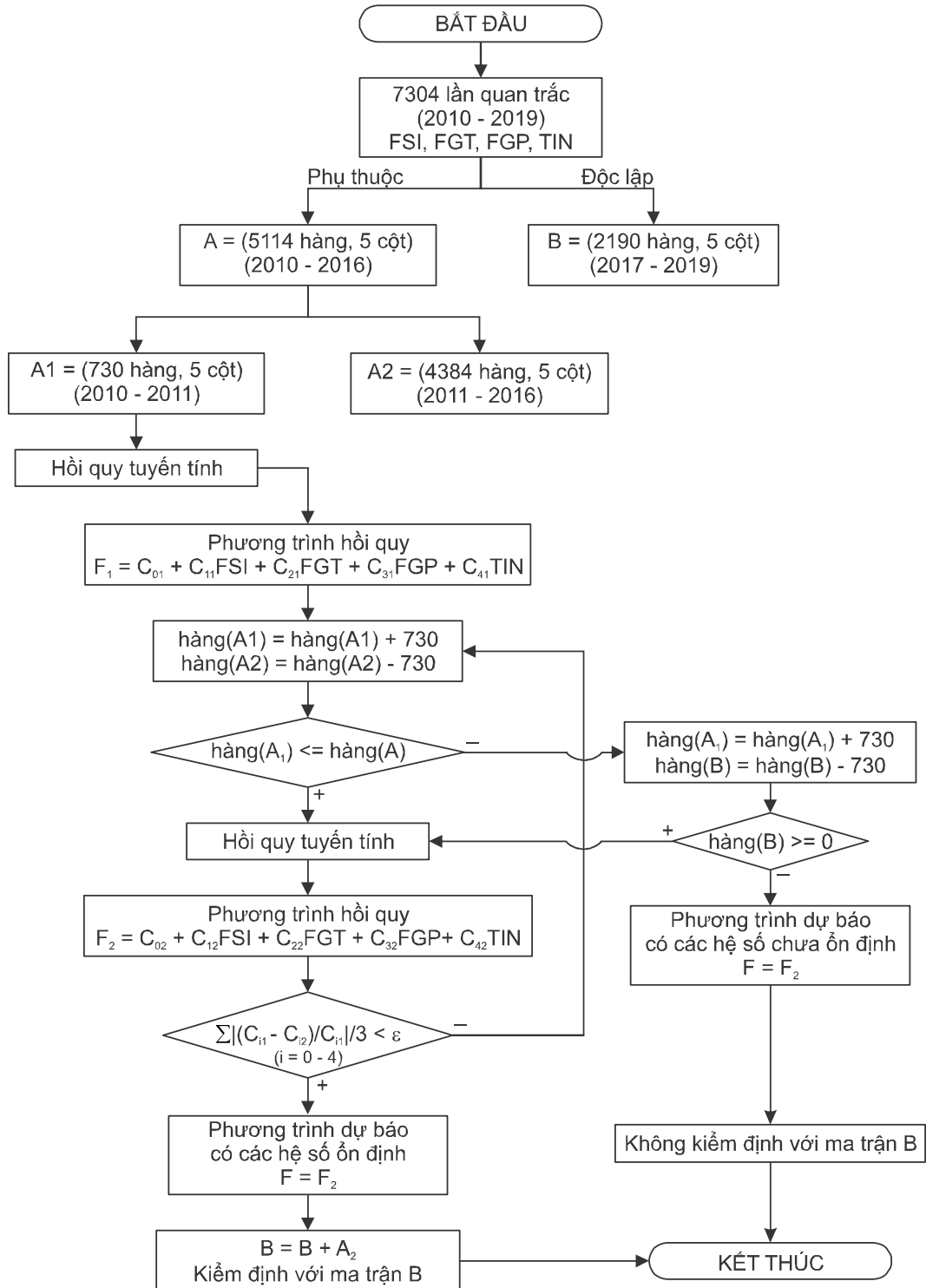
Bộ dữ liệu được lập thành ma trận 5 cột gồm 4 nhân tố dự báo (FSI, FGT, FGP và TIN) và 1 yếu tố dự báo (tầm nhìn). Tại mỗi thời điểm 00h00 hoặc 12h00 của số liệu quan trắc thám không, nếu 24 giờ sau đó ở bản tin METAR xuất hiện giá trị tầm nhìn dưới 4000m (mù) thì yếu tố dự báo mang giá trị "0,5", dưới 1000m (sương mù) mang giá trị 1,0 và trên 4000m mang giá trị "0". Như vậy, dữ liệu được xử lý thành ma trận kích thước (7304 hàng, 5 cột) dùng để xác định các hệ số trong phương trình (4) và xây dựng thuật toán dự báo sương mù hạn 24h cho khu vực sân bay quốc tế Nội Bài.

### 3. THUẬT TOÁN DỰ BÁO

#### 3.1. Phương trình dự báo

Ma trận dữ liệu được chia thành ma trận phụ thuộc (A) (2010 - 2016) có kích thước (5114 hàng, 5 cột) dùng để phân tích xây dựng phương trình hồi quy và ma trận độc lập (B) (2017 - 2019) có kích thước (2190 hàng, 5 cột) dùng để kiểm định độ tin cậy của phương trình. Thuật toán xác định các hệ số  $C_0, C_1, C_2, C_3$  và  $C_4$  trong phương trình (4) như mô tả trên Hình 5.

Với mục tiêu tìm bộ hệ số phương trình tương quan tốt nhất và ổn định trong phạm vi chuỗi số liệu thu thập, các hệ số được xác định bằng phương pháp hồi quy tuyến tính đa biến và tính lặp cho đến khi nhận được tổng sai số của các hệ số giữa bước tính trước và sau thỏa mãn giá trị cho phép ( $\epsilon = 0,01$ ). Trong trường hợp sử dụng toàn bộ dữ liệu của ma trận A nhưng vẫn chưa nhận được bộ hệ số ổn định thì tiếp tục tăng kích thước ma trận A bằng cách bổ sung dữ liệu từ ma trận B. Nếu số hàng trong ma trận B bằng 0 mà tổng sai số của các hệ số vẫn chưa thỏa mãn ràng buộc thì hệ số phương trình tương quan là chưa ổn định. Trong tình huống này, vòng lặp dừng cưỡng bức và hệ số phương trình tương quan là hệ số của phương trình ở bước lặp cuối cùng.



Hình 5. Sơ đồ khối xây dựng phương trình dự báo.

Vì các hệ số phân bố tương đối đều cho cả 3 trường hợp (không mù, có mù và sương mù) nên quá trình lặp dừng lại khi sử dụng toàn bộ dữ liệu của ma trận B. Các phương trình hồi quy nhận được trong quá trình dò tìm có hệ số tương quan  $R^2$  thấp ( $R^2 = 0,0059 - 0,0919$ ), Để tăng khả năng dự báo của mô hình hồi quy, nghiên cứu lựa chọn tính toán đồng thời bằng 2 phương trình:



$$F_1 = -0,039FSI + 0,086FGT + 0,074FGP + 0,011TIN \quad (5)$$

$$F_2 = 6,2499 + 0,0167FSI + 0,0486FGT + 0,0323FGP + 0,0016TIN \quad (6)$$

Trong đó, phương trình (5) được xây dựng từ mối quan hệ giữa 4 chỉ số với giá trị 0 (không mù) hoặc 0,5 (có mù) hoặc 1 (sương mù) và kết quả của phương trình (6) được trả về logarit tự nhiên giá trị tầm nhìn  $\ln(Vis)$ .

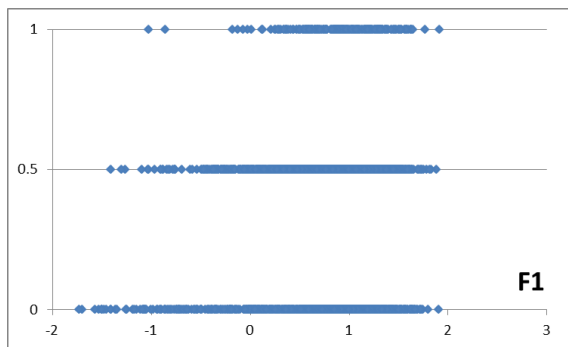
### 3.2. Ngưỡng dự báo

Thông kê 3 chỉ số FSI (Hình 1), FGP (Hình 2) và FGT (Hình 3) cho thấy các ngưỡng dự báo thể hiện khả năng không xuất hiện sương mù. Nếu coi tổng khả năng xuất hiện mù và không mù là khả năng không có sương mù thì 3 chỉ số trên cho kết quả dự báo không sương mù ứng với từng ngưỡng lần lượt là  $FSI > 55$  (98,25%),  $FGT > 16$  (95,52%),  $FGP < 3$  (98,77%) (Bảng 1).

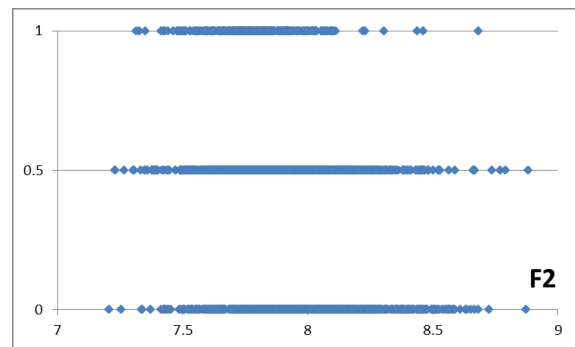
Bảng 1. Ngưỡng dự báo của chỉ số sương mù.

Ngưỡng	$FSI < 9$	$FSI > 55$	$FGT > 16$	$FGP < 3$
Không mù (%)	0,0	63,5	43,5	63,0
Mù (%)	55,5	35,0	52,0	35,5
Sương mù (%)	45,0	1,5	4,5	1,5

Khi các chỉ số không thuộc các ngưỡng trên Bảng 1 thì sử dụng phương trình (5) và (6) để dự báo. Đồ thị phân lớp kết quả tính toán hàm  $F_1$  và  $F_2$  thể hiện trên Hình 6 và Hình 7. Kết quả phân tích cho thấy hàm  $F_1$  và  $F_2$  cũng không thể đưa ra được ngưỡng dự báo khả năng cao xuất hiện sương mù mà chỉ có ngưỡng xuất hiện mù và không mù (Bảng 2).



Hình 6. Đồ thị phân lớp phương trình (5).



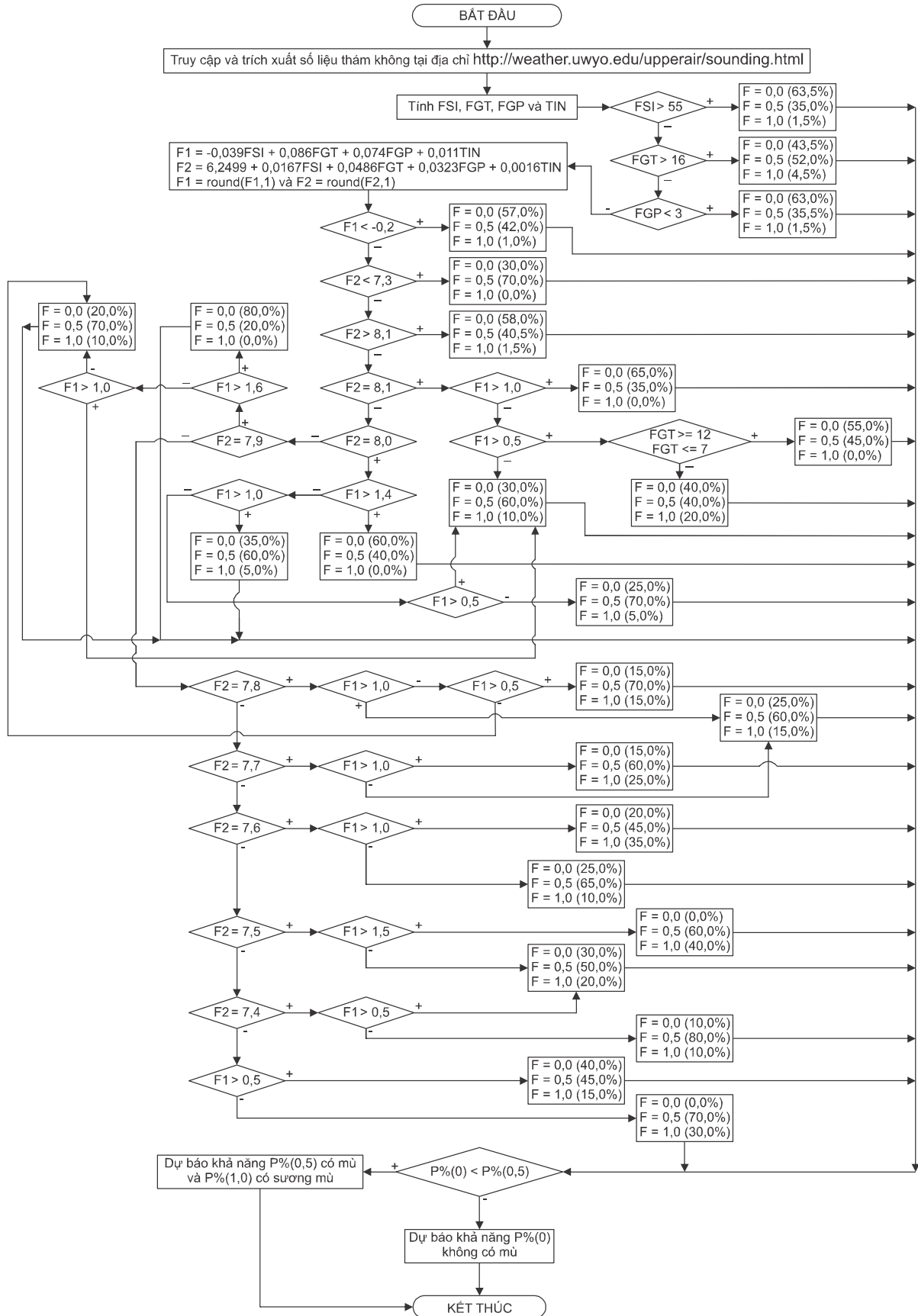
Hình 7. Đồ thị phân lớp phương trình (6).

Bảng 2. Ngưỡng dự báo của hàm  $F_1$  và  $F_2$ .

Ngưỡng	$F_1 < -0,2$	$F_2 < 7,3$	$F_2 > 8,1$
Không mù (%)	57,0	30,0	58,0
Mù (%)	42,0	70,0	40,5
Sương mù (%)	1,0	0,0	1,5

Bảng 2 cho thấy khi hàm  $F_1 < -0,2$  hoặc  $F_2 < 7,3$  hoặc  $F_2 > 8,1$  thì khả năng xuất hiện sương mù là rất nhỏ. Tuy nhiên số lượng mẫu thuộc ngưỡng này chỉ chiếm khoảng 20% tổng số mẫu. Do đó, 80% số mẫu còn lại phải được tính toán kết hợp cả 2 hàm  $F_1$ ,  $F_2$  và có thể bổ sung các tiêu chí phụ.

Như vậy, căn cứ các ngưỡng dự báo của các chỉ số và các phương trình hồi quy, kết hợp với các kết quả phân tích thống kê khác, thuật toán dự báo mù và sương mù hạn 24 giờ cho khu vực sân bay quốc tế Nội Bài được mô tả theo sơ đồ khối (Hình 8) sau:



Hình 8. Thuật toán dự báo mưa và sương mù hạn 24 giờ cho khu vực sân bay quốc tế Nội Bài.

Kết quả xây dựng thuật toán cho thấy rất khó để dự báo chính xác sự xuất hiện của hiện tượng sương mù ( $F = 1,0$ ). Tổ hợp tiêu chí cho khả năng cao xuất hiện hiện tượng là  $F2 = 7,6$  kết hợp  $F1 > 1,0$  và  $F2 = 7,5$  kết hợp  $F1 > 1,5$ . Đối với dự báo hiện tượng mù thì thuật toán trên cho kết quả đáng tin cậy với nhiều tổ hợp dự báo có khả năng cao xảy ra hiện tượng tầm nhìn ngang trên ( $F = 0,0$ ) hoặc dưới 4000m ( $F = 0,5$ ).

Để kiểm định độ tin cậy của thuật toán, nghiên cứu thực hiện thu thập dữ liệu quan trắc tầm nhìn một số ngày cuối tháng XII/2020 và tháng I/2021 (chuỗi độc lập - 24 phần tử), đồng thời lựa chọn một số ngày đầu, giữa hoặc cuối các tháng từ chuỗi dữ liệu đã có (chuỗi phụ thuộc - 205 phần tử) và thực hiện tính toán theo sơ đồ khối Hình 8. Phương pháp đánh giá kết quả dự báo dựa trên bảng sự kiện ngẫu nhiên 2x2 của Doswell [19]. Các tiêu chí đánh giá chất lượng dự báo theo kết quả từ bảng sự kiện xảy ra ngẫu nhiên gồm tỷ lệ dự báo đúng toàn phần (H), tỷ lệ phát hiện quan trắc "Có" (POD), tỷ lệ báo không (FAR), tỷ lệ phát hiện quan trắc "Không" (POFD), chỉ tiêu thành công (CSI), chỉ tiêu thông kê thực tế (TSS) và chỉ tiêu Heidke [19].

Bảng 3. Đánh giá kết quả kiểm định với chuỗi phụ thuộc.

Quan trắc		Dự báo		Quan trắc		Tổng số
		Có	Không	Có	Không	
Có		137	47			184
Không		13	8			21
Tổng số		150	55			205
H	POD	FAR	POFD	CSI	TSS	Heidke
0,707	0,913	0,255	0,855	0,695	0,059	0,073

Kết quả kiểm định dự báo với chuỗi phụ thuộc (Bảng 3) cho thấy chỉ số POD rất cao (trên 90%), CSI và H đạt khoảng 70%. Do đó có thể coi thuật toán phát hiện tốt pha có "mù". Tuy nhiên, chỉ số TSS chưa tốt và tỷ lệ báo không FAR khoảng 25%. Nhận diện những trường hợp báo không cho thấy số đông trường hợp mù/sương mù xảy ra với thời gian ngắn khoảng 120 phút thậm chí diễn biến rất nhanh từ tầm nhìn trên 10km xuống ngưỡng có mù và trở lại ngưỡng trên 10km trong 3 lần quan trắc liên tiếp. Những trường hợp báo không này, thuật toán chưa thể phát hiện được mối liên hệ giữa các chỉ số sương mù với hiện tượng diễn ra trong 24 giờ tiếp theo. Tỷ lệ dự báo sai (số lần dự báo "không" nhưng quan trắc "có" trên tổng số lần dự báo) khoảng 5%.

Bảng 4. Kiểm định với chuỗi độc lập.

Ngày	Tầm nhìn nhỏ nhất (m)	Hiện tượng	FSI	FGT	FGP	TIN	F1	F2	Kết quả	Đánh giá
28/12/2020 00h00-23h00	2800	0,5	34,0	7,3	20,6	1	0,8	7,8	F = 0,5 (70%) F = 1,0 (15%)	Dự báo Đúng
29/12/2020 00h00-23h00	2100	0,5	38,8	7,9	18,7	0	0,6	7,9	F = 0,5 (70%) F = 1,0 (10%)	Dự báo Đúng
30/12/2020 00h00-23h00	>10000	0,0	56	12,3	4,7	1	-0,8	7,9	F = 0,0 (63,5%) F = 1,0 (1,5%)	Dự báo Đúng
31/12/2020 00h00-23h00	5000	0,0	61,6	8,3	5,5	0	-1,3	7,9	F = 0,0 (63,5%) F = 1,0 (1,5%)	Dự báo Đúng
01/01/2021 00h00-23h00	4400	0,0	53,6	10	5,1	0	-0,9	7,8	F = 0,0 (57%) F = 1,0 (1,0%)	Dự báo Đúng
02/01/2021 00h00-23h00	3400	0,5	32,4	13,8	0,2	1	-0,1	7,5	F = 0,0 (63,5%) F = 1,0 (1,5%)	Dự báo Sai

Ngày	Tầm nhìn nhỏ nhất (m)	Hiện tượng	FSI	FGT	FGP	TIN	F1	F2	Kết quả	Đánh giá
03/01/2021 00h00-23h00	2400	0,5	33,2	8,5	9,3	1	0,1	7,5	F = 0,5 (50%) F = 1,0 (20%)	Dự báo Đúng
04/01/2021 00h00-23h00	5000	0,0	40,8	14,9	4,8	0	0,0	7,8	F = 0,5 (70%) F = 1,0 (10%)	Dự báo Không
05/01/2021 00h00-23h00	1900	0,5	44	11,9	9,1	0	0,0	7,9	F = 0,5 (70%) F = 1,0 (10%)	Dự báo Đúng
06/01/2021 00h00-23h00	3600	0,5	36	11,6	10,2	0	0,3	7,7	F = 0,5 (60%) F = 1,0 (15%)	Dự báo Đúng
07/01/2021 00h00-23h00	3900	0,5	39,2	11,6	11,4	1	0,3	7,8	F = 0,5 (70%) F = 1,0 (10%)	Dự báo Đúng
08/01/2021 00h00-23h00	>10000	0,0	33,2	11,4	4,3	1	0,0	7,5	F = 0,5 (50%) F = 1,0 (20%)	Dự báo Không
09/01/2021 00h00-23h00	>10000	0,0	38,4	13,4	1,1	1	7,6	-0,3	F = 0,0 (63%) F = 1,0 (1,5%)	Dự báo Đúng
10/01/2021 00h00-23h00	9000	0,0	54,6	11,7	-1	1	7,7	-1,2	F = 0,0 (63%) F = 1,0 (1,5%)	Dự báo Đúng
11/01/2021 00h00-23h00	>10000	0,0	82	12,4	-1,6	1	8,2	-2,2	F = 0,0 (63%) F = 1,0 (1,5%)	Dự báo Đúng
12/01/2021 00h00-23h00	4700	0,0	55,6	23,3	-15,2	0	7,8	-1,3	F = 0,0 (63%) F = 1,0 (1,5%)	Dự báo Đúng
13/01/2021 00h00-23h00	3400	0,5	36	14,5	-2,8	1	7,5	-0,4	F = 0,0 (63%) F = 1,0 (1,5%)	Dự báo Sai
14/01/2021 00h00-23h00	2400	0,5	36,8	16	6	1	7,8	0,4	F = 0,5 (70%) F = 1,0 (10%)	Dự báo Đúng
15/01/2021 00h00-23h00	1600	0,5	26,8	7,2	13,3	1	7,5	0,6	F = 0,5 (50%) F = 1,0 (20%)	Dự báo Đúng
16/01/2021 00h00-23h00	2000	0,5	40	12,5	9,9	1	7,8	0,3	F = 0,5 (70%) F = 1,0 (10%)	Dự báo Đúng
17/01/2021 00h00-23h00	1800	0,5	33,6	7,6	15	0	7,7	0,5	F = 0,5 (60%) F = 1,0 (15%)	Dự báo Đúng
18/01/2021 00h00-23h00	3600	0,5	57,8	12,8	0,6	1	7,9	-1,1	F = 0,0 (63%) F = 1,0 (1,5%)	Dự báo Sai
19/01/2021 00h00-23h00	1600	0,5	22,2	10,2	7,2	1	7,4	0,6	F = 0,5 (50%) F = 1,0 (20%)	Dự báo Đúng
20/01/2021 00h00-23h00	2000	0,5	27,6	7,8	12,1	0	7,5	0,5	F = 0,5 (50%) F = 1,0 (20%)	Dự báo Đúng

Bảng 5. Đánh giá kết quả kiểm định với chuỗi độc lập.

Quan trắc		Có		Không		Tổng số	
		Dự báo		Dự báo		Dự báo	
Có		12		2		14	
Không		3		7		10	
Tổng số		15		9		24	
H	POD	FAR	POFD	CSI	TSS	Heidke	
0,792	0,800	0,143	0,222	0,706	0,578	0,565	

Chuỗi kiểm định độc lập với tổng số 24 lần dự báo (Bảng 4, Bảng 5) cho thấy các chỉ số H, POD và CSI tương đối tốt với giá trị khoảng 70 - 80%. Tỷ lệ báo không và tỷ lệ dự báo sai

đều dưới 15%. Tuy nhiên, do chuỗi độc lập ngắn và diễn ra trong thời kỳ mù và sương mù bắt đầu hoạt động mạnh nên khả năng dự báo tương đối tốt. Để đánh giá chính xác hơn độ tin cậy của thuật toán cần tiếp tục kiểm định cho những thời đoạn khác trong quá trình thực hiện nghiệp vụ dự báo.

## 5. KẾT LUẬN

Mù và sương mù là hiện tượng thời tiết nguy hiểm diễn ra trên quy mô vừa và nhỏ. Đối với khu vực sân bay quốc tế Nội Bài, giá trị các chỉ số sương mù phân bố tương đối đều ở các pha không mù, có mù và sương mù cho thấy hiện tượng này rất khó dự báo chính xác. Số liệu thống kê 10 năm gần đây (2010 - 2019) chỉ ra rằng sương mù ở khu vực hoạt động mạnh nhất trong các tháng I - III với thời gian thịnh hành vào đêm tối và sáng sớm. Mô hình dự báo hạn 24 giờ (Hình 8) cho vùng nghiên cứu sử dụng hệ 2 phương trình hồi quy (5) và (6) kết hợp các ngưỡng dự báo cho kết quả tương đối tốt ở 2 pha không mù "0" và có mù "0,5". Đối với pha sương mù "1" thì mô hình chưa thực sự cho kết quả tốt. Điều này có thể được lý giải bởi các tháng V - IX hiện tượng sương mù có thể có diễn biến rất nhanh. Sự thay đổi tầm nhìn ngang từ trên 10km xuống dưới 1km và trở lại trên 10km có thể chỉ diễn ra trong khoảng 60 phút khiến cho việc dự báo trước 24 giờ gặp sai số lớn. Để cải thiện mô hình dự báo này, có thể bổ sung chi tiết hơn các ngưỡng dự báo kết hợp biến thời gian hoặc bổ sung phương trình tương quan có xét thêm biến thời gian.

## LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường đại học Giao thông vận tải trong đề tài mã số T2020-CT-002. Các tác giả cũng gửi lời cảm ơn tới Trung Tâm Khí tượng Hàng không Nội Bài đã hỗ trợ cung cấp dữ liệu bản tin METAR để thực hiện nghiên cứu này.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Bộ Giao thông vận tải, Thông tư Quy định về khí tượng hàng không dân dụng, số 19/2009/TT-BGTVT ngày 08 tháng 9 năm 2009.
- [2]. Cục Hàng không Việt Nam, Chỉ thị về việc đảm bảo an toàn bay, số 2690/CT-CHK ngày 25 tháng 07 năm 2014.
- [3]. Nguyễn Việt Lành, Khí tượng cơ sở, NXB. Bản Đồ, 2004.
- [4]. The office of the Federal coordinator for Meteorological services and Supporting research, Federal Meteorological Handbook Number 1, Surface weather observations and reports, Washington, D.C., 2017, pp. 8 - 1, 8 - 2.
- [5]. Phan Văn Tân, Đặc điểm chế độ và phương pháp thống kê vật lý dự báo sương mù khu vực biển và ven bờ khu vực Vịnh Bắc Bộ, Luận án Phó tiến sĩ, Đại học Tổng hợp Hà Nội, 1994.
- [6]. Trần Tân Tiến, Nghiên cứu các phương pháp dự báo sương mù ở các sân bay chính, Đề tài nghiên cứu cấp Nhà nước Mã số 42A-0502, 1986-1989.
- [7]. Nguyễn Xuân Tiến, Trần Quỳnh Trang, Sương mù, mưa nhỏ trên khu vực Bắc Trung Bộ trong mùa vụ đông xuân 2013 - 2014, Tạp chí Khí tượng Thủy văn, 638 (2014) 23-25. [http://kttvqg.gov.vn/public/upload/magazines/013443\\_14052018\\_21495\\_so-thang-02.2014.pdf](http://kttvqg.gov.vn/public/upload/magazines/013443_14052018_21495_so-thang-02.2014.pdf)
- [8]. Sultan Al-Yahyai, Yassine Charabi, Adel Gastli, Review of the use of Numerical Weather

- Prediction (NWP) Models for wind energy assessment, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14 (2010) 3192-3198. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.07.001>
- [9]. P. A. Clark. et al., Prediction of visibility and aerosol within the operational Met Office Unified Model. I: Model formulation and vibrational assimilation, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 134 (636) 1801 - 1816. <https://doi.org/10.1002/qj.318>
- [10]. Cheol-Han Bang, Ji-Woo Lee, Song-You Hong, Predictability Experiments of Fog and Visibility in Local Airports over Korea using the WRF Model, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 24 (2008) 92-101. <https://www.koreascience.or.kr/article/JAKO200807841289142.page>
- [11]. S. H Arun et al., Fog Stability Index: A novel technique for fog/low clouds detection using multi-satellites data over the Indo-Gangetic plains during winter season, *International Journal of Remote Sensing*, 39 (2018) 8200 – 8218. <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1483085>
- [12]. Karel Dejmál, Josef Novotný, Application of Fog Stability Index for significantly reduced visibility forecasting in the Czech Republic, *Recent Advances in Fluid Mechanics and Heat & Mass Transfer*, (2011), pp. 317-320. <http://wseas.us/e-library/conferences/2011/Florence/HEAFLU/HEAFLU-53.pdf>
- [13]. Y. Song, S. S. Yum, Development and Verification of the Fog Stability Index for Incheon International Airport Based on the Measured Fog Characteristics, *Atmosphere*, 23 (2013) 443-452. <https://doi.org/10.14191/Atmos.2013.23.4.443>
- [14]. M. C. Holtslag, G. J. Steeneveld, A. A. M. Holtslag, Fog forecasting: “old fashioned” semi-empirical methods from radio sounding observations versus “modern” numerical models, 5th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew, (2010), pp 1-4. <https://edepot.wur.nl/144635>
- [15]. M. T. Stoelinga, T. T. Warner, Nonhydrostatic, Mesobeta-Scale Model Simulations of Cloud Ceiling and Visibility for an East Coast Winter Precipitation Event, *Journal of Applied meteorology*, 38 (1999) 385 - 404. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1999\)038<0385:NMSMSO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1999)038<0385:NMSMSO>2.0.CO;2)
- [16]. J. A. Doran, et al., The MM5 at the Air Force Weather Agency-New products to support military operations, The 8th Conference on Aviation, Range, and Aerospace Meteorology, Dallas, Texas, 10-15 January 1999.
- [17]. Phan Văn Tân, Phương pháp thống kê trong khí hậu, NXB. Đại học Quốc gia, 2005.
- [18]. RAOB User guide and Technical manual, ver. 5.6 for window, Registered to Vietnam national hydrometeorology service, Serial No. 5607-1010-0543-0001-1108, 1994-2004.
- [19]. C. A. Doswell III, R. Davies-Jones, D. L. Keller, On summary measures of skill in rare event forecasting based on contingency tables, *Weather and Forecasting*, 5 (1990) 576-585. [https://doi.org/10.1175/1520-0434\(1990\)005<0576:OSMOSI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0434(1990)005<0576:OSMOSI>2.0.CO;2)