

Bài báo khoa học

Dự báo lại đợt đông gây mưa đá ngày 24–25/01/2020 trên khu vực Đông Bắc Bộ bằng mô hình số

Đoàn Mạnh Duy¹, Nguyễn Minh Trường^{1*}

¹ Khoa Khí tượng Thủy văn và Hải dương học, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội; duydm99@gmail.com; truongnm@vnu.edu.vn

*Tác giả liên hệ: truongnm@vnu.edu.vn; Tel: +84–912075253

Ban Biên tập nhận bài: 2/3/2022; Ngày phản biện xong: 1/4/2022; Ngày đăng bài: 25/5/2022

Tóm tắt: Trong nghiên cứu này, mô hình WRF–ARW được sử dụng để dự báo lại đợt đông gây mưa đá dữ dội trên khu vực Đông Bắc Bộ từ ngày 24–25/01/2020. Kết quả cho thấy mô hình đã dự báo được hình thế qui mô lớn thuận lợi cho sự phát triển đông, đó là hội tụ mực thấp trong rãnh bị nén, front lạnh cùng với rãnh gió tây trên cao và dòng xiết. Hội tụ thông lượng ẩm từ phương nam là nguồn cung cấp năng lượng cho hoạt động của đông. Các chỉ số đông, bao gồm độ xoáy dòng thẳng (UH) và tổng lượng graupel trong cột khí quyển (CTG), cho thấy mô hình đã dự báo tốt thời điểm hình thành, vị trí và hướng di chuyển của các ổ đông. Về mặt độ lớn, chỉ số UH vượt ngưỡng nhưng chỉ số CTG không đạt ngưỡng dự báo đông gây mưa đá cường độ mạnh (tương ứng kích thước hạt đá trung bình trên 25 mm). Phân bố thẳng đứng của graupel gợi ý rằng các chỉ số dùng cho mô hình số dự báo đông gây mưa đá, được xác định cho vùng ngoại nhiệt đới vào mùa hè, có thể cần phải được điều chỉnh cho phù hợp với khu vực Việt Nam.

Từ khóa: Mưa đá; Chỉ số đông; Mô hình WRF–ARW.

1. Mở đầu

Mưa đá là giáng thủy dạng rắn, đường kính hạt từ 5 mm trở lên, thường đi kèm với đông lốc, xảy ra trong các cơn dông mạnh với diện cục bộ và thời gian xảy ra ngắn [1]. Mưa đá thường hình thành trong các ổ dông lớn với dòng thẳng mạnh, nguồn ẩm dồi dào, độ bất ổn định lớn và một số điều kiện ban đầu kích thích đối lưu [2]. Hạt đá có đường kính phổ biến khoảng 2–5 cm, đôi khi có thể đạt tới 15 cm, khối lượng lên tới 500 g mỗi viên. Mưa đá thường xuất hiện ở miền ôn đới và cận nhiệt đới, đôi khi có thể xảy ra ở miền nhiệt đới, tuy nhiên rất hiếm do mực băng kết thường quá cao ở khu vực nhiệt đới. Mưa đá gần như không xuất hiện ở vùng cực do mực thấp quá lạnh cũng như không đủ điều kiện phát triển cơn dông [3].

Dự báo mưa đá là một trong những bài toán thách thức nhất trong ngành khí tượng do tính chất cục bộ cả về không gian và thời gian của hiện tượng [4]. Các phương pháp dự báo đầu tiên được xây dựng dựa trên số liệu quan trắc, sử dụng thông kê tương quan giữa số liệu quan trắc và các trạng thái khí quyển để dự báo kích thước cực đại của mưa đá [5–6]. Dự báo mưa đá hạn cực ngắn (hạn dưới 3 giờ) sử dụng các công cụ như radar, vệ tinh để phát hiện các ổ dông, từ đó có thể cảnh báo hướng di chuyển, cường độ của các cơn dông. Radar khí tượng ngày càng được cải tiến, từ hệ thống radar đơn cực chỉ có thể phát hiện ổ dông cho tới hệ thống radar phân cực có thể phân biệt các trạng thái hạt và kích thước hạt đá, hiện đang được ứng dụng rộng rãi trong nghiệp vụ dự báo [7]. Nhược điểm lớn nhất là hạn dự báo ngắn dẫn tới khó khăn trong phòng chống thiệt hại do mưa đá gây ra.

Với sự phát triển của khoa học máy tính, các nhà khí tượng đã xây dựng nhiều mô hình số (*NWP*) nhằm dự báo mưa đá. Tuy nhiên do sự phức tạp của các quá trình vật lý, các mô hình dự báo mưa đá thường được xây dựng độc lập hoặc được tối giản hóa và tích hợp vào các mô hình lớn dưới dạng mô hình ít chiều, độc lập theo thời gian, với nhược điểm lớn là không mô phỏng hiển kích thước các hạt ngưng kết gây ra bởi các quá trình vi vật lý [8]. Gần đây, các loại mô hình số đối lưu hiển (*convection-allowing models – CAMs*) được xây dựng với đặc điểm độ phân giải thẳng đứng phù hợp cho các hiện tượng đối lưu ở cả khu vực vĩ độ trung bình lẫn khu vực nhiệt đới, đã đáp ứng được tốc độ tính toán và chất lượng sản phẩm, do đó được ứng dụng rộng rãi trong nghiệp vụ [9].

Mưa đá thường được xem là trường hợp đồng kinh điển với cường độ lớn, tốc độ dòng thẳng rất mạnh, nguồn ẩm dồi dào. Trong bài toán dự báo đồng, độ phân giải của mô hình phần lớn chưa thể đáp ứng việc mô phỏng các hiện tượng quy mô nhỏ như mưa đá, gió lốc... do đó người ta sử dụng phương pháp kết hợp chỉ số đồng gây mưa đá (sau đây gọi tắt là chỉ số đồng) với dự báo xác suất đồng nguy hiểm (*surrogate severe probabilistic forecasts – SSPFs*) để cảnh báo đồng. SSPFs sử dụng cho khu vực có độ xoáy dòng thẳng (sẽ nói đến dưới đây) cao giúp tăng độ tin cậy của dự báo hiện tượng thời tiết cực đoan, đặc biệt ở quy mô vừa [10].

Tổng lượng graupel trong cột khí quyển (*column integrated total graupel – CTG*), độ phản hồi radar giả lập bởi mô hình Z tại mực -10°C cũng đã được sử dụng như các chỉ số ước lượng khối lượng mưa đá tiềm năng trong mây, mặc dù khả năng dự báo chưa thực sự tốt và phụ thuộc lớn vào sơ đồ tham số hóa vi vật lý của mô hình [9]. Bên cạnh đó, một số công cụ như thuật toán Thompson, mô hình HAILCAST có thể ước lượng kích thước cực đại hạt đá, cũng là công cụ hữu hiệu để cảnh báo mưa đá.

Tại Việt Nam, mưa đá có thể xảy ra ở hầu hết các địa phương do phần lớn diện tích lãnh thổ có địa hình đồi núi, dễ kích thích dòng thẳng cường bức. Ngoài ra, lãnh thổ nằm trong vùng giao tranh giữa các khối khí, điều kiện nhiệt đới với độ bất ổn định lớn cũng là nguyên nhân khiến mưa đá thường xuyên xuất hiện ở Việt Nam. Mặc dù vậy, nghiên cứu về mưa đá ở Việt Nam còn khá hạn chế về số liệu. Thống kê sơ bộ năm 2020, nhóm thiên tai đồng lốc, mưa đá làm thiệt mạng 54 người, gây thiệt hại về nhà ở hơn 63.000 nhà, tổng thiệt hại lên tới hơn 1000 tỷ đồng [11]. Chính vì thế, mục tiêu của bài báo này là thử nghiệm dự báo lại đợt đồng gây mưa đá trong ngày 24–25/01/2020 xảy ra trên khu vực Đông Bắc Bộ, sử dụng mô hình WRF–ARW (*Weather Research and Forecasting*).

2. Số liệu và phương pháp

2.1. Số liệu

Trong bài báo này, số liệu dự báo toàn cầu GFS của Trung tâm Dự báo Môi trường Hoa Kỳ (*NCEP*) với độ phân giải $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$ được sử dụng làm điều kiện ban đầu và điều kiện biên cho mô hình WRF–ARW để thử nghiệm dự báo lại cơn đồng gây mưa đá nói trên. Số liệu mưa quan trắc tại trạm của Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn quốc gia được sử dụng để đánh giá lượng mưa dự báo. Ngoài ra, bản đồ synop của Cơ quan Khí tượng Thái Lan và số liệu tái phân tích ERA5 của Trung tâm Dự báo Thời tiết Hạn vừa Châu Âu cũng được dùng để hỗ trợ phân tích hình thế cũng như kết quả dự báo của mô hình.

2.2. Cấu hình mô hình WRF–ARW

Trong nghiên cứu này mô hình WRF–ARW được sử dụng với ba miền tính lồng nhau, tương tác 2 chiều. Miền tính 1 có độ phân giải 13,5 km, với 199×199 điểm lưới, tâm miền tính tại 15°N ; 105°E . Miền tính 2 có độ phân giải 4,5 km với 199×199 điểm lưới, bao phủ hoàn toàn khu vực Bắc Bộ và lân cận. Miền tính 3 có độ phân giải 1,5 km, gồm 249×151 điểm lưới đặt trên khu vực Đông Bắc Bộ. Để thấy rõ hơn, 3 miền tính này sẽ được chỉ ra lần

lượt trong Mục 3. Mô hình tính toán trên 35 mực thẳng đứng, chạy cho hạn dự báo 72 giờ, bắt đầu từ 19h ngày 23/01/2020, nghĩa là trước thời điểm xảy ra mưa đá khoảng 1 ngày. Các sơ đồ tham số hóa vật lý được trình bày trong Bảng 1, trong đó sơ đồ tham số hóa đối lưu chỉ được bật cho miền tính 1.

Bảng 1. Sơ đồ tham số hóa sử dụng trong nghiên cứu.

Sơ đồ	Tên/xuất xứ
Vi vật lý mây	Goddard GCE
Bức xạ sóng dài	RRTM
Bức xạ sóng ngắn	Dudhia
Lớp biên hành tinh	YSU
Sơ đồ đất	Sơ đồ khuếch tán nhiệt
Tham số hóa đối lưu	Kain-Fritsch

2.3. Đánh giá điều kiện khí quyển môi trường

Để đánh giá trường ẩm của môi trường xảy ra dông sử dụng mô hình số, người ta thường sử dụng biến *hội tụ thông lượng ẩm tích lũy theo chiều thẳng đứng (VIMFC)*, bởi khả năng dự báo của các mô hình số hiện nay là khá tốt so với thực tế. Từ phương trình cân bằng ẩm, VIMFC được tính từ *thông lượng ẩm tích lũy theo chiều thẳng đứng (VIMF)* [12]:

$$VIMF = \frac{1}{g} \int_{p_2}^{p_1} qVdp \quad (1)$$

$$VIMFC = -\text{div}(VIMF) = -\frac{1}{g} \int_{p_2}^{p_1} \left(\frac{\partial uq}{\partial x} + \frac{\partial vq}{\partial y} \right) dp \quad (2)$$

Trong đó p_1, p_2 là áp suất mực dưới và mực trên của lớp khí quyển cần tính toán (thường sử dụng với hai mực 1000 và 300 mb); q là độ ẩm riêng (kg kg^{-1}), V là vector vận tốc gió với u, v là thành phần vĩ hướng và kinh hướng (m s^{-1}). Đơn vị của VIMFC là $\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Ngoài ra, các biến như *năng lượng đối lưu tiềm năng CAPE*, *vận tốc dòng thẳng w*,... cũng có thể được sử dụng để phân tích các chỉ số môi trường của các cơn dông.

2.4. Phương pháp dự báo mưa đá do dông

Bài báo sử dụng hai chỉ số dông, bao gồm *độ xoáy dòng thẳng UH* và *tổng lượng graupel trong cột khí quyển CTG*, để thử nghiệm dự báo mưa đá trước 24h. Độ xoáy dòng thẳng (*updraft helicity – UH*) được định nghĩa bởi [13]:

$$UH = \int_{z_0}^z \zeta w dz \quad (3)$$

Trong đó ζ (s^{-1}) là xoáy tương đối, w (m s^{-1}) là vận tốc thẳng đứng giữa hai mực z_0 và z_1 , thông thường tương ứng với 2 và 5 km. UH đã được sử dụng để nhận diện các vùng xoáy thẳng đứng mạnh từ kết quả của mô hình số [14]. UH cho thấy khả năng dự báo dông và các hiện tượng thời tiết cực đoan hạn 24h cũng như hạn cực ngắn đến 1h. Tuy nhiên, nó có những hạn chế về độ phân giải và khả năng dự báo dông cường độ trung bình [15]. Bên cạnh đó, SSPFs sử dụng cho khu vực có trị số UH cao giúp tăng độ tin cậy của dự báo hiện tượng thời tiết cực đoan, đặc biệt ở quy mô vừa [10].

Tổng lượng graupel trong cột khí quyển (*Column integrated total graupel – CTG*) dùng để đánh giá lượng đá tiềm năng trong ổ dông được tính theo công thức:

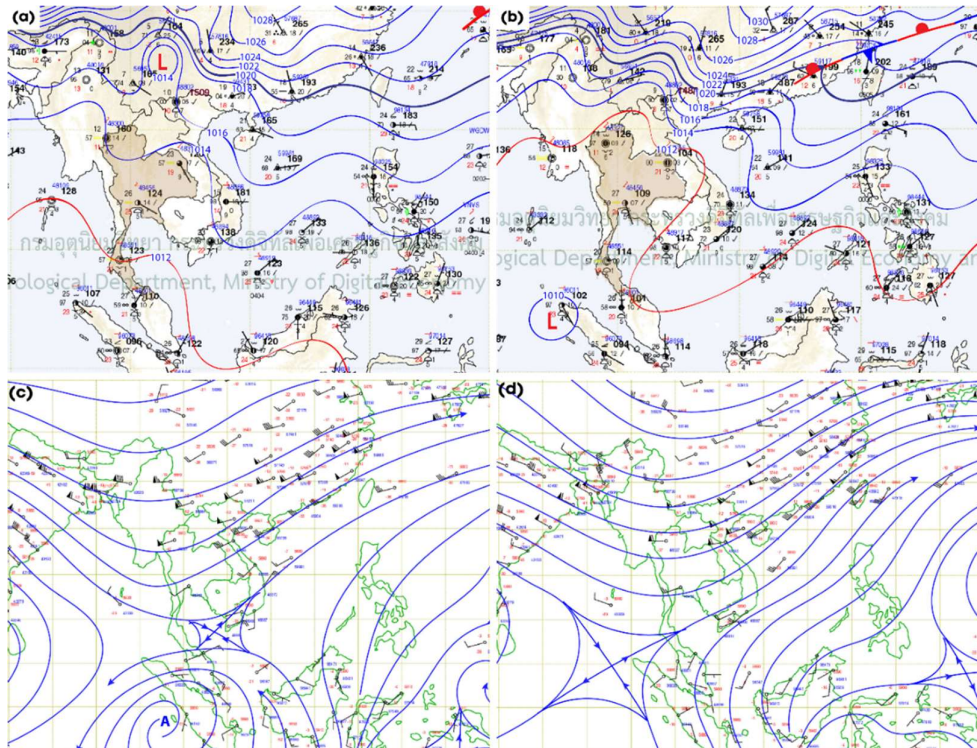
$$CTG = \int_{z_0}^{z_1} q_{\text{group}} \cdot \rho_{\text{air}} dz \quad (4)$$

Theo Labriola và ccs [9], $UH_{\text{max}} > 75 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$, $CTG > 25 \text{ kg m}^{-2}$ là ngưỡng chỉ tiêu cảnh báo dông cường độ mạnh (tương đương kích thước hạt đá cực đại THAIL $> 25 \text{ mm}$); trường hợp dông rất mạnh (kích thước hạt đá cực đại THAIL $> 50 \text{ mm}$) tương ứng với ngưỡng cảnh báo $UH_{\text{max}} > 150 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ và $CTG > 50 \text{ kg m}^{-2}$. Các ngưỡng chỉ số này thường dùng cho các mô hình có độ phân giải một vài km, do đó chúng được thử nghiệm làm ngưỡng dự báo tham khảo cho trường hợp này.

3. Diễn biến dông và kết quả thử nghiệm

3.1. Diễn biến đợt dông gây mưa đá

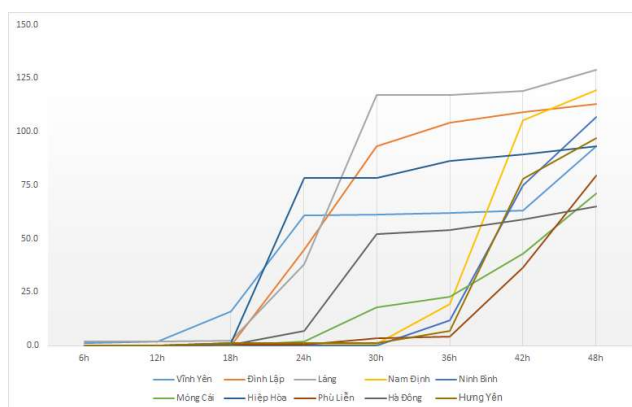
Ngày 24/01/2020, Bắc Bộ chịu ảnh hưởng của rãnh thấp bị nén có trục khoảng $23\text{--}25^\circ\text{N}$ do khối không khí lạnh kèm front lạnh trên lục địa Trung Quốc đang lấn xuống phía nam (Hình 1a). Trên mực 850 mb và cao hơn, rãnh gió tây cường độ mạnh khơi sâu tương đối nhanh, khu vực Bắc Bộ nằm trước rãnh nơi tốc độ gió đạt cực đại (Hình 1c). Sang ngày 25/01, khối không khí lạnh đã ảnh hưởng trực tiếp đến Việt Nam với các đường đẳng áp dạng sóng hội tụ trên Bắc Bộ (Hình 1b), trong khi rãnh gió tây di chuyển chậm tiếp tục khống chế khu vực (Hình 1d). Kết hợp với điều kiện nhiệt ẩm tương đối cao trước những ngày này, mưa dông mạnh kèm mưa đá, gió lốc xuất hiện từ chiều ngày 24/01 đến hết ngày 25/01 trên diện rộng 9 tỉnh vùng Đông Bắc Bộ. Lượng mưa đo được phổ biến từ 40–80 mm, có nơi trên 100 mm.



Hình 1. Bản đồ synop (a) mặt đất và (c) mực 850 mb lúc 07h ngày 24/01/2020. Hình (b) và (d) tương tự cho thời điểm 07h ngày 25/01.

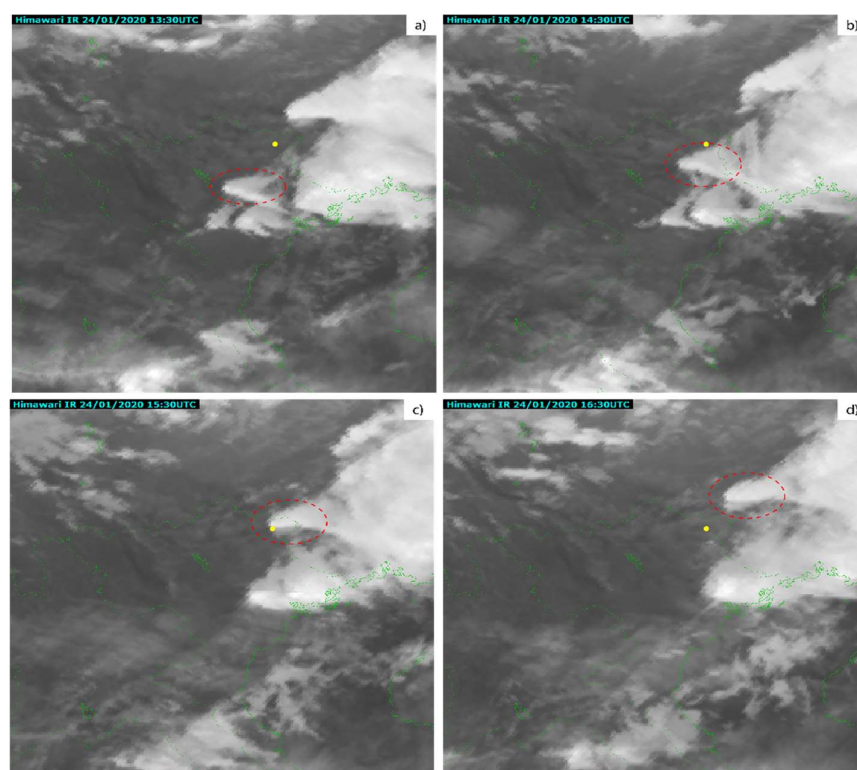
Sử dụng số liệu mưa quan trắc tại 10 trạm trên khu vực Đông Bắc Bộ, lượng mưa tích lũy 48h từ 19h ngày 23/01 tới 19h ngày 25/01 (Hình 2) cho thấy đợt mưa có thể chia làm hai đợt chính. Đợt thứ nhất bắt đầu từ chiều ngày 24/01, ghi nhận tại các trạm trung du và miền

núi phía bắc như Vĩnh Yên (Vĩnh Phúc), Đình Lập (Lạng Sơn), Hiệp Hòa (Bắc Giang), lượng mưa tích lũy trung bình khoảng 50 mm/12h. Một số trạm khu vực đồng bằng Bắc Bộ như Láng và Hà Đông (Hà Nội) ghi nhận mưa trễ hơn, xảy ra trong đêm 24/01 với cường độ mưa lớn. Đợt thứ hai bắt đầu từ trưa—chiều ngày 25/01, một số trạm khu vực đồng bằng Bắc Bộ ghi nhận lượng mưa tích lũy rất lớn trong 6h như Nam Định 86 mm, Hưng Yên 78 mm và Ninh Bình 63 mm. Cường độ mưa lớn như vậy xảy ra trên diện rộng trong Tháng 1 là không nhiều.



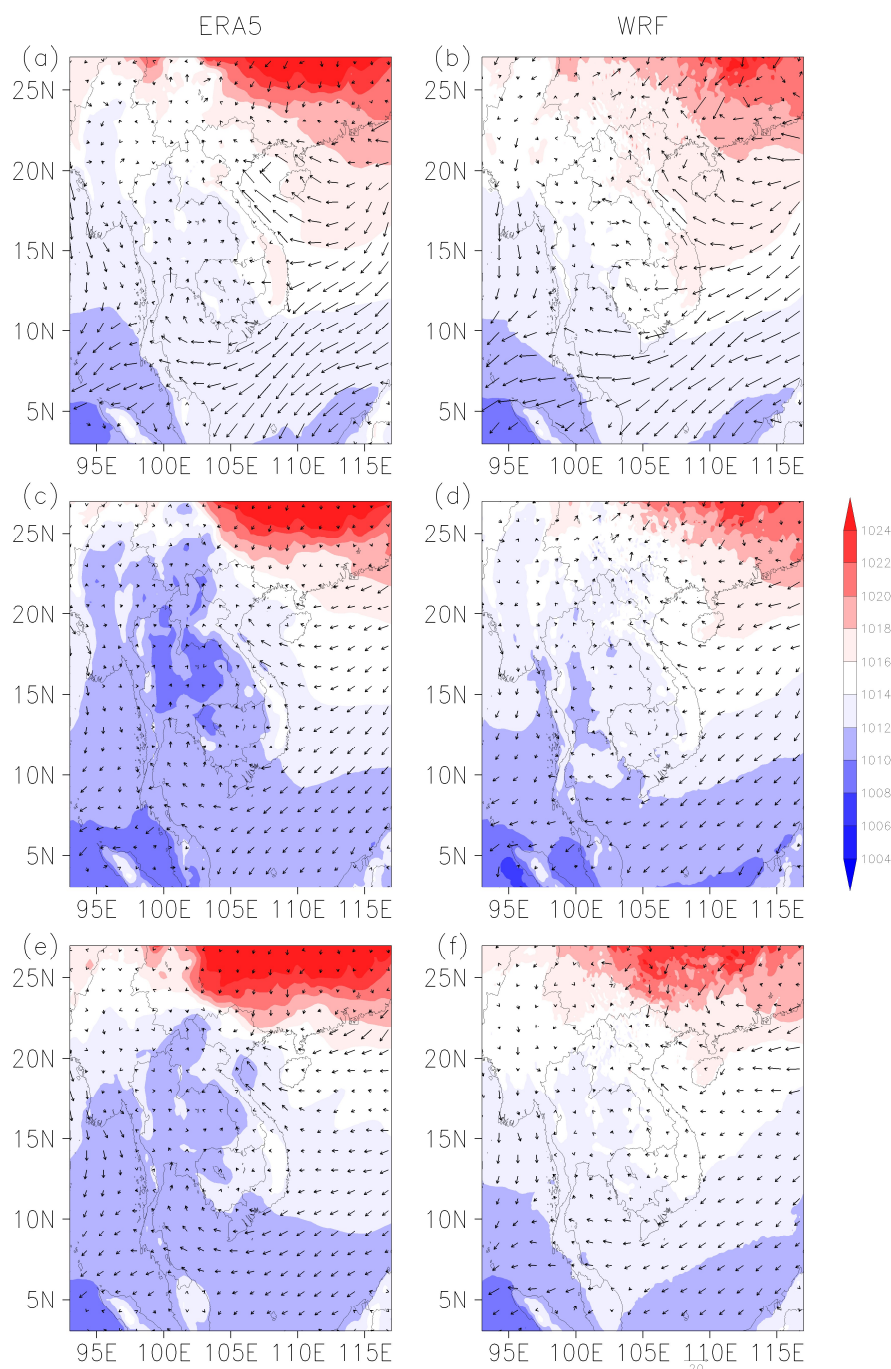
Hình 2. Lượng mưa quan trắc (mm) tại một số trạm từ 19h 23/01 tới 19h 25/01/2020.

Ảnh mây vệ tinh hồng ngoại cho thấy sự tồn tại của hai cụm ô mây dông chính trên khu vực Bắc Bộ trong ngày 24/01/2020 (Hình 3). Cụm thứ nhất là các ô mây dông hình thành trên khu vực tỉnh Hòa Bình, di chuyển theo hướng đông bắc qua các tỉnh Bắc Kạn, Cao Bằng và đi vào lãnh thổ Trung Quốc. Cụm mây dông thứ hai có qui mô ngang lớn hơn, hình thành ở phía nam của cụm thứ nhất, phát triển và di chuyển chậm hơn dọc các tỉnh duyên hải Bắc Bộ theo hướng đông đông bắc. Các ô dông hình thành trong vùng mây đối lưu phát triển theo chu kỳ khoảng 2–3 giờ, di chuyển chậm hoặc ít di chuyển, cấu trúc dông có ô đậm đặc với đỉnh mây đối lưu cho thấy cường độ đối lưu rất lớn trong ô dông.



Hình 3. Ảnh mây vệ tinh IR tại (a) 20h30, (b) 21h30, (c) 22h30 và (d) 23h30 24/01/2020. Đường oval nét đứt thể hiện vị trí ổ dông gây mưa đá, chấm vàng là Thành phố Cao Bằng. Nguồn: Trung tâm Dự báo Khí tượng Thủy văn Quốc gia.

Các báo cáo mưa đá được ghi nhận trong hai ngày 24 và 25/01 cho thấy mưa đá xuất hiện nhiều nhất trong đêm ngày 24/01. Mưa đá được ghi nhận tại 9 tỉnh Bắc Bộ và Thanh Hóa, đường kính hạt đá trung bình khoảng 1–3 cm, cá biệt có trường hợp lên tới hơn 5 cm. Đặc biệt trong đêm 24/01 tại Tp. Việt Trì (Phú Thọ), Tp. Cao Bằng (Cao Bằng), Bạch Thông (Bắc Kạn), ... đã ghi nhận mưa đá kèm dông lốc cường độ cao. Riêng tại Cao Bằng xảy ra hai đợt mưa đá vào lúc 19h30 và 22h15 ngày 24/01, kích thước hạt đá trong đợt thứ hai lên tới 3–4 cm [16]. Đợt thiên tai này gây thiệt hại lớn nhất tại ba tỉnh Cao Bằng, Bắc Kạn và Lạng Sơn, tổng thiệt hại về kinh tế ước tính 133 tỷ đồng [11].

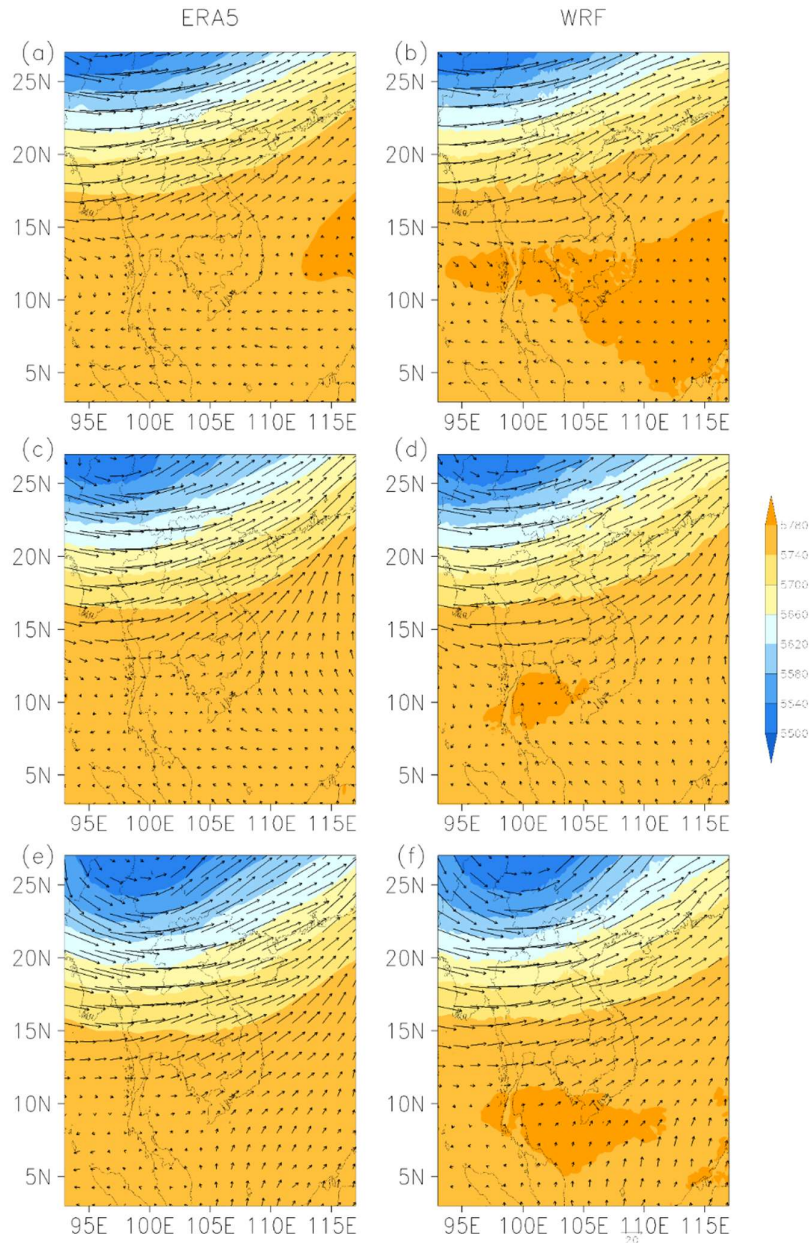


Hình 4. Trường khí áp bề mặt và gió 10 m từ số liệu tái phân tích ERA5 tại (a) 07h 24/01, (c) 19h 24/01 và (e) 07h 25/01/2020. Hình (b), (d) và (f) là tương tự với kết quả dự báo trên miền tính 1 của mô hình WRF-ARW.

3.2. Dự báo điều kiện môi trường của dông

Trong mục này, khả năng dự báo các trường quy mô lớn của mô hình WRF-ARW được đánh giá định tính sử dụng kết quả dự báo trên miền tính thứ nhất, so với số liệu tái phân tích (Hình 4). Nhìn chung, kết quả mô hình tương đồng rất tốt so với số liệu tái phân tích trong việc xác định các hình thể quy mô lớn trong đợt xâm nhập lạnh này. Đó là không khí lạnh

trên lục địa Á-Âu đang trên đường di chuyển xuống phía nam trên lục địa Trung Quốc, đẩy khu vực hội tụ gió mực thấp xuống Bắc Bộ trong chiều và tối 24/01 (Hình 4a–4d). Đồng thời, rãnh gió tây trên cao đang khơi sâu dần xuống phía nam, kết quả là Bắc Bộ nằm dưới vùng dòng xiết phía trước rãnh, với vận tốc trung bình từ $30\text{--}35\text{ m s}^{-1}$ (Hình 5a–5d). Đến 7h sáng 25/01, không khí lạnh bắt đầu ảnh hưởng trực tiếp tới Bắc Bộ (Hình 4e, 4f), trong khi đó rãnh gió tây đạt trạng thái khơi sâu cực đại, bước sóng giảm trong thời gian rất ngắn (Hình 5e, 5f).

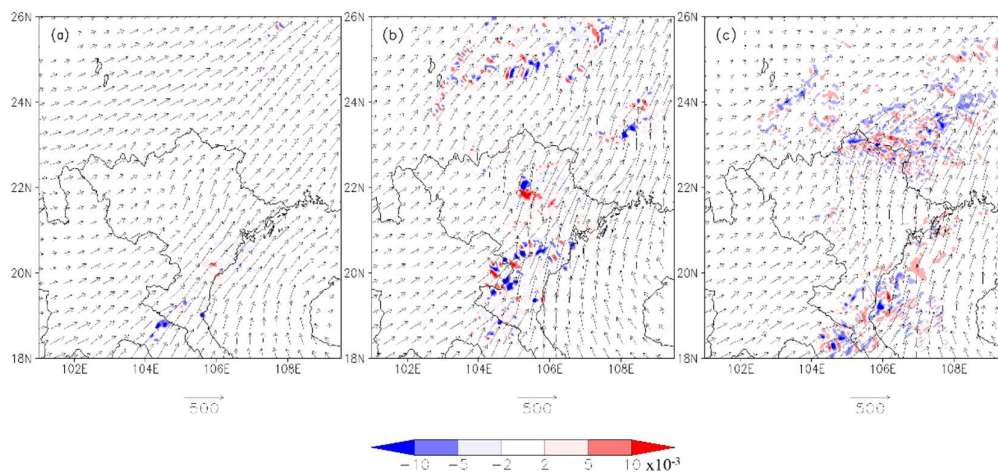


Hình 5. Độ cao địa thế vị và gió mực 500 mb từ số liệu tái phân tích ERA5 lúc (a) 07h 24/01, (c) 19h 24/01 và (e) 07h 25/01/2020. Hình (b), (d) và (f) là tương tự với kết quả dự báo trên miền tính 1 của mô hình WRF–ARW.

Có thể nói kết quả dự báo của mô hình là rất tốt, ngoại trừ trường gió bề mặt (khí áp) mạnh (yếu) hơn một chút so với số liệu tái phân tích trên lãnh thổ Trung Quốc. Hình thể độ cao địa thế vị và rãnh gió tây mực 500 mb được mô hình dự báo gần như tương đồng so với

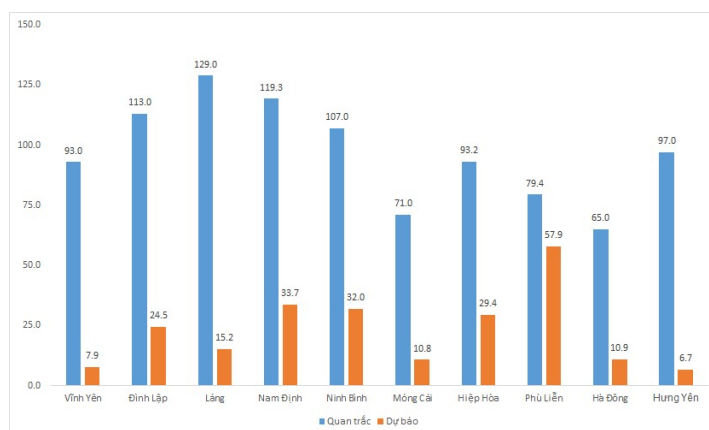
trường tái phân tích, ngoại từ nam Biển Đông và vịnh Thái Lan mô hình cho kết quả dự báo độ cao địa thế vị thấp hơn một chút. Như vậy, tổ hợp điều kiện nâng mực thấp gồm hội tụ gió trong rãnh bị nén, vùng front lạnh mực thấp kết hợp với dòng xiết trước rãnh trên cao là môi trường thuận lợi cho sự phát triển dông cường độ mạnh, xảy ra trên diện rộng trên khu vực Đông Bắc Bộ như đã mô tả ở trên.

Đánh giá môi trường ẩm trên khu vực Bắc Bộ trong thời gian này có thể thấy dòng ẩm có xu thế di chuyển theo hướng đông bắc, với thông lượng ẩm lớn chủ yếu xuất hiện trên khu vực Đông Bắc Bộ với trị số VIMF đạt trên $400 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ (Hình 6). Như vậy có thể thấy rằng điều kiện cần cho đợt mưa dông này là sự xâm nhập xuống phía nam của khối không khí lạnh kèm front lạnh từ vĩ độ trung bình, còn điều kiện đủ là dòng ẩm từ vùng nhiệt đới sẽ cung cấp năng lượng cho hoạt động của đối lưu sâu. Hội tụ thông lượng ẩm cho thấy sự tồn tại dưới dạng các cấu trúc quy mô vừa, biến đổi nhanh theo thời gian, xuất hiện từ ngày 24/01 trên khu vực Đông Bắc Bộ và đạt cường độ rất mạnh trước và sau 19h ngày 24/01, với VIMFC có thể lên tới $10.10^{-3} \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ trên khu vực tỉnh Thái Nguyên–Bắc Kạn (Hình 6b). Vùng hội tụ ẩm rất mạnh này được dự báo tiếp tục di chuyển theo hướng đông bắc trong đêm 24 và sáng 25/01, đi vào lãnh thổ Trung Quốc (Hình 6c). Có thể thấy mô hình WRF–ARW cho kết quả dự báo tâm cực đại của VIMFC rất đáng chú ý, cả về vị trí xuất hiện và hướng di chuyển trong trường hợp này, phù hợp với thực tế quan trắc từ ảnh vệ tinh.



Hình 6. Thông lượng ẩm tích lũy thẳng đứng (VIMF) tới mực 300 mb (vector) và VIMFC (tô màu) lúc (a) 07h 24/01, (b) 19h 24/01 và (c) 07h 25/01/2020 trên miền tính 2 của mô hình WRF–ARW.

Tiếp theo, so sánh lượng mưa quan trắc và dự báo tại trạm cho thấy mô hình có xu thế dự báo lượng mưa trên miền tính 2 thấp hơn đáng kể so với quan trắc (Hình 7). Số liệu quan trắc cho thấy lượng mưa cả đợt phân bố tương đối đều trên khu vực Đông Bắc Bộ, phổ biến trên 60 mm. Một số trạm ghi nhận lượng mưa rất lớn như Láng 129.0 mm, Nam Định 119.3 mm và Đình Lập 113.0 mm. Trong khi đó, mô hình đưa ra dự báo lượng mưa khá thấp, phổ biến dưới 40 mm. Mô hình có xu hướng cho lượng mưa lớn hơn trên khu vực các tỉnh ven biển Bắc Bộ như Phù Liễn 52.9 mm, Nam Định 33.7 mm và Ninh Bình 32.0 mm. Nhìn chung, mô hình có thể dự báo khả năng xuất hiện mưa lớn trên khu vực Đông Bắc Bộ, nhưng kết quả dự báo lượng mưa tại từng trạm cụ thể chưa thực sự tốt, ngay cả với miền tính 3 (kết quả không khác nhiều với miền tính 2 và không đưa ra ở đây).



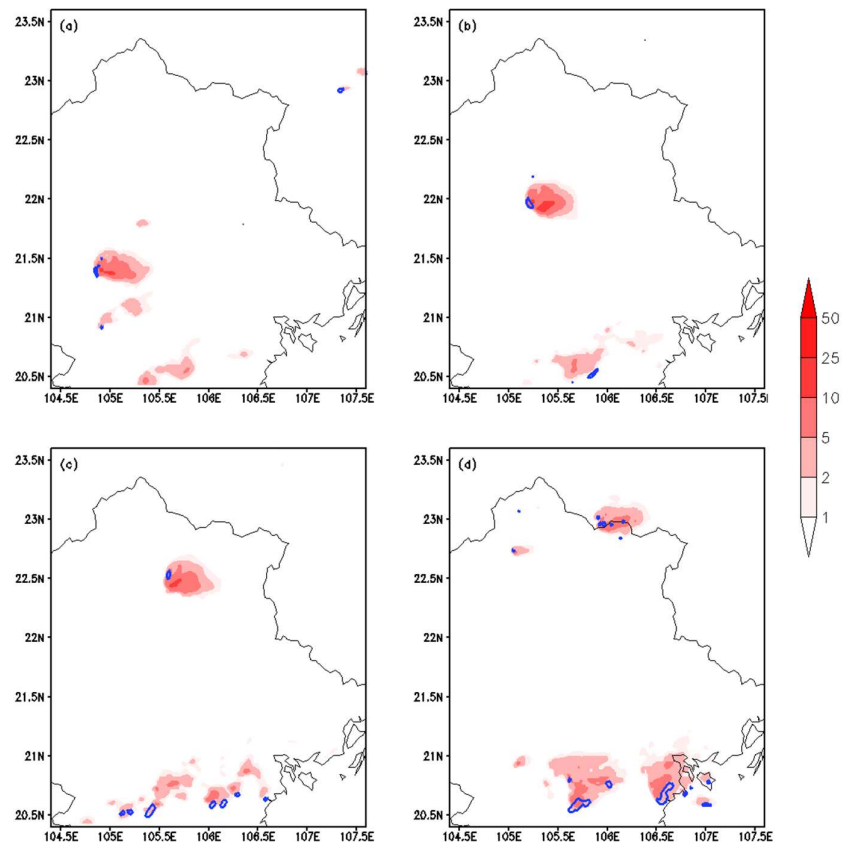
Hình 7. Lượng mưa tích lũy 48 giờ tại một số trạm từ 19h ngày 23/01 đến 19h ngày 25/01/2020 của số liệu quan trắc và mô hình dự báo trên miền tính 2.

3.3. Thử nghiệm dự báo dông và mưa đá

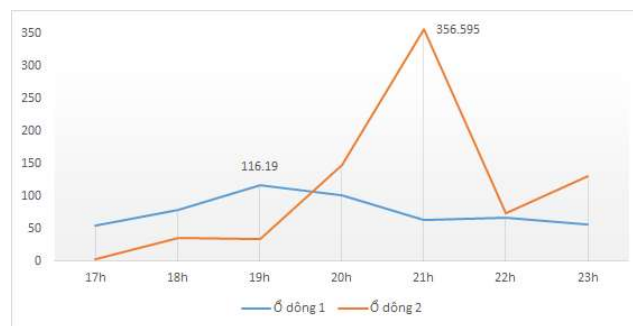
Để đánh giá bước đầu khả năng dự báo dông gây mưa đá của mô hình WRF–ARW, các chỉ số UH và CTG tại một số lát cắt thời gian được đưa ra trên Hình 8. Trong khoảng thời gian từ 18 đến 21 h ngày 24/01, hai chỉ số UH và CTG cho thấy có khả năng xuất hiện hai cụm “ô dông” trên khu vực Đông Bắc Bộ. Ô dông thứ nhất di chuyển theo hướng đông bắc, đi qua khu vực các tỉnh Hòa Bình, Thái Nguyên, Bắc Kạn và qua Cao Bằng sang Trung Quốc. Dễ thấy là vùng có chỉ số UH vượt ngưỡng $25 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ và CTG đạt ngưỡng $10\text{--}25 \text{ kg m}^{-2}$ tồn tại dưới dạng các trung tâm qui mô vừa γ . Cụm dông thứ hai phát triển và di chuyển chậm theo hướng đông đông bắc, dọc các tỉnh ven biển Đồng bằng Bắc Bộ. Nhóm ô dông này có cấu trúc không gian rời rạc hơn, tồn tại nhiều tâm, với lượng đá tiềm năng trong mây thấp, chỉ số CTG chỉ đạt ngưỡng $5\text{--}10 \text{ kg m}^{-2}$. Trong khi đó, giá trị của CAPE được dự báo không quá lớn, phổ biến vào khoảng trên 500 J Kg^{-1} trên Bắc Bộ (kết quả không đưa ra), cho thấy điều kiện bất ổn định địa phương có thể đóng vai trò thứ yếu, còn sự phát triển mạnh mẽ của dông chủ yếu do yếu tố động lực gây ra.

Như đã thấy trên Hình 8, các khu vực có chỉ số dông tiềm năng tồn tại dưới dạng các cấu trúc qui mô vừa γ , tương đối khó quan sát trên mặt cắt ngang. Do đó, để đánh giá diễn biến cường độ theo thời gian, giá trị UH cực đại xung quanh các ô dông được đưa ra trên Hình 9. Có thể thấy ô dông thứ nhất có khả năng hình thành và phát triển sớm hơn (từ 17h) so với ô dông thứ hai (sau 19h). Ô dông thứ nhất có UH cực đại đạt ngưỡng $75 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ trong khoảng thời gian 17–18h, phát triển cực đại tại thời điểm 19h với giá trị đạt $116 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$, sau đó giảm dần nhưng vẫn ở ngưỡng tương đối cao. Đây là khoảng thời gian trùng với thời gian ghi nhận hiện tượng mưa đá xảy ra trong thực tế trên khu vực các tỉnh Bắc Kạn–Cao Bằng và lân cận. Cụm dông thứ hai phát triển rất nhanh sau 19h, đạt trạng thái cực đại lúc 21h với giá trị UH cực đại lên tới $356 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ trong ô dông phía tây. Sau thời điểm đạt trạng thái cực đại, các ô dông đều giảm cả về quy mô ngang và giá trị UH, tương ứng với giai đoạn tan rã của cơn dông.

So sánh với ngưỡng dự báo ($UH_{\max} > 75 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ và $CTG > 25 \text{ kg m}^{-2}$) được đưa ra trong các nghiên cứu trước đây cho mưa đá cường độ mạnh với kích thước hạt đá cực đại $> 25 \text{ mm}$, hai ô dông dự báo đều có giá trị UH vượt ngưỡng, nhưng chỉ số CTG chỉ đạt xấp xỉ 12 và 6 kg m^{-2} tương ứng cho ô dông thứ nhất và thứ hai. Tuy nhiên, lưu ý là trong các nghiên cứu trước đây nơi các chỉ tiêu dự báo được đề xuất, dông gây mưa đá xảy ra ở vĩ độ trung bình trong mùa hè với CAPE lớn còn dông trong nghiên cứu này xảy ra trong mùa đông vùng nhiệt đới với CAPE nhỏ. Do đó có thể có sự khác biệt trong ngưỡng chỉ số được áp dụng, nhất là khi áp dụng cho sản phẩm mô hình số.



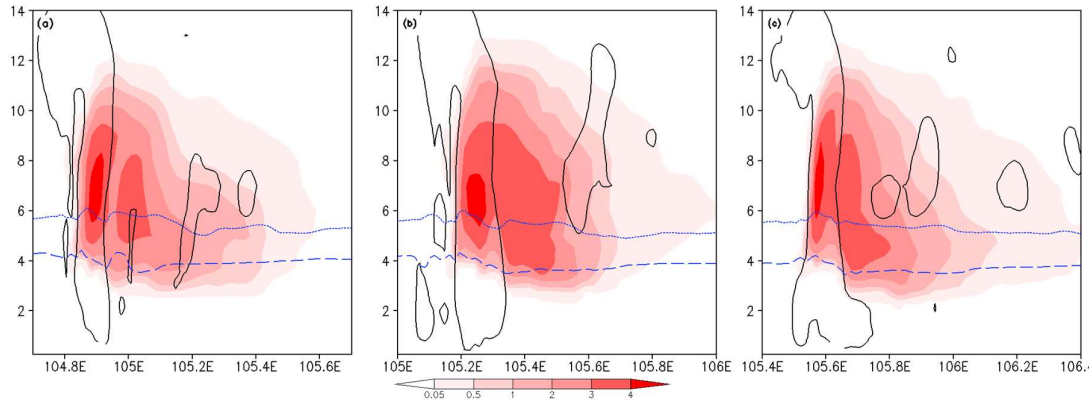
Hình 8. CTG (tô màu) và $UH > 25 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ (đường liền) tại thời điểm (a) 18h, (b) 19h, (c) 20h và (d) 21h ngày 24/01/2020 tính cho miền tính 3 của mô hình WRF–ARW.



Hình 9. Giá trị cực đại UH ($\text{m}^2 \text{ s}^{-2}$) trên hai khu vực ô đồng, tính cho miền tính 3 của mô hình WRF–ARW.

Tiếp theo, quan sát mặt cắt thẳng đứng vĩ hướng ngang qua ô đồng thứ nhất tại một số thời điểm phát triển cho thấy 1) phân bố graupel cho thấy cấu trúc điển hình của đồng đơn ô cường độ rất mạnh, 2) graupel tồn tại chủ yếu trong lớp khí quyển 4–12 km với qui mô ngang có thể $> 30 \text{ km}$, và 3) vùng có mật độ graupel cực đại nằm trong khu vực lõi dòng thẳng, ở phía trên đường đẳng nhiệt -10°C ở độ cao khoảng 6,5–7 km (Hình 10). Phân bố graupel như trên khác tương đối nhiều so với phân bố graupel trong các cơn đồng gây mưa đá vùng ngoại nhiệt đới vào mùa hè [9]. Với phân bố nhiệt và graupel như vậy, chỉ số CTG được tính tích lũy trong lớp dưới 4 km sẽ không có ý nghĩa vì trong lớp khí quyển này hầu như không có

graupel. Thực tế này cho thấy trong tình huống dự báo, CTG cần được xem xét với ngưỡng phù hợp hơn và có thể xem xét đưa ra quyết định dự báo mưa đá trong trường hợp này, ít nhất là cho các khu vực ổ dông thứ nhất di chuyển qua, đặc biệt trên các tỉnh Thái Nguyên, Bắc Kạn và Cao Bằng.



Hình 10. Mặt cắt thẳng đứng vĩ hướng qua ổ dông tại (a) 18h, (b) 19h và (c) 20h ngày 24/01/2020. Vùng màu thể hiện mật độ graupel (g m^{-3}), đường liền đen chỉ vùng có vận tốc thẳng đứng $w > 1 \text{ m s}^{-1}$, đường đứt xanh là đường đẳng nhiệt 0°C , đường chấm thể hiện đường đẳng nhiệt -10°C .

4. Kết luận

Mưa đá là một trong những hiện tượng thời tiết nguy hiểm qui mô vừa gây nhiều thiệt hại về người và tài sản ở Việt Nam, nhất là trong các tháng chuyển tiếp, khi có sự giao tranh của các khối khí. Đợt dông gây mưa đá cường độ mạnh trên diện rộng ở Đông Bắc Bộ trong các ngày 24–25/01/2020 xảy ra trong tháng chính đông, khi có sự dịch chuyển xuống phía nam của khối không khí lạnh kèm front lạnh, đồng thời khu vực Bắc Bộ nằm trước rãnh gió tây trên cao cùng dòng xiết đi kèm. Sử dụng số liệu dự báo toàn cầu GFS làm điều kiện biên và điều kiện ban đầu, mô hình WRF–ARW đã dự báo lại rất tốt hình thể thuận lợi cho sự phát triển dông gây mưa đá này khi so sánh với số liệu tái phân tích. Nếu nói sự xâm nhập lạnh xuống phía nam của không khí lạnh cùng với rãnh gió tây trên cao là điều kiện cần, thì dòng thông lượng ẩm từ miền nhiệt đới là điều kiện đủ cho sự phát triển của đối lưu sâu trong các ổ dông. Dưới góc độ khí tượng synop, hội tụ ẩm qui mô lớn hay được nhắc đến, nhưng với sản phẩm mô hình số thì các vùng hội tụ/phân kỳ ẩm tồn tại đan xen dưới dạng các cấu trúc qui mô vừa, ít nhất là trong các tình huống xâm nhập lạnh.

Về các hiện tượng thời tiết, mô hình có thể dự báo mưa lớn xảy ra ở Đông Bắc Bộ nói chung, nhưng so với số liệu quan trắc, lượng mưa dự báo của từng trạm chưa thực sự tốt. Tuy nhiên, với hai chỉ số dông UH và CTG mô hình lại cho kết quả dự báo rất đáng chú ý. Có thể nói rằng trong trường hợp nghiên cứu này, mô hình WRF–ARW đã dự báo thời điểm, vị trí xuất hiện và hướng di chuyển của các “ổ dông” rất sát so với thực tế khi so sánh với ảnh mây vệ tinh IR. Đây là kết quả rất khả quan đối với các dự báo hiện tượng thời tiết nguy hiểm qui mô vừa bằng mô hình số, và cũng là lý do mà các chỉ số dông ngày càng được sử dụng nhiều trong thực tiễn [9, 10, 13, 14, 15, 17]. Về mặt trị số, chỉ số UH vượt ngưỡng $75 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ ở cả hai cụm ổ dông nhưng CTG dưới ngưỡng 25 kg m^{-2} (hơn 11 và 5 kg m^{-2} tương ứng cho cụm ổ dông thứ nhất và thứ hai) cho mưa đá cường độ mạnh với đường kính trên 25 mm [9]. Về qui mô không gian ngang, vùng chỉ số UH và CTG cực đại tồn tại dưới dạng các cấu trúc qui mô vừa γ , nghĩa là từ vài đến vài chục km.

Mặt cắt thẳng đứng cho thấy mật độ graupel cực đại nằm phía trên đường đẳng nhiệt -10°C , ở độ cao trên 6,5 km. Trong lớp khí quyển dưới 4 km, mật độ graupel rất nhỏ, thậm chí không có. Hơn nữa, giá trị của CAPE trong nghiên cứu này không lớn, cho thấy cơ chế

gây dông kèm mưa đá ở Việt Nam trong mùa đông và chuyển tiếp khác với cơ chế gây dông kèm mưa đá ở vùng vĩ độ trung bình trong mùa hè. Tất cả những điều này cho thấy rằng các chỉ số dùng cho mô hình số dự báo dông gây mưa đá có thể cần phải được điều chỉnh cho phù hợp hơn, ví dụ điều chỉnh ngưỡng CTG cho khu vực Việt Nam. Ngoài ra, cũng cần có thêm các nghiên cứu thử nghiệm dự báo mưa đá bằng một số phương pháp khác như PSD, HAILCAST [18] hoặc kết hợp với học máy để dự báo tốt hơn các hiện tượng thời tiết nguy hiểm, cụ thể đoạn [8,15,17].

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.M.T.; Lựa chọn cấu hình miền tính: Đ.M.D., N.M. Trường; Chạy và xử lý số liệu mô hình: Đ.M.D.; Viết bản thảo bài báo: Đ.M.D.; Chỉnh sửa bài báo: N.M.T.

Lời cảm ơn: Số liệu dùng trong nghiên cứu này được cung cấp bởi Trung tâm Dự báo Môi trường Hoa Kỳ, Trung tâm Dự báo Thời tiết Hạn vừa Châu Âu, Trung tâm Dự báo Khí tượng Thủy văn Quốc gia, và Cơ quan Khí tượng Thái Lan.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ bất kỳ nghiên cứu nào trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Knight, C.; Knight, N.; Brooks, H.E. Mesoscale meteorology: Hail and hailstorms. *Encycl. Atmos.Sci.* **2015**, 334–338.
2. Changnon, S.A.; Changnon, D.; Hilberg, S.D. Hailstorms across the nation: An atlas about hail and its damages. 2009. www.isws.illinois.edu.
3. Minh, T. C. Khí tượng synop phần nhiệt đới. **2003**, Nhà xuất bản Đại học Quốc gia Hà Nội.
4. Melcón, P.; Merino, A.; Sánchez, J. L.; López, L.; García-Ortega, E. Spatial patterns of thermodynamic conditions of hailstorms in southwestern France. *Atmos. Res.* **2017**, 189, 111–126.
5. Fawbush, E.J.; Miller R. C. A method of forecasting hailstone size at the earth's surface. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* **1953**, 34, 235–244.
6. Foster, D. S.; Ferdinand, C. B. A hail size forecasting technique. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* **1956**, 37, 135–141.
7. Brandes, E.; Ryzhkov, A. Hail detection with polarimetric radar. Conference on Aviation, Range, and Aerospace Meteorology 2004.
8. Kálmán C. A new hail size forecasting technique by using numerical modeling of hailstorms: A case study in Hungary. *IDŐJÁRÁS* **2015**, 119, 443–474.
9. Labriola, J.; Snook, N.; Xue, M.; Thomas, K.W. Forecasting the 8 May 2017 severe hailstorm in Denver, Colorado, at a convection-allowing resolution: Understanding rimed ice treatments in multimoment microphysics schemes and their effects on hail size forecasts. *Mon. Wea. Rev.* **2019**, 147, 3045–3068.
10. Sobash, R.A.; Schwartz, C.S.; Romine, G.S.; Fossell, K.R.; Weisman, M.L. Severe weather prediction using storm surrogates from an ensemble forecasting system. *Wea. Forecasting* **2016**, 31, 255–271.
11. Biểu tổng hợp thiệt hại do thiên tai 2020 (tính đến 17h/15/11/2020). Tổng cục phòng chống thiên tai. <https://phongchongthientai.mard.gov.vn/Pages/bieu-tong-hop-thiet-hai-do-thien-tai-2020-tinh-den-17h-15-11-2020.aspx>
12. Jeroen, Z.; Aarnout, D. Vertically integrated moisture flux convergence as a predictor of thunderstorms. *Atmos. Res.* **2007**, 83, 435–445.
13. Kain, J.S.; Weiss, S.J.; Bright, D.R.; Baldwin, M.E.; Levit, J.J.; Carbin, G.W.; Schwartz, C.S.; Weisman, M.L.; Droegemeier, K.K.; Weber, D.B.; Thomas, K.W.

- Some practical considerations regarding horizontal resolution in the first generation of operational convection-allowing NWP. *Wea. Forecasting* **2008**, 23, 931–952.
14. Sobash, R.A.; Kain, J.S.; Bright, D.R.; Dean, A.R.; Coniglio, M.C.; Weiss, S.J. Probabilistic forecast guidance for severe thunderstorms based on the identification of extreme phenomena in convection-allowing model forecasts. *Wea. Forecasting* **2011**, 26, 714–728
 15. Flora, M.L.; Potvin, C. K.; Skinner, P.S.; Handler, S.; McGovern, A. Using machine learning to generate storm-scale probabilistic guidance of severe weather hazards in the warn-on-forecast system. *Mon. Wea. Rev.* **2021**, 149, 1535–1557.
 16. Báo Tuổi Trẻ. <https://tuoitre.vn/mua-da-to-nhu-qua-trung-xe-hoi-vo-ca-kinh-ca-ngan-nha-dan-thung-mai-20200125101002276.htm>
 17. Kain, J.S.; Dembek, S.R.; Weiss, S.J.; Case, J.L.; Levit, J.J.; Sobash, R.A. Extracting unique information from high-resolution forecast models: Monitoring selected fields and phenomena every time step. *Wea. Forecasting* **2010**, 25, 1536–1542.
 18. Jewell, R.; Brimelow, J. Evaluation of Alberta hail growth model using severe hail proximity soundings from the United States. *Wea. Forecasting* **2009**, 24, 1592–1609.

Numerical reforecast of severe hailstorms in eastern North Vietnam in 24–25/01/2020

Doan Manh Duy¹, Nguyen Minh Truong^{1*}

¹Faculty of Meteorology Hydrology and Oceanography, VNU University of Science; duydm99@gmail.com; truongnm@vnu.edu.vn

Abstract: In this study, the WRF–ARW model was used to reforecast thunderstorm-induced severe hail in eastern North Vietnam in 24–25/01/2020. The results show that the model was able to reproduce the large-scale patterns favorable for the storm development, that is, low-level convergence in compressed trough, cold front, and associated upper-level trough and jet. Convergence of southerly vertically-integrated moisture fluxes helps to energize hailstorms. Computed hailstorm indexes, including Updraft Helicity (UH) and Column integrated Total Graupel (CTG), indicate that the model could well predict locations, timing, and propagation directions of hailstorms. In terms of magnitude, the UH index exceeds but CTG belows the threshold of severe hail (equivalent to maximum hail size > 25 mm in diameter). The vertical distribution of graupel suggests that indexes used in NWP to predict hailstorms, which were determined for those in the extratropics in summer, could be adjusted to be more suitable for hailstorms happening in Vietnam in winter or transition months.

Keywords: Severe hail; Hailstorm indexes; The WRF model.