

**BỘ GIÁO DỤC
VÀ ĐÀO TẠO**

**VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC
VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM**

HỌC VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ



PHẠM LÊ KHƯƠNG

**ỨNG DỤNG SỐ LIỆU SÓNG VÔ TUYẾN VÀ MÔ HÌNH
SỐ TRỊ ĐỂ NGHIÊN CỨU ĐÁNH GIÁ MỘT SỐ THÔNG
SỐ KHÍ QUYỂN TẠI MỘT SỐ KHU VỰC CỦA
VIỆT NAM**

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KHOA HỌC VẬT CHẤT

Ngành: Vật lý địa cầu

Mã số: 9 44 01 11

Hà Nội- 2024

Công trình được hoàn thành tại: Học viện Khoa học và Công nghệ-
Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

Người hướng dẫn khoa học:

1. Người hướng dẫn 1: TS. Nguyễn Xuân Anh, Viện Các Khoa học
Trái đất
2. Người hướng dẫn 2: TS. Nguyễn Văn Hiệp, Đài Khí tượng Thủy
văn Bắc Bộ

Phản biện 1: GS.TS. Phan Văn Tân

Phản biện 2: PGS.TS. Nguyễn Viết Lành

Phản biện 3: TS. Dư Đức Tiến

Luận án được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án tiến sĩ cấp Học
viện họp tại Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa
học và Công nghệ Việt Nam vào hồigiờ....., ngày.....
tháng.....năm.....

Có thể tìm hiểu luận án tại:

1. Thư viện Học viện Khoa học và Công nghệ
2. Thư viện Quốc gia Việt Nam

MỞ ĐẦU

Lý do chọn đề tài: Nhiệt độ, áp suất, độ ẩm là các thông số đặc trưng cơ bản nhất của khí quyển. Việc xác định được các thông số này ở khu vực nhất định có ý nghĩa quan trọng, giúp chúng ta xác định được trạng thái khí quyển, điều kiện thời tiết và khí hậu ở khu vực đó. Đây là các thông số cơ bản và quan trọng được sử dụng trong công tác dự báo thời tiết và khí hậu. Ngoài ra, việc xác định được các thông số này cũng có ý nghĩa quan trọng đối với các lĩnh vực khác như: phát triển kinh tế, xã hội, phục vụ trong an ninh quốc phòng, giảm nhẹ thiên tai, hiệu chỉnh số liệu vệ tinh, giảm sai số trong định vị và dẫn đường bằng vô tuyến và nhiều lĩnh vực khác. Các thông số khí quyển này có thể được xác định bằng nhiều phương pháp khác nhau: phương pháp đo trực tiếp, các phương pháp viễn thám hoặc có thể xác định bằng việc sử dụng các mô hình số trị.

Các phương pháp viễn thám sử dụng dữ liệu sóng vô tuyến để xác định các thông số khí quyển đã thể hiện được tính ưu việt và được sử dụng ngày càng phổ biến trên thế giới. Một trong số đó là phương pháp sử dụng vệ tinh quỹ đạo thấp (LEO) để thám sát khí quyển Trái Đất. Phương pháp này sử dụng kỹ thuật che khuất vô tuyến (RO) để xác định profile các thông số khí quyển theo chiều cao (nhiệt độ, độ ẩm tương đối, độ ẩm tuyệt đối, áp suất, áp suất hơi nước, chỉ số khúc xạ khí quyển) từ dữ liệu sóng vô tuyến (truyền từ vệ tinh GPS đến vệ tinh LEO). Dữ liệu quan trắc này được gọi chung là dữ liệu GPSRO. Dữ liệu GPSRO có đặc điểm tương tự như số liệu thám không vô tuyến. Ưu điểm nổi bật của phương pháp này là cung cấp các profile thông số khí quyển trên phạm vi toàn cầu. Ngày nay, GPSRO đã trở thành một nguồn dữ liệu quan trọng, đặc biệt tại các khu vực đại dương, vùng cực nơi có rất ít dữ liệu quan trắc khí quyển cao không.

Một phương pháp khác sử dụng sóng vô tuyến để thám sát khí quyển được ứng dụng phổ biến trên thế giới là phương pháp sử dụng dữ liệu định vị toàn cầu (GNSS) thu được tại bề mặt. Phương pháp này xác định được thông số độ trễ tầng đối lưu (ZTD) và tổng ẩm khí quyển (TPW). Với số

lượng các thiết bị thu GNSS tại mặt đất ngày càng nhiều, nó trở thành nguồn dữ liệu quan trắc khí quyển quan trọng trong nghiên cứu và dự báo khí tiết, khí hậu. Dữ liệu này có thể được sử dụng để giám sát sự biến đổi của tổng ẩm khí quyển gần thời gian thực hoặc đồng hóa vào mô hình dự báo số.

Ở nước ta, việc quan trắc các thông số khí quyển theo chiều thẳng chủ yếu được thực hiện, đo đạc thông qua mạng lưới trạm quan trắc thám không vô tuyến (đài cao không). Các thông số này được quan trắc từ 1 lần/ngày đến 2 lần/ngày. Mạng lưới trạm quan trắc thám không vô tuyến của nước ta gồm 6 trạm và được bố trí chủ yếu trên khu vực đất liền (5 trạm) và có 01 trạm ở đảo ven bờ. Như vậy, số liệu quan trắc các thông số khí quyển trên cao từ trạm thám không vô tuyến có rất ít hoặc gần như không có ở trên khu vực Biển Đông. Do đó, dữ liệu GPSRO trở thành một nguồn dữ liệu thám sát khí quyển trên cao quan trọng bổ sung cho số liệu thám không vô tuyến ở khu vực Việt Nam và đặc biệt trên khu vực Biển Đông. Tuy nhiên việc đánh giá chất lượng và ứng dụng dữ liệu này trong nghiên cứu khí quyển, thời tiết ở khu vực Việt Nam còn chưa được các nhà khoa học quan tâm nhiều. Ngoài ra, số lượng các trạm thu tín hiệu GNSS tại bề mặt được lắp đặt ngày càng nhiều ở nước ta. Lượng dữ liệu thu thập được ngày càng lớn. Tuy vậy, việc ứng dụng dữ liệu này trong nghiên cứu khí quyển, thời tiết và khí hậu còn hạn chế. Một số tác giả đã sử dụng dữ liệu này để tính toán tổng ẩm khí quyển tại một số thời điểm trong ngày và nghiên cứu quy luật biến đổi tổng ẩm khí quyển. Việc tính toán tổng ẩm khí quyển với độ phân giải đến phút và nghiên cứu sự biến đổi tổng ẩm khí quyển trong một số hiện tượng thời tiết vẫn chưa được quan tâm nhiều. Trên cơ sở đó nghiên cứu sinh (NCS) lựa chọn đề tài luận án là **“Ứng dụng số liệu sóng vô tuyến và mô hình số trị để nghiên cứu đánh giá một số thông số khí quyển tại một số khu vực của Việt Nam”**.

Mục tiêu của luận án: Nghiên cứu đánh giá được khả năng quan trắc, chất lượng và đặc trưng một số thông số khí quyển (chỉ số khúc xạ khí

quyển, độ ẩm, nhiệt độ) tại một số khu vực của Việt Nam sử dụng số liệu sóng vô tuyến và mô hình WRF; Nghiên cứu ứng dụng được các nguồn số liệu quan trắc vô tuyến và mô phỏng mô hình WRF các thông số khí quyển trong nghiên cứu một số hiện tượng thời tiết cực đoan tại một số khu vực của Việt Nam.

Nội dung của luận án: (1) Nghiên cứu tổng quan về các phương pháp quan trắc vô tuyến, tính toán mô hình, đánh giá các thông số khí quyển liên quan. (2) Nghiên cứu phương pháp sử dụng số liệu sóng vô tuyến (số liệu GPSRO và GNSS bề mặt) và sản phẩm mô hình WRF để tính toán một số thông số khí quyển. (3) Đánh giá dữ liệu wetPf2 và dữ liệu GNSS ở khu vực Việt Nam bằng cách so sánh với các nguồn dữ liệu dữ liệu thám không vô tuyến, Aeronet, sản phẩm mô hình. (4) Sử dụng dữ liệu wetPf2 để nghiên cứu đặc trưng nhiệt, ẩm của khối khí biển trên khu vực Biển Đông (đại diện là khu vực quần đảo Hoàng Sa và quần đảo Trường Sa). Ứng dụng dữ liệu wetPf2 để phân tích cấu trúc các trường khí quyển trong điều kiện thời tiết cực đoan (bão) trên khu vực Biển Đông và lân cận. (5) Sử dụng dữ liệu GNSS để tính toán tổng ẩm khí quyển với độ phân giải cao theo thời gian (1 phút) và ứng dụng kết quả tính toán vào nghiên cứu biến trình ngày, sự biến đổi theo thời gian của tổng ẩm khí quyển. Sau đó kết quả tính toán và kết quả mô phỏng mô hình được sử dụng để nghiên cứu sự biến đổi của tổng ẩm khí quyển gắn với không khí lạnh ở khu vực Nghĩa Đô.

Những đóng góp mới của luận án: (1) Làm rõ được chất lượng của dữ liệu wetPf2 ở khu vực Việt Nam và lân cận. Phân tích rõ được các đặc trưng biến đổi của trường nhiệt độ và độ ẩm tương đối đại diện cho Bắc Biển Đông (khu vực quần đảo Hoàng Sa) và Nam Biển Đông (khu vực quần đảo Trường Sa) và cấu trúc dị thường của một số trường khí quyển trong điều kiện thời tiết cực đoan (bão) ở khu vực Biển Đông và lân cận. (2) Tính toán và đánh giá được độ tin cậy của tổng ẩm khí quyển với độ phân giải 1 phút, xác định được biến trình ngày và đặc trưng biến đổi của

tổng ẩm khí quyển gắn với không khí lạnh từ dữ liệu GNSS tại khu vực Nghĩa Đô.

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ SỬ DỤNG SỐ LIỆU SÓNG VÔ TUYẾN VÀ MÔ HÌNH SỐ TRỊ ĐỂ NGHIÊN CỨU KHÍ QUYỂN

1.1. Tổng quan về sử dụng dữ liệu sóng vô tuyến để nghiên cứu đánh giá các thông số khí quyển

1.1.1. Tổng quan các công trình nghiên cứu ở nước ngoài

Với sự phát triển nhanh về công nghệ, phương pháp che khuất vô tuyến (RO) và phương pháp sử dụng thiết bị định vị toàn cầu (GNSS) tại bề mặt để thám sát khí quyển nằm trong những phương pháp quan trắc phi truyền thống được sử dụng rộng rãi trên thế giới. Phương pháp này được phát triển, ứng dụng đầu tiên trong dự án Mariners 3 và 4 từ những năm 1960 (Yunck, 2002). Đến những năm 1995 được áp dụng trong dự án GPS/MET (Ware và nnk, 1996). Đến nay, Phương pháp này được áp dụng cho nhiều dự án như SAC-C (Schmidt và nnk, 2005), GRACE (Beyerle và nnk, 2005), COSMIC/FORMOSAT-3 (Anthes và nnk, 2008), MetOp (Gorbunov và nnk, 2011). Gần đây nhất, phương pháp RO được ứng dụng xử lý tín hiệu sóng vô tuyến trong dự án COSMIC-2/FORMOSAT-7 (Schreiner và nnk, 2020). Phương pháp này đã được nghiên cứu đánh giá độ tin cậy bởi nhiều tác giả (Kuo và nnk, 2005; Xu và nnk, 2009; Zhang và nnk, 2011; Wang và nnk, 2013; Shao và nnk, 2021; Veenus và nnk, 2022). Dữ liệu từ phương pháp này đã được sử dụng để nghiên cứu cấu trúc nhiệt trong bão (Biondi và nnk, 2013; Rivoire và nnk, 2016), sự biến đổi của nhiệt độ vào độ ẩm ở một số khu vực (Kuleshov và nnk., 2016).

Phương pháp xác định thông số khí quyển sử dụng dữ liệu GNSS tại bề mặt đã được nhiều tác giả quan tâm (Bevis et al., 1992; Karabatic và nnk, 2011; Ahmed và nnk, 2014; Gopalan và nnk, 2021). Dữ liệu từ phương pháp này đã được đánh giá bằng cách so sánh với số liệu thám không vô tuyến (Tregoning và nnk, 1998; Baelen và nnk, 2005; Fernández và nnk, 2010; Torres và nnk., 2010) và số liệu tái phân tích (Namaoui và

nnk, 2017). Một trong những công cụ xử lý dữ liệu GNSS thông dụng ngày nay là công cụ CSRS-PPP. Độ tin cậy của phương pháp này đã được khẳng định thông qua việc so sánh với dữ liệu của IGS (Guo, 2015; Astudillo và nnk, 2018; El-Mewafi và nnk, 2019) hoặc so sánh với dữ liệu thám không vô tuyến (Rose và nnk, 2023). Dữ liệu này được sử dụng để nghiên cứu xu thế biến đổi của tổng ẩm khí quyển (Nilsson và Elgered, 2008; Torres nnk, 2010), giám sát gần thời gian thực tổng ẩm khí quyển (Bosy và nnk, 2012) hoặc trong một số hiện tượng thời tiết (Kuleshov nnk, 2016; Bonafoni và Biondi, 2016; Priego và nnk, 2017; Rose và nnk, 2023).

1.1.2. Tổng quan các công trình nghiên cứu ở trong nước

Các nghiên cứu trong nước liên quan đến vấn đề sử dụng số liệu GPSRO và GNSS bề mặt để nghiên cứu khí quyển còn ít và hạn chế. Số liệu GPSRO đã được một số tác giả trong nước sử dụng để tính toán chỉ số đối lưu khí quyển (Nguyễn Xuân Anh và Phạm Lê Khương, 2008), xác định chỉ số khúc xạ và điều kiện lan truyền sóng vô tuyến trong tầng đối lưu khu vực Hà Nội (Phạm Chi Cong và nnk, 2021) hoặc được sử dụng để đồng hóa vào mô hình số trị (Phạm Quang Nam và nnk, 2019). Dữ liệu GNSS để nghiên cứu về độ trễ thiên đỉnh tầng đối lưu (ZTD), tổng ẩm khí quyển chưa được quan tâm nhiều và số lượng các công trình nghiên cứu theo hướng này còn ít (Lê Huy Minh và nnk, 2009; Lại Văn Thủy và nnk, 2022). Các công trình chỉ tính toán tổng ẩm khí quyển tại một số thời điểm trong ngày và chưa ứng dụng trong việc giám sát sự biến đổi của tổng ẩm khí quyển trong các hiện tượng thời tiết.

1.2. Tổng quan về sử dụng mô hình WRF mô phỏng thông số khí quyển

1.2.1. Tổng quan các công trình nghiên cứu ở nước ngoài

Mô hình Nghiên cứu và Dự báo Thời tiết WRF là mô hình dự báo thời tiết số trị quy mô vừa. Mô hình WRF đang được sử dụng rộng rãi trong dự báo thời tiết nghiệp vụ cũng như trong nghiên cứu ở nhiều quốc gia trên thế giới (Dasari và nnk, 2014; Pérez-Jordán và nnk, 2018; Hassanli và

Rahimzadegan, 2019; Noh và nnk, 2021; Ojrzynska và nnk, 2022; Zhang và nnk, 2022).

1.2.2. Tổng quan các công trình nghiên cứu trong nước

Ở nước ta, mô hình WRF được rất nhiều tác giả quan tâm nghiên cứu sử dụng để nghiên cứu và trong dự báo các trường khí tượng: mô phỏng và dự báo trường mưa (Hoàng Đức Cường, 2011; Trương Hoài Thanh và nnk, 2011; Vũ Văn Thăng và nnk, 2017; Nguyễn Tiến Toàn và nnk, 2018; Chu Thị Thu Hường và nnk, 2018; Dư Đức Tiến và nnk, 2019; Vũ Văn Thăng và nnk, 2019; Trương Bá Kiên và nnk, 2022), mô phỏng trường nhiệt độ (Đỗ Huy Dương, 2004; Hoàng Đức Cường, 2011; Chu Thị Thu Hường, 2018), mô phỏng trường ẩm (Đàng Hồng Như và Nguyễn Văn Hiệp, 2016).

CHƯƠNG 2. SỐ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Số liệu sử dụng

Số liệu wetPf2 trong khoảng thời gian 4 năm từ 10/2019 đến 09/2023 trên khu vực Việt Nam và lân cận. Số liệu thám không vô tuyến tại 3 trạm: Trạm Láng (Hà Nội), Đà Nẵng, Tân Sơn Hòa (TP. Hồ Chí Minh) trong khoảng thời gian từ tháng 10/2019 đến tháng 9/2023. Số liệu GNSS tại khu vực Nghĩa Đô trong khoảng thời gian từ 22/09/2022 – 31/03/2023. Số liệu tổng ẩm khí quyển từ trạm AERONET trong khoảng thời gian từ 22/09/2022 – 31/03/2023. Dữ liệu nhiệt độ, lượng mưa từ trạm thời tiết tự động tại Nghĩa Đô trong khoảng thời gian từ 22/09/2022 – 31/03/2023. Dữ liệu vị trí tâm bão trong thời gian hoạt động của 13 cơn bão năm 2020. Dữ liệu tái phân tích ERA5 của ECMWF vào tháng 2 và 4 từ 1991-2020. Dữ liệu tái phân tích FNL của NCEP từ 22/09/2022 đến ngày 31/03/2023. Dữ liệu GFS của NCEP trong thời gian hoạt động của 13 cơn bão năm 2020.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phương pháp che khuất vô tuyến

Một tín hiệu sóng điện từ truyền qua khí quyển sẽ bị khúc xạ tuân theo định luật Snell do gradient thẳng đứng của mật độ khí quyển và được gọi là chỉ số khúc xạ. Ảnh hưởng tổng thể của khí quyển có thể được đặc

trung bởi tổng góc lệch α , khoảng cách tia tiệm cận a và bán kính tiếp tuyến r_t . Sự biến đổi của α theo a hoặc r phụ thuộc vào profile thẳng đứng của chỉ số khúc xạ khí quyển $n(r)$. Bằng phép biến đổi Abelian, $n(r)$ từ các thông số α và a .

$$n(r) = \text{Exp} \left[\frac{1}{\pi} \int_{a_1}^{\infty} \frac{\alpha}{\sqrt{a^2 - a_1^2}} da \right] \quad (1)$$

Sau đó, các thông số nhiệt độ, áp suất, áp suất hơi nước sẽ được tính toán từ dữ liệu $n(r)$.

2.2.2. Tính toán tổng ẩm khí quyển từ dữ liệu GNSS

Công cụ CSRS-PPP được sử dụng để tính toán các đại lượng ZTD và ZWD. Tiếp đến đại lượng tổng ẩm được tính toán như sau:

$$TPW = ZWD/k \quad (2)$$

Trong đó k là hệ số được tính bằng công thức thực nghiệm như sau:

$$k = 461.5 * 10^{-5} * \left[3.719 * \frac{10^5}{T_m} + 16.4221 \right] \quad (3)$$

T_m (K) có thể được xấp xỉ bằng cách (Bevis và nnk, 1992)

$$T_m = 70.2 + 0.72 * T_s \quad (4)$$

T_s (K) là nhiệt độ đo tại bề mặt từ trạm thời tiết tự động lắp đặt tại trạm Vật lý khí quyển Nghĩa Đô. Giá trị tổng ẩm khí quyển tính toán được với độ phân giải theo thời gian là 1 phút.

2.2.3. Đánh giá các thông số khí quyển tính toán từ dữ liệu sóng vô tuyến

2.2.3.1. Đánh giá số liệu nhiệt độ, độ ẩm tương đối, chỉ số khúc xạ khí quyển từ dữ liệu wetPf2

Để đánh giá chất lượng của số liệu GPSRO trong việc quan trắc khí quyển, các thông số nhiệt độ, độ ẩm tương đối, chỉ số khúc xạ khí quyển từ dữ liệu wetPf2 được so sánh với số liệu thám không vô tuyến tại 3 trạm Hà Nội (Láng), Đà Nẵng, Thành phố Hồ Chí Minh (Tân Sơn Hòa). Điều kiện lựa chọn cặp mẫu so sánh là cách biệt về thời gian là $\leq 1h$, $\leq 2h$, $\leq 3h$ và cách biệt về khoảng cách $\leq 100km$, $\leq 200km$, $\leq 300km$ (tạo thành 9 tổ hợp). Sau

khi chọn được cặp số liệu so sánh, dữ liệu sẽ được nội suy về 10 mực khí áp (925mb, 850mb, 700mb, 500mb, 400mb, 300mb, 250mb, 200mb, 150mb, 100mb) theo công thức (Wang và nnk, 2013):

$$T = \alpha \cdot T_1 + \beta \cdot T_2 \quad (5)$$

$$RH = \alpha \cdot RH_1 + \beta \cdot RH_2 \quad (6)$$

$$N = \alpha \cdot N_1 + \beta \cdot N_2 \quad (7)$$

$$\alpha = \frac{\ln P - \ln P_2}{\ln P_1 - \ln P_2} \quad (8)$$

$$\beta = \frac{\ln P_1 - \ln P}{\ln P_1 - \ln P_2} \quad (9)$$

Các đại lượng thống kê sai số trung bình (ME), độ lệch chuẩn của sai số trung bình và hệ số tương quan được sử dụng để so sánh giữa số liệu wetPf2 và số liệu thám không vô tuyến.

Ngoài ra, dữ liệu wetPf2 cũng được so sánh với dữ liệu mô phỏng mô hình WRF trong điều kiện bão. Dữ liệu wetPf2 được so sánh với giá trị nút lưới gần nhất tại 10 mực khí áp và chênh lệch thời gian là ± 30 phút. Các đại lượng thống kê được sử dụng là ME và độ lệch chuẩn của sai số.

2.2.3.2. *Đánh giá số liệu tổng ẩm khí quyển tính toán từ dữ liệu GNSS*

Để đánh giá số chất lượng của số liệu tổng ẩm khí quyển tính toán từ dữ liệu GNSS tại khu vực Nghĩa Đô, số liệu này được so sánh với sản phẩm tổng ẩm khí quyển trung bình ngày từ số liệu AERONET tại trạm Vật lý khí quyển Nghĩa Đô. Kết quả tính từ GNSS cũng được so sánh với sản phẩm tổng ẩm tại các thời điểm 7h và 19h (giờ địa phương) của số liệu thám không vô tuyến tại trạm Hà Nội (Láng) và kết quả mô phỏng của mô hình tại nút lưới gần nhất. Trong khuôn của của luận án, các đại lượng thống kê sai số trung bình (ME), sai số tuyệt đối trung bình (MAE), sai số tương đối trung bình (RMAE), sai số quân phương (RMSE) và hệ số tương quan được sử dụng để so sánh tổng ẩm tính toán từ số liệu GNSS với sản phẩm tổng ẩm khí quyển của dữ liệu AERONET và dữ liệu thám không vô tuyến.

2.2.4. Phương pháp nghiên cứu các trường khí quyển trong bão

Dữ liệu tọa độ của tâm bão với độ phân giải theo thời gian 6h được nội suy tuyến tính tọa độ của bão về độ phân giải thời gian 1h. Các profile dữ liệu từ COSMIC-2 sẽ được lựa chọn vào 12 nhóm theo khoảng cách từ vị trí tâm bão đến vị trí thám sát (cách nhau từng 100km). Để tính toán giá trị dị thường, profile nhiệt độ, độ ẩm tương đối, áp suất hơi nước, chỉ số khúc xạ khí quyển được trừ đi profile giá trị trung bình tháng tương ứng của các thông số này (Biondi và nnk, 2013; Rivoire và nnk, 2016). Giá trị profile trung bình tháng được tính trung bình cho từng tháng, trong ô lưới $2^\circ \times 2^\circ$ độ kinh vĩ trên tập dữ liệu COSMIC-2 trong bốn năm (10/2019 – 09/2023).

2.2.5. Phương pháp sử dụng mô hình

Trong luận án, mô hình nghiên cứu và dự báo thời tiết (WRF) được sử dụng để mô phỏng các trường khí tượng sử dụng trong việc làm rõ hơn các điều kiện khí quyển trong quá trình phân tích dữ liệu. Miền tính của mô hình gồm 2 miền tính với độ phân giải ngang của miền tính d01 là 18km và miền tính d02 là 6km. Sơ đồ tham số hóa được sử dụng trong mô hình được tham khảo theo Trương Bá Kiên và nnk (2022) bao gồm: Sơ đồ tham số hóa vi vật lý là sơ đồ Goddard (7); sơ đồ tham số hóa đối lưu là sơ đồ Kain-Fritsch (1); sơ đồ tham số hóa lớp biên hành tinh YSU (1); sơ đồ tham số hóa bức xạ sóng dài RRTMG (4); sơ đồ tham số hóa bức xạ sóng ngắn RRTMG (4).

CHƯƠNG 3. ĐẶC ĐIỂM CỦA MỘT SỐ TRƯỜNG KHÍ QUYỂN TRÊN KHU VỰC VIỆT NAM VÀ LÂN CẬN SỬ DỤNG SỐ LIỆU WETPF2

3.1. Đánh giá dữ liệu wetPf2 ở khu vực Việt Nam và lân cận

Kết quả cho thấy sai số trung bình của dữ liệu wetPf2 và dữ liệu thám không vô tuyến đối với nhiệt độ không khí nằm trong khoảng từ $-0,06^\circ\text{C}$ đến $-0,02^\circ\text{C}$, với độ lệch chuẩn dao động trong khoảng từ $0,73^\circ\text{C}$ đến $1,04^\circ\text{C}$ và hệ số tương quan nằm trong khoảng từ 0,86 đến 0,93. Sai số

trung bình của độ ẩm tương đối giữa hai nguồn dữ liệu dao động trong khoảng từ 11,63% đến 12,45%, với độ lệch chuẩn nằm trong khoảng từ 15,04% đến 19,06% và hệ số tương quan nằm trong khoảng từ 0,63 đến 0,76. Sai số trung bình của của chỉ số khúc xạ khí quyển dao động từ -0,92 đến -0,62, với độ lệch chuẩn trung bình nằm trong khoảng từ 3,10 đến 4,04 và hệ số tương quan đạt từ 0,76 đến 0,87. Kết quả so sánh của nhiệt độ không khí, độ ẩm tương đối và chỉ số khúc xạ khí quyển giữa số liệu wetPf2 và thám không vô tuyến ở khu vực Việt Nam phù hợp với các nghiên cứu của một số khu vực khác trên thế giới. Kết quả này xác nhận rằng dữ liệu wetPf2 có thể sử dụng trong nghiên cứu khí quyển và nghiệp vụ dự báo thời tiết trong khu vực Việt Nam.

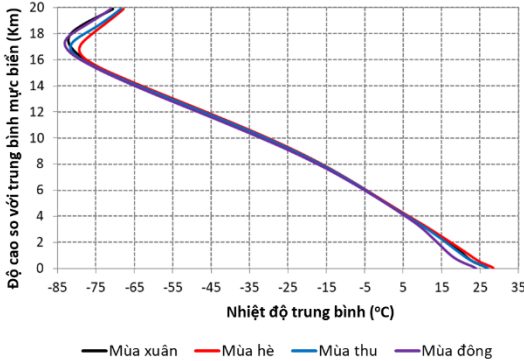
Kết quả so sánh giữa dữ liệu wetPf2 và mô phỏng mô hình WRF cho thấy sai số trung bình của nhiệt độ không khí và độ lệch chuẩn của sai số tương ứng dao động trong khoảng $-0,54^{\circ}\text{C} - 0,62^{\circ}\text{C}$ và $0,38^{\circ}\text{C} - 1,29^{\circ}\text{C}$ tại các mực khí áp $\geq 150\text{mb}$ trong 3 hạn dự báo <6h, 24h và 48h và 3 khoảng cách 100km, 500-600km và 1100-1200km từ tâm bão. Đối với độ ẩm tương đối, sai số trung bình dao động từ -6,1% đến 20,0% với độ lệch chuẩn hầu như $\leq 20,3\%$ trong trong mực áp suất $\geq 400\text{mb}$ của tất cả các trường hợp. So với kết quả so sánh với dữ liệu thám không vô tuyến, kết quả so sánh giữa dữ liệu wetPf2 và mô phỏng mô hình không có sự khác biệt nhiều.

3.2. Đặc trưng một số trường khí quyển ở khu vực Quần đảo Hoàng Sa và Trường Sa

3.2.1. Đặc điểm trường nhiệt độ không khí

Trong khoảng thời gian từ tháng 10/2019 – 9/2023 trên khu vực quần đảo Hoàng Sa ($13^{\circ}\text{N} - 18^{\circ}\text{N}$, $110^{\circ}\text{E} - 115^{\circ}\text{E}$) có tổng cộng 6215 thám sát wetPf2. Trên cơ sở tập số liệu này, profile nhiệt độ trung bình theo mùa (Tm) được tính toán theo bốn mùa tại từng mực độ cao (hình 3.1). Nhiệt độ giảm dần từ bề mặt lên đỉnh tầng đối lưu (từ 16,8 km đến 17,5 km). Biến trình năm của Tm tại từng mực thể hiện quy luật rõ ràng, Tm trong mùa hè

có giá trị cao nhất, Tm trong mùa đông có giá trị thấp nhất. Profile Tm trong lớp từ 0km đến 3,5km cho thấy Tm biến đổi tương đối lớn theo mùa. Biên độ biến đổi của Tm tại từng mực dao động từ 1,3°C đến 5,0°C. Sự biến đổi lớn của Tm theo mùa đã thể hiện sự ảnh hưởng mạnh của gió mùa mùa đông đối khu vực này.



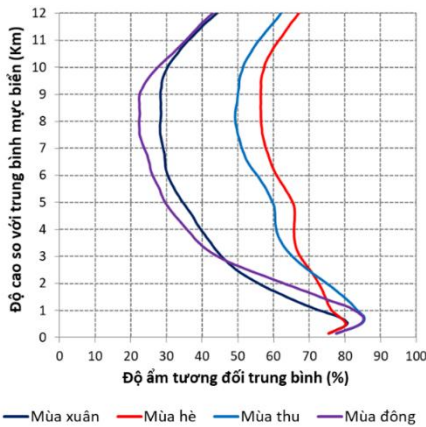
Hình 3.1. Kết quả biến đổi nhiệt độ trung bình của bốn mùa trên khu vực Quần đảo Hoàng Sa. Đồ thị màu đen (mùa xuân), màu đỏ (mùa hè), màu xanh (mùa thu), màu tím (mùa đông)

Tại khu vực quần đảo Trường Sa có tổng cộng 7730 thám sát, số lượng thám sát nhiều hơn so với khu quần đảo Hoàng Sa. Xu thế biến đổi Tm theo độ cao của bốn mùa tương tự như tại khu vực Quần đảo Hoàng Sa, giảm dần từ bề mặt đến đỉnh tầng đối lưu. Về biến trình năm của Tm, trong lớp không khí từ bề mặt đến 2,0km, Tm của mùa hè có giá trị lớn nhất, Tm của mùa đông có giá trị thấp nhất. Biên độ biến đổi của Tm tại từng mực dao động từ 1,2°C đến 2,2°C. Gần bề mặt, giá trị Tm là 26,1°C (vào mùa đông) và 28,3°C (vào mùa hè). So với khu vực Quần đảo Hoàng Sa, biên độ biến đổi nhiệt theo mùa trong năm ở khu vực Quần đảo Trường Sa nhỏ hơn nhiều. Điều này thể hiện ảnh hưởng của gió mùa mùa đông đến khu vực này yếu, dẫn đến giá trị Tm trong mùa đông ở khu vực này lớn hơn và biên độ biến đổi nhiệt độ trong năm nhỏ hơn so với khu vực Hoàng Sa.

3.2.2. Đặc điểm trường độ ẩm tương đối

Profile thẳng đứng của độ ẩm tương đối trung bình mùa (RHm) trong lớp từ 0km đến 12km ở khu vực Quần đảo Hoàng Sa với độ phân giải theo độ cao 50m được trình bày trong hình 3.2. Kết quả cho thấy giá trị RHm

trong lớp biên khí quyển lớn hơn trong lớp khí quyển tự do. Trong lớp sát bề mặt giá trị độ ẩm trung bình mùa dao động từ 75,4% (mùa hè) đến 77,6% (mùa đông). Giá trị RHm tăng theo độ cao và đạt giá trị cực đại tại độ cao khoảng 0,6 km đến 0,7 km. Độ cao này thường là vị trí của mực ngưng kết nâng (LCL). Giá trị cực đại của RHm là 80,7% (mùa xuân), 80,5% (mùa hè), 85,5% (mùa thu) và 85,3% (mùa đông). Do ảnh hưởng của gió mùa mùa đông, luồng không khí lạnh mang theo không khí có nhiệt độ thấp từ Bắc Á đến Biển Đông khiến nhiệt độ tiến gần tới nhiệt độ điểm sương. Điều này dẫn đến giá trị độ ẩm tương đối cao nhất ở khu vực này vào mùa đông, trong lớp không khí từ bề mặt đến độ cao 400m. Trong lớp khí quyển tự do, RHm của mùa xuân, mùa thu, mùa đông giảm theo độ cao đến giá trị cực tiểu tại mực ở giữa tầng đối lưu, sau đó RHm tăng theo độ cao.

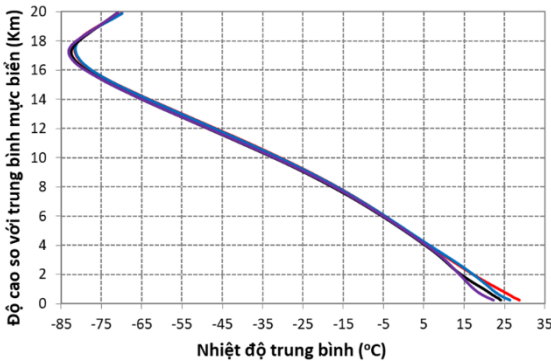


Hình 3.2. Kết quả biến đổi độ ẩm tương đối trung bình của bốn mùa trên khu vực Quần đảo Hoàng Sa. Đồ thị màu đen (mùa xuân), màu đỏ (mùa hè), màu xanh (mùa thu), màu tím (mùa đông)

Đối với khu vực quần đảo Trường Sa, kết quả cho giá trị độ ẩm trung bình mùa dao động từ 74,3% (mùa hè) đến 78,5% (mùa đông) ở lớp gần bề mặt. Tương tự như khu vực quần đảo Hoàng Sa, giá trị RHm tăng theo độ cao và đạt cực đại ở độ cao 0,65km. Giá trị cực đại của RHm là 80,3% (mùa xuân), 81,6% (mùa hè), 84% (mùa thu) và 85,4% (mùa đông). Tiếp đó RHm giảm dần và đạt giá trị cực tiểu tại giữa tầng đối lưu. Giá trị RHm trong lớp biên khí quyển lớn hơn trong lớp khí quyển tự do. Trong lớp dưới

1,25km, biên độ biến đổi trong năm của RHm nhỏ ($<7,5\%$). Độ ẩm tương đối trung bình vào mùa đông và mùa thu có giá trị cao hơn mùa hè và mùa xuân. Điều này có thể là do ảnh hưởng của gió mùa mùa đông và các hoạt động của ITCZ (dải hội tụ liên nhiệt đới). Gió mùa mùa đông đã vận chuyển không khí có nhiệt độ thấp đến Biển Đông, kết hợp với ITCZ có đối lưu tích cực di chuyển về các vĩ độ thấp hơn (gần và trên khu vực quần đảo Trường Sa) trong những tháng đầu mùa đông. Điều này dẫn đến độ ẩm tương đối cao trong khối không khí vào mùa đông và mùa thu.

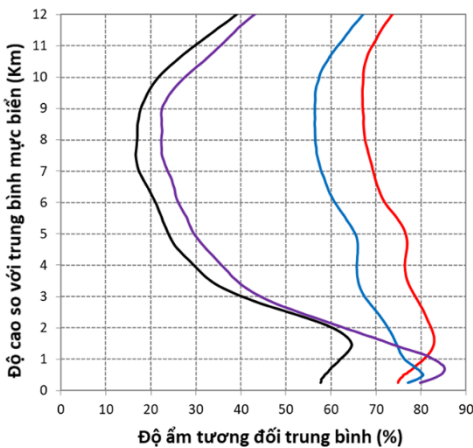
3.2.3. Sự khác biệt giữa trường nhiệt độ, độ ẩm của khối không khí biển và khối không khí lục địa ở cùng vĩ độ



Hình 3.3. Profile nhiệt độ trung bình trong những tháng nóng (tháng 4, 5, 6) trên đất liền (màu đỏ), trên biển (màu xanh) và trong mùa đông trên đất liền (màu đen), trên biển (màu tím)

Để làm nổi rõ đặc trưng biến đổi của trường nhiệt độ và độ ẩm tương đối trên biển, NCS đã tiến hành so sánh với đặc điểm biến đổi của trường nhiệt và độ ẩm tương đối giữa khu vực quần đảo Hoàng Sa và khu vực đất liền ($13^{\circ}\text{N} - 18^{\circ}\text{N}$, $101^{\circ}\text{E} - 106^{\circ}\text{E}$). Vùng đất liền được chọn có cùng vĩ độ với vùng biển (quần đảo Hoàng Sa). Dựa trên số liệu thống kê về nhiệt độ của trạm bề mặt, nhiệt độ nóng nhất trên toàn bộ khu vực đất liền xảy ra vào cuối mùa xuân đến đầu mùa hè (Senapeng và nnk, 2022). Do đó, khoảng thời gian ba tháng 4, 5 và 6 được chọn để tính nhiệt độ trung bình trong những tháng nóng. Thời kỳ mùa đông (tháng 12, 01, 02) được chọn để khảo sát nhiệt độ của hai khối không khí trong những tháng lạnh nhất.

Khi so sánh profile nhiệt độ trung bình trong những tháng nóng nhất và trung bình mùa đông giữa khu vực quần đảo Hoàng Sa và khu vực đất liền đặc điểm biến đổi của nhiệt độ trung bình trên khu vực đất liền và khu vực Quần đảo Hoàng Sa không có sự khác biệt đáng kể ở các mực độ cao lớn (trên 3 km). Tuy nhiên, ở các mực độ cao thấp hơn (dưới 2 km) trong những tháng nóng (AMJ), nhiệt độ trung bình của khối không khí trên đất liền có giá trị cao hơn nhiệt độ của khối không khí trên biển từ 1°C đến 2°C do sự đốt nóng của bề mặt đất (Hình 3.3). Sự nóng lên trên đất liền trong những tháng nóng có thể được nhận thấy rõ thông qua giá trị trung bình dài hạn (30 năm) của nhiệt độ không khí 2m từ dữ liệu ERA5 (ECMWF). Vào tháng 2 và tháng 4, khối không khí lục địa có nhiệt độ cao hơn đáng kể so với khối không khí trên khu vực quần đảo Hoàng Sa.



Hình 3.4. Profile độ ẩm tương đối trung bình (%) trong mùa hè (tháng 6, 7, 8) trên đất liền (màu đỏ), trên biển (màu xanh) và trong mùa đông (tháng 12, 1, 2) trên đất liền (màu đen), trên biển (màu tím)

So sánh giá trị độ ẩm tương đối trung bình cho thấy RHm trung bình của cả hai khu vực đều có giá trị cao trong mùa hè. Lớp dưới 0,8km, khối không khí biển có giá trị RHm cao hơn khối không khí trên đất liền. Điều này có thể liên quan đến vai trò của các chuyển động rối, nó đã vận chuyển ẩm dồi dào từ mặt biển vào trong lớp biên khí quyển. Tuy nhiên, trong tầng khí quyển tự do, giá trị RHm trung bình vào mùa hè của khối không khí trên đất liền cao hơn giá trị RHm trung bình trong khu vực Quần đảo

Hoàng Sa (hình 3.4). Nguyên nhân có thể là do trong mùa hè, gió mùa tây nam đã vận chuyển khối không khí ẩm cao từ Ấn Độ Dương đến khu vực đất liền (Khedari et al, 2002). Dưới ảnh hưởng của yếu tố địa phương và địa hình đã làm cho đối lưu phát triển mạnh vận chuyển ẩm lên các mức cao hơn trong lớp khí quyển tự do. Đây có thể là nhân tố quan trọng dẫn đến giá trị RHm ở khu vực đất liền cao hơn trên biển trong lớp khí quyển tự do vào mùa hè.

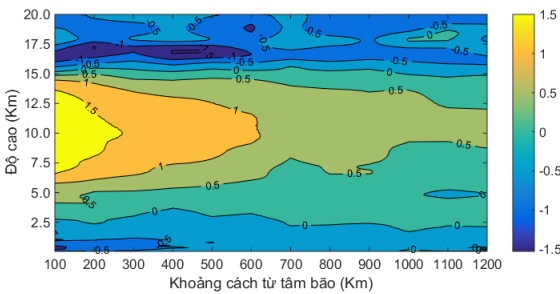
Vào mùa đông, profile độ ẩm tương đối trung bình thể hiện sự khác biệt đáng kể giữa RHm trung bình của hai khối không khí trong lớp biên khí quyển (dưới 2 km). Giá trị RHm trên khu vực đất liền thấp hơn nhiều so với khu vực Quần đảo Hoàng Sa. Vào mùa đông, gió mùa đông bắc mang đến khối không khí khô và mát đến khu vực này (Khedari et al, 2002). Do ảnh hưởng của gió mùa đông bắc khô, độ ẩm tương đối của khối không khí trong lớp biên khí quyển của khu vực đất liền thấp hơn so với khu vực Quần đảo Hoàng Sa. Trong lớp khí quyển tự do, giá trị độ ẩm tương đối của hai khối không khí không khác biệt đáng kể, giá trị độ ẩm tương đối của khu vực đất liền thấp hơn so với khu vực Quần đảo Hoàng Sa (hình 3.4).

3.3. Đặc điểm một số trường khí quyển ở khu vực Biển Đông và lân cận khi có bão hoạt động từ dữ liệu wetPf2

3.3.1. Đặc điểm trường nhiệt độ

Kết quả cho thấy vùng dị thường nóng tồn tại ở độ cao từ 2,5km – 15 km ở tất cả các khoảng cách từ tâm bão đến 1200 km. Giá trị dị thường cực đại đạt 1,5°C ở độ cao từ 6,5 km – 13,5 km trong khu vực cách tâm bão dưới 100 km. Dị thường nhiệt độ giảm dần theo khoảng cách so với tâm bão, vùng có dị thường nhiệt độ $>1^{\circ}\text{C}$ mở rộng đến khoảng cách 600 km từ tâm bão. Kết quả cũng cho thấy có các vùng dị thường lạnh ở các độ cao dưới 2,5 km và trên 16 km. Vùng dị thường lạnh ở dưới 2,5 km có giá trị cực đại $< -0,5^{\circ}\text{C}$, trải rộng từ tâm bão đến khoảng cách khoảng 400 km. Vùng dị thường lạnh có giá trị $< -1,0^{\circ}\text{C}$ xuất hiện tại độ cao từ 16 km – 17,5

km và trải rộng từ tâm bão đến khoảng cách 600 km (hình 3.5). Kết quả mô phỏng từ mô hình WRF cho thấy khu vực gần tâm bão tốc độ thẳng đứng trung bình dao động từ 0,15m/s đến 1,11m/s lớn hơn so với khu vực xa tâm bão. Sự phân bố của dị thường nhiệt độ phù hợp với kết quả mô phỏng của tốc độ thẳng đứng. Sự phân bố dị thường nhiệt độ trong nghiên cứu này cũng phù hợp với các nghiên cứu trước đây khi sử dụng nguồn dữ liệu COSMIC (Rivoire và nnk, 2016).



Hình 3.5. Dị thường nhiệt độ ($^{\circ}\text{C}$) so với giá trị trung bình tháng từ dữ liệu COSMIC-2 theo độ cao và khoảng cách so với tâm bão trong thời gian bão di chuyển vào Biển Đông mùa bão năm 2020

3.3.2. Đặc điểm trường độ ẩm tương đối

Kết quả tính toán cho thấy trong điều kiện ảnh hưởng của bão, giá trị độ ẩm tương đối trong tầng đối lưu tăng lên so với giá trị trung bình tháng. Vùng có giá trị độ ẩm tương đối tăng nhiều nhất tập trung ở khu vực cách tâm bão <600 km, giá trị tăng cao nhất >25 %. Vùng có giá trị tăng của độ ẩm tương đối đạt đến >20 % tập trung chủ yếu tại các độ cao từ 5 km đến 12,5 km. Trong lớp dưới 2,5 km của khu vực từ tâm bão đến 300 km, độ ẩm tương đối tăng trung bình từ 5%-15%. Ở các khoảng cách lớn hơn 800km từ tâm bão, sự gia tăng độ ẩm tương đối là nhỏ hơn nhiều so với khu vực cách tâm bão <600 km. Giá trị tăng của độ ẩm tương đối trong khu vực này chủ yếu <10%, chỉ một số khu vực từ độ cao 7,5 km đến 12,5 km có giá trị tăng của độ ẩm tương đối là trên 10%.

3.3.3. Đặc điểm trường áp suất hơi nước

Kết quả cho thấy có vùng dị thường tăng của áp suất hơi nước trong hoàn lưu bão trong lớp từ bề mặt đến độ cao 16km trong khu vực tâm bão

đến 600 km và từ 1,5km đến 16 km trong khu vực cách tâm bão từ 600 km – 1200 km. Giá trị dị thường của áp suất hơi nước có giá trị cực đại ở khu vực tâm bão và giảm dần theo khoảng cách từ tâm bão. Khu vực từ tâm bão đến 200 km, vùng dị thường có giá trị cực đại nằm trong lớp có độ cao từ 2 km đến 3 km với giá trị đạt $>2,5$ hPa. Tại khu vực cách tâm bão từ 500 km đến 600 km, giá trị dị thường tăng của áp suất hơi nước cực đại giảm xuống còn khoảng 1 hPa. Trong khu vực cách tâm bão từ 700 km đến 1200 km, dị thường tăng của áp suất hơi nước chủ yếu dưới 0,5 hPa.

3.3.4. Đặc điểm trường chỉ số khúc xạ khí quyển

Kết quả cho thấy xu thế biến đổi dị thường của chỉ số khúc xạ khí quyển có dạng khá tương đồng với xu thế biến đổi của áp suất hơi nước. Sự tăng của chỉ số khúc xạ khí quyển ở trong khu vực từ tâm bão đến 600 km lớn hơn so với khu vực khoảng cách từ tâm bão >600 km. Trong khu vực từ tâm bão đến 600 km, vùng dị thường tăng của chỉ số khúc xạ khí quyển nằm trong lớp từ bề mặt đến độ cao khoảng 10 km. Giá trị tăng của chỉ số khúc xạ khí quyển cực đại đạt 10 đơn vị trong lớp có độ cao từ 2 km – 3 km trong khu vực từ tâm bão đến khoảng cách 200 km.

CHƯƠNG 4. ĐẶC ĐIỂM TỔNG ẨM KHÍ QUYỂN TẠI KHU VỰC NGHĨA ĐÔ SỬ DỤNG DỮ LIỆU HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ TOÀN CẦU (GNSS) VÀ KẾT QUẢ MÔ HÌNH

4.1. Đánh giá số liệu tổng ẩm khí quyển tính toán từ dữ liệu GNSS tại khu vực Nghĩa Đô

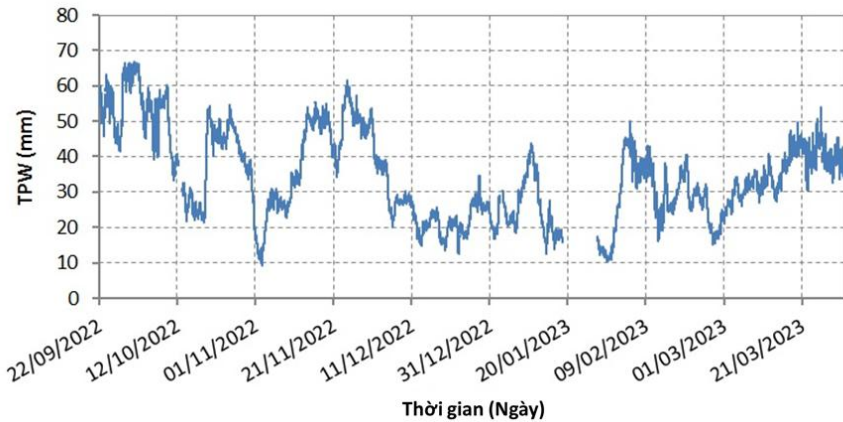
Giá trị sai số trung bình (ME), sai số bình phương trung bình (RMSE) và hệ số tương quan (R) giữa tổng ẩm khí quyển tính từ dữ liệu GPS và sản phẩm tổng ẩm khí quyển từ dữ liệu AERONET lần lượt là 0,68 mm, 2,05 mm và 0,988. Giá trị ME, RMSE và các hệ số tương quan giữa tổng ẩm khí quyển tính toán từ dữ liệu GNSS và từ dữ liệu thám không vô tuyến lần lượt là -3,01 mm, 3,24 mm và 0,996. Khi so sánh với dữ liệu mô phỏng mô hình WRF, giá trị ME, RMSE và các hệ số tương quan giữa tổng ẩm khí quyển tương ứng là -2,12 mm, 3,08 mm và 0,984. (Bảng 4.1). Các

kết quả so sánh cho thấy sự phù hợp cao giữa tổng ẩm khí quyển tính toán từ dữ liệu GPS tại Trạm Vật lý khí quyển Nghĩa Đô bằng công cụ CSRS-PPP và sản phẩm tổng ẩm khí quyển từ dữ liệu AERONET và dữ liệu thám không vô tuyến. Các kết quả so sánh này cung cấp bằng chứng cho thấy việc áp dụng kỹ thuật CSRS-PPP để tính toán TPW từ dữ liệu GPS tại Trạm Vật lý khí quyển Nghĩa Đô mang lại kết quả tốt.

Bảng 4. 1. So sánh giữa giá trị hàm lượng hơi nước tổng cộng tính từ số liệu GPS (TPW_GPS) và từ số liệu Aeronet (TPW_AER), số liệu thám không vô tuyến (TPW_RS).

	ME (mm)	RMSE (mm)	R
TPW_GPS và TPW_AER	0,68	2,05	0,988
TPW_GPS và TPW_RS	-3,01	3,24	0,996
TPW_GPS và TPW_WRF	-2,12	3,08	0,984

4.2. Đặc trưng của tổng ẩm khí quyển ở khu vực Nghĩa Đô, Hà Nội.

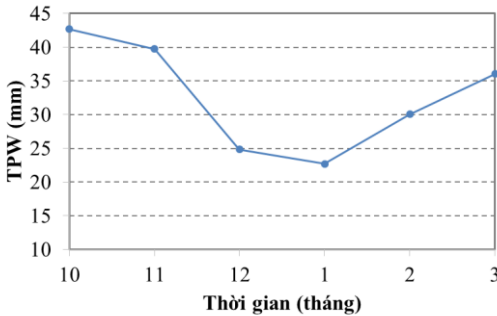


Hình 4.1. Biến đổi theo thời gian của tổng ẩm khí quyển (TPW) trong khoảng thời gian từ 22/09/2022 đến 31/3/2023 ở trạm Vật lý khí quyển Nghĩa Đô

Dữ liệu GNSS được quan trắc liên tục tại trạm Nghĩa Đô (Hà Nội) trong khoảng thời gian từ 22/9/2022 đến 31/3/2023. Trong khoảng thời gian này, dữ liệu GNSS thu thập được gồm 183 ngày số liệu. Kết quả tính

toán tổng ẩm khí quyển với độ phân giải 1 phút được trình bày trong hình 4.1. Giá trị TPW biến đổi trong khoảng từ 9,3 mm đến 66,8 mm. Kết quả cũng cho thấy rằng xu thế biến đổi của TPW khá tương tự với xu thế biến đổi của ZWD. Nhìn chung, xu hướng thay đổi của TPW cho thấy giá trị TPW thấp hơn trong tháng 12 và tháng 1 so với các tháng khác.

Phân tích sự biến đổi của giá trị tổng ẩm khí quyển trung bình tháng tính toán từ dữ liệu GPS trong khoảng thời gian từ tháng 10/2022 đến tháng 03/2023 tại trạm Vật lý khí quyển Nghĩa Đô, kết quả tính toán cho thấy rằng tháng 1 có giá trị thấp nhất, giá trị đạt 22,73mm (hình 4.2). Kết quả biến đổi tổng ẩm khí quyển tại khu vực trạm Nghĩa Đô có giá trị trung bình thấp nhất vào tháng 1 là phù hợp với các kết quả nghiên cứu trước đây.



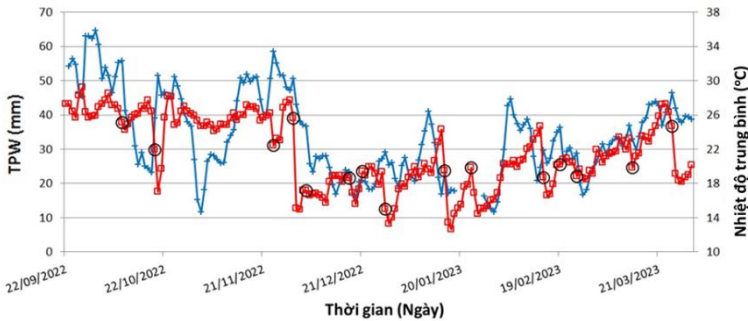
Hình 4.2. Biến đổi theo thời gian của tổng ẩm khí quyển (TPW) trung bình tháng trong khoảng thời gian từ 10/2022 đến 3/2023 ở trạm Vật lý khí quyển Nghĩa Đô

Xem xét biến trình ngày của tổng ẩm khí quyển trong thời gian này cho thấy rằng sự biến đổi của tổng ẩm khí quyển có hai thời điểm đạt cực đại và 2 thời điểm đạt giá trị cực tiểu ở trong ngày. Giá trị cực đại tại thời điểm 10h và 22h (giờ địa phương). Giá trị cực tiểu tại thời điểm 4h và 16h (giờ địa phương).

Kết quả biến đổi của giá trị trung bình ngày cho thấy trong khoảng thời gian nghiên cứu, giá trị trung bình ngày của tổng ẩm khí quyển từ dữ liệu GNSS (TPW_GPS) biến đổi mạnh giữa các ngày trong khoảng thời gian tháng 10 và đầu tháng 11. Tổng ẩm khí quyển trung bình ngày trong các tháng 12 và tháng 1 có giá trị thấp hơn so với các tháng còn lại. Giá trị TPW_GPS trung bình ngày dao động từ 11,6 mm đến 64,7 mm. Kết hợp

với dữ liệu lượng mưa ngày, giá trị TPW_GPS trong những ngày có mưa thường cao hơn những ngày xung quanh.

Trong khoảng thời gian nghiên cứu, khu vực Hà Nội chịu ảnh hưởng của 15 đợt không khí lạnh. Xem xét sự thay đổi của nhiệt độ trung bình ngày, có thể thấy rõ rằng trong đợt không khí lạnh ảnh hưởng đến Hà Nội, giá trị nhiệt độ trung bình ngày giảm đột ngột (hình 4.3). Mức độ giảm nhiệt độ này phụ thuộc vào cường độ của đợt không khí lạnh và điều kiện môi trường trên khu vực trạm. Nhiệt độ trung bình hàng ngày có thể giảm đáng kể (giảm khoảng $12,8^{\circ}\text{C}$ vào ngày 30 tháng 11 năm 2022) hoặc giảm nhẹ hơn (giảm khoảng $0,4^{\circ}\text{C}$ vào ngày 04 tháng 12 năm 2022).



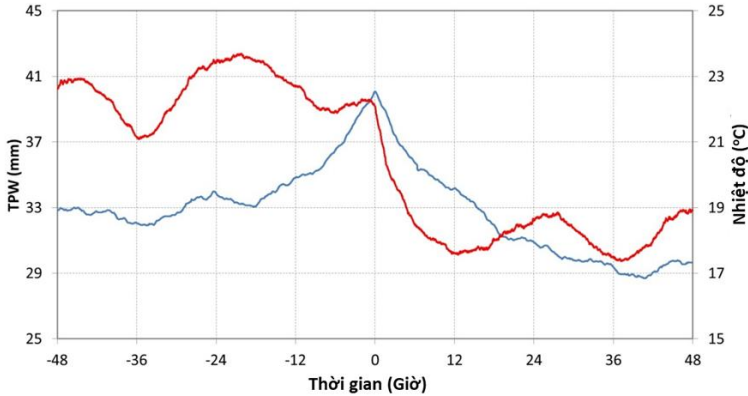
Hình 4.3. Sự biến đổi của giá trị trung bình ngày của TPW tính toán từ dữ liệu GPS (TPW_GPS) (+, màu xanh) và giá trị trung bình ngày của nhiệt độ ở Trạm Vật lý khí quyển Nghĩa Đô (ô vuông, màu đỏ). Đường tròn màu đen thể hiện ngày không khí lạnh ảnh hưởng đến khu vực Hà Nội.

Kết quả phân tích sự biến đổi của nhiệt độ không khí quan trắc tại trạm Vật lý khí quyển Nghĩa Đô cho thấy một số trường hợp xuất hiện hiện tượng nhiệt độ không khí giảm nhanh theo thời gian tại một thời điểm trong ngày không khí lạnh bắt đầu ảnh hưởng đến khu vực Hà Nội. Những trường hợp này bao gồm các đợt không khí lạnh ảnh hưởng đến khu vực Hà Nội trong các ngày 09/10/2022, 30/11/2022, 28/12/2022, 14/02/2023, 24/02/2023 và 25/03/2023. Trong những trường hợp này, chúng ta có thể sử dụng sự thay đổi nhiệt độ không khí tại trạm để xác định thời điểm

không khí lạnh bắt đầu ảnh hưởng đến khu vực trạm. Phân tích sự biến đổi của tổng ẩm khí quyển thì thấy rằng giá trị tổng ẩm khí quyển có xu hướng tăng lên sau lại có xu hướng giảm xuống trong ngày không khí lạnh bắt đầu ảnh hưởng đến khu vực Hà Nội. Thời điểm giá trị tổng ẩm đạt giá trị cực đại gần với thời điểm nhiệt độ không khí giảm nhanh theo thời gian. Trong những trường hợp khi không khí lạnh ảnh hưởng đến khu vực Hà Nội nhưng không thấy có sự biến đổi nhanh của nhiệt độ, sự biến đổi tổng ẩm khí quyển cũng tương tự như các trường hợp có sự giảm nhanh của nhiệt độ. Giá trị tổng ẩm khí quyển có xu hướng tăng lên sau đó có xu hướng giảm xuống trong ngày này. Kết quả mô phỏng mô hình WRF cũng cho thấy xu thế biến đổi của tổng ẩm khí quyển tăng lên sau đó giảm xuống trong những ngày không khí lạnh ảnh hưởng đến Hà Nội. Tuy nhiên thời điểm giảm xuống trong kết quả mô phỏng mô hình xuất hiện sớm hơn so với kết quả tính toán từ dữ liệu GNSS.

Để xem xét tổng quan về sự biến đổi của tổng ẩm khí quyển trong điều kiện không khí lạnh di chuyển, ảnh hưởng đến khu vực trạm, NCS tính trung bình giá trị nhiệt độ không khí và tổng ẩm khí quyển trong 14 đợt không khí lạnh. Kết quả cho thấy thời điểm tổng ẩm khí quyển trung bình đạt giá trị cực đại gần với thời điểm nhiệt độ trung bình bắt đầu giảm nhanh theo thời gian. Giá trị nhiệt độ trung bình đã giảm đi khoảng 4,5 °C trong khoảng 12h sau thời điểm tổng ẩm khí quyển đạt giá trị cực đại. Giá trị tổng ẩm khí quyển trung bình tăng khoảng 5,25 mm trong khoảng thời gian 12 giờ trước khi không khí lạnh di chuyển đến trạm. Giá trị tổng ẩm khí quyển trung bình giảm khoảng 5,9mm trong khoảng thời gian 12 giờ sau khi không khí lạnh ảnh hưởng đến khu vực trạm. Theo các tác giả Phạm Ngọc Toàn và Phan Tất Đắc (1993), front cực đới hình thành khi lưỡi áp cao cực đới lấn về phía nam trong vùng không khí nhiệt đới. Khi đó, không khí lạnh giống như một lưỡi nêm, di chuyển và đẩy lùi không khí nhiệt đới nóng ẩm, buộc khối khí này bốc lên cao dẫn đến sự tạo thành mây dày đặc dọc vùng biên giới hai khối khí. Chuyển động thẳng của khối khí trước

front lạnh có thể là nguyên nhân dẫn đến sự gia tăng của tổng ẩm khí quyển trước khi không khí lạnh di chuyển đến trạm.



Hình 4.4. Biến đổi của TPW (đồ thị màu xanh) và nhiệt độ không khí (đồ thị màu đỏ) tính trung bình của 14 đợt không khí lạnh trong khoảng thời gian ± 48 giờ từ thời điểm TPW đạt giá trị cực đại.

Kết quả bên trên đã chỉ ra rằng, khi có không khí lạnh ảnh hưởng đến khu vực trạm, sự biến đổi của tổng ẩm khí quyển thể hiện những đặc điểm riêng biệt: tổng ẩm khí quyển tăng lên khi không khí lạnh di chuyển đến trạm và nó sẽ giảm mạnh sau khi không khí lạnh di chuyển qua trạm. Với đặc trưng biến đổi này, tổng ẩm khí quyển hoàn toàn có thể được sử dụng như là một dấu hiệu để xác định thời điểm không khí lạnh ảnh hưởng đến khu vực trạm. Tuy nhiên, điều quan trọng cần lưu ý là khi sử dụng dữ liệu tổng ẩm khí quyển để xác định thời điểm không khí lạnh di chuyển đến trạm, chúng ta sẽ phải loại trừ ảnh hưởng của các hệ thống quy mô trung bình khác, chẳng hạn như: bão, áp thấp nhiệt đới và nhiễu động trên đới gió đông. Những hệ thống này có thể tác động đáng kể đến điều kiện thời tiết địa phương.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

KẾT LUẬN

Công trình nghiên cứu đã ứng dụng được số liệu GNSS, số liệu GPSRO và mô hình số trị để nghiên cứu đánh giá một số thông số khí

quyển tại một số khu vực của Việt Nam. Trên cơ sở các kết quả nêu trên, có thể rút ra một số kết luận như sau:

1. Dữ liệu nhiệt độ, độ ẩm tương đối và chỉ số khúc xạ khí quyển từ số liệu wetPf2 phù hợp tốt với dữ liệu thám không vô tuyến trên khu vực Việt Nam và lân cận. Hệ số tương quan giữa hai nguồn dữ liệu dao động trong khoảng 0,86-0,93, 0,63-0,76, 0,76-0,87 tương ứng với nhiệt độ, độ ẩm tương đối và chỉ số khúc xạ khí quyển. Dữ liệu wetPf2 cũng phù hợp tốt với dữ liệu mô phỏng bằng mô hình WRF trong điều kiện bão. Kết quả này xác nhận rằng dữ liệu wetPf2 là một nguồn số liệu quan trắc độc lập tốt bổ sung vào nguồn dữ liệu cao không để nghiên cứu khí quyển và sử dụng trong nghiệp vụ dự báo thời tiết tại khu vực Việt Nam và lân cận.

2. Trên khu vực quần đảo Hoàng Sa và quần đảo Trường Sa, biên độ biến đổi năm của nhiệt độ trong lớp biên lớn hơn trong lớp khí quyển tự do. Biên độ biến đổi năm của nhiệt độ ở khu vực Hoàng Sa đạt $\sim 5^{\circ}\text{C}$, lớn hơn so với khu vực quần đảo Trường Sa ($2,2^{\circ}\text{C}$). Ngược lại, biên độ biến đổi năm của độ ẩm tương đối trong lớp biên khí quyển là nhỏ, biên độ này có giá trị rất lớn trong lớp khí quyển tự do.

3. Cấu trúc của các trường khí quyển trong bão ở khu vực Biển Đông và lân cận từ dữ liệu wetPf2 thể hiện khá rõ ràng vùng dị thường nóng của nhiệt độ tồn tại ở khu vực gần tâm bão từ độ cao 2,5km đến 15km có liên quan đến sự giải phóng ẩn nhiệt do ngưng kết. Vùng dị thường lạnh ở độ cao >16 km liên quan đến hoạt động làm lạnh do bay hơi. Vùng dị thường tăng của độ ẩm tương đối tồn tại trong lớp từ 5km đến 12,5 km trong khu vực bán kính 600 km từ tâm bão liên quan đến hoạt động đối lưu mạnh trong vùng gần tâm bão đã mang ẩm từ mực thấp đến lớp khí quyển bên trên. Vùng dị thường tăng của áp suất hơi nước và chỉ số khúc xạ khí quyển có độ cao thấp hơn, trong lớp từ độ cao 2km đến 3km ở khu vực gần tâm bão.

4. Các kết quả đã khẳng định tổng ẩm khí quyển tính toán từ dữ liệu GNSS với độ phân giải 1 phút là đáng tin cậy và phù hợp với các nguồn dữ liệu khác. Sai số RMSE (hệ số tương quan) giữa tổng ẩm khí quyển xác định từ dữ liệu GNSS và dữ liệu AERONET, thám không vô tuyến và mô

phông mô hình tương ứng là 2,05mm (0,988), 3,24mm (0,996) và 3,03mm (0,984).

5. Sự biến đổi của tổng ẩm khí quyển cho thấy biến trình ngày của tổng ẩm khí quyển có 2 cực đại tại 10h và 22h và 2 cực tiểu tại thời điểm 4h và 16h. Tổng ẩm khí quyển có xu hướng tăng lên trước khi không khí lạnh di chuyển đến trạm. Sau đó nó sẽ giảm xuống sau khi không khí lạnh di chuyển qua khu vực trạm. Sự biến đổi này của tổng ẩm khí quyển có thể được sử dụng như là một trong các tiêu chí để xác định thời điểm không khí lạnh di chuyển đến khu vực trạm.

KIẾN NGHỊ

Dữ liệu GPSRO và GNSS tại bề mặt đã được khẳng định là các nguồn dữ liệu tin cậy để sử dụng trong nghiên cứu khí quyển, thời tiết, khí hậu và nghiệp vụ dự báo ở khu vực Việt Nam. Trong luận án, việc sử dụng số liệu COSMIC-2 để nghiên cứu đặc điểm cấu trúc các trường khí tượng trong bão mới chỉ áp dụng trong mùa bão 2020 với số lượng bão còn ít nên chưa thể đại diện hết cho các mùa bão. Việc đồng hóa dữ liệu này vào mô hình cũng chưa được thực hiện. Trong các nghiên cứu tiếp theo sẽ tập trung vào sử dụng dữ liệu COSMIC-2 và các số liệu GPSRO khác để phân tích các đặc trưng trường khí tượng đối với các mùa bão khác ở Biển Đông, phân tích đặc trưng của các trường khí quyển khác như độ dày lớp biên khí quyển, biến đổi của độ cao đỉnh tầng đối lưu, cũng như nghiên cứu đồng hóa dữ liệu này vào mô hình WRF để dự báo quỹ đạo, cường độ bão và mưa trong bão.

Việc sử dụng số liệu GNSS để tính toán tổng ẩm khí quyển với độ phân giải cao đã cho thấy tiềm năng sử dụng dữ liệu này để giám sát biến đổi khí hậu. Trong luận án đã sử dụng dữ liệu này để phân tích đặc trưng tổng ẩm khí quyển gắn với không khí lạnh, tuy nhiên số lượng đợt không khí lạnh chưa nhiều và đây cũng là những kết quả bước đầu nên cần thiết phải có những nghiên cứu tiếp theo với chuỗi số liệu dài hơn, và có thể với các hiện tượng thời tiết cực đoan khác như mưa lớn. Ngoài ra cũng cần tập trung vào nghiên cứu đồng hóa dữ liệu GNSS vào mô hình WRF trong nghiên cứu mô phỏng và dự báo mưa ở khu vực Hà Nội.

DANH MỤC CÁC BÀI BÁO ĐÃ XUẤT BẢN LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN

- 1) **Khuong Le Pham**, Anh Xuan Nguyen, Hiep Van Nguyen, Son Hai Hoang, Vinh Nhu Nguyen, Thang Van Vu. *Application of WetPf2 Data for Investigating Characteristics of Temperature and Humidity of Air Masses over Paracel and Spratly Islands*. Advances in Meteorology, 2024, Vol 2024.
- 2) **Pham Le Khuong**, Nguyen Xuan Anh, Hiep Van Nguyen, Hoang Hai Son, Nguyen Nhu Vinh, Bui Ngoc Minh. *Precipitable Water Characterization Using Global Navigation Satellite System Data: A Case Study in Nghia Do Area, Vietnam*. Vietnam Journal of Earth Sciences, 2024, Vol 46, No. 1, pp 82-99.