

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ TÀI NGUYÊN VÀ MÔI TRƯỜNG

VIỆN KHOA HỌC

KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN VÀ BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU



TRƯƠNG BÁ KIÊN

**VAI TRÒ CỦA ĐỒNG HOÁ CẬP NHẬT NHANH
SỐ LIỆU RA-ĐA TRONG MÔ HÌNH WRF ĐỐI VỚI DỰ BÁO
ĐỊNH LƯỢNG MƯA HẠN CỰC NGẮN CHO KHU VỰC
THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH**

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KHÍ TƯỢNG VÀ KHÍ HẬU HỌC

Hà Nội – 2023

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ TÀI NGUYÊN VÀ MÔI TRƯỜNG

**VIỆN KHOA HỌC
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN VÀ BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU**



TRƯƠNG BÁ KIÊN

**VAI TRÒ CỦA ĐỒNG HOÁ CẬP NHẬT NHANH
SỐ LIỆU RA-ĐA TRONG MÔ HÌNH WRF ĐỐI VỚI DỰ BÁO
ĐỊNH LƯỢNG MƯA HẠN CỰC NGẮN CHO KHU VỰC
THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH**

Ngành: Khí tượng và khí hậu học
Mã số: 9440222

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KHÍ TƯỢNG VÀ KHÍ HẬU HỌC

Tác giả luận án

**Giáo viên hướng dẫn
thứ nhất**

**Giáo viên hướng dẫn
thứ hai**

Trương Bá Kiên

PGS. TS. Dương Hồng Sơn

PGS. TS. Ngô Đức Thành

Hà Nội – 2023

LỜI CAM ĐOAN

Tác giả xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của bản thân tác giả. Các kết quả nghiên cứu và các kết luận trong Luận án này là trung thực, không sao chép dưới bất kỳ hình thức nào từ bất kỳ một nguồn nào. Việc tham khảo các nguồn tài liệu đã được trích dẫn đầy đủ và ghi nguồn theo đúng quy định.

Tác giả Luận án

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Trương Bá Kiên', is written over a horizontal line.

Trương Bá Kiên

LỜI CẢM ƠN

Trước tiên tác giả xin gửi lời cảm ơn đến Trung tâm nghiên cứu Khí tượng - Khí hậu, Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu - Bộ Tài nguyên và Môi trường đã tạo mọi điều kiện thuận lợi cho tác giả trong quá trình nghiên cứu và hoàn thành Luận án.

Với lòng kính trọng và biết ơn sâu sắc, tác giả xin gửi lời cảm ơn đặc biệt tới thầy hướng dẫn khoa học là PGS.TS. Dương Hồng Sơn và PGS.TS Ngô Đức Thành đã tận tình giúp đỡ tác giả từ những bước đầu tiên xây dựng hướng nghiên cứu, cũng như trong suốt quá trình nghiên cứu và hoàn thiện Luận án. Các Thầy hướng dẫn đã luôn ủng hộ, động viên và hỗ trợ những điều kiện tốt nhất để tác giả hoàn thành Luận án.

Tác giả chân thành cảm ơn các thầy cô giáo của Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu; các chuyên gia, các nhà khoa học, các đồng nghiệp và các cơ quan hữu quan đã có những góp ý về mặt khoa học cũng như hỗ trợ nguồn tài liệu, số liệu cho tác giả trong suốt quá trình thực hiện Luận án.

Cuối cùng, tác giả xin gửi lời cảm ơn tới bố, mẹ và gia đình đã luôn ở bên cạnh, động viên cả về vật chất lẫn tinh thần, tạo mọi điều kiện tốt nhất để tác giả có thể hoàn thành Luận án của mình.

TÁC GIẢ



Trương Bá Kiên

MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN	iii
LỜI CẢM ƠN	iv
MỤC LỤC	i
DANH MỤC BẢNG	iv
DANH MỤC HÌNH VẼ	v
DANH MỤC CHỮ VIẾT TẮT	xi
MỞ ĐẦU	1
1. Đặt vấn đề	1
2. Mục tiêu nghiên cứu	2
3. Câu hỏi nghiên cứu	2
4. Luận điểm bảo vệ	2
5. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu	3
6. Phương pháp nghiên cứu và kỹ thuật sử dụng	3
7. Đóng góp mới của Luận án	3
8. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của Luận án	3
9. Cấu trúc luận án	4
CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ ĐỒNG HÓA SỐ LIỆU	7
TRONG DỰ BÁO MƯA ĐỊNH LƯỢNG HẠN CỰC NGẮN	7
1.1 Tổng quan các nghiên cứu trên thế giới	8
1.2 Tổng quan các nghiên cứu ở Việt Nam	20
Tiểu kết Chương 1	25
CHƯƠNG 2: PHƯƠNG PHÁP ĐỒNG HÓA SỐ LIỆU RA-ĐA DỰ BÁO MƯA	
ĐỊNH LƯỢNG HẠN CỰC NGẮN VÀ SỐ LIỆU SỬ DỤNG	26
2.1 Hệ thống mô hình khu vực áp dụng trong luận án	26
2.1.1. Giới thiệu về mô hình WRF	26
2.1.2. Đồng hóa 3-DVAR trong mô hình WRF	27
2.1.3. Đồng hóa số liệu quan trắc ra-đa cho mô hình WRF	32
2.1.4. Đồng hóa cập nhật nhanh số liệu	34
2.2 Lọc nhiễu cho số liệu quan trắc ra-đa	36
2.2.1. Giới thiệu về Ra-đa Nhà Bè	36
2.2.2 Lọc nhiễu cho số liệu quan trắc ra-đa	37
2.2.3 Xử lý số liệu Ra-đa phục vụ đồng hóa	40

2.3. Thiết kế hệ thống đồng hóa cập nhật nhanh ra-đa dự báo mưa hạn cực ngắn cho TP.HCM	45
2.4. Số liệu sử dụng trong luận án	47
2.4.1. Số liệu quan trắc mưa giờ	47
2.4.2 Số liệu GFS.....	49
2.5. Phương pháp đánh giá hiệu quả của việc đồng bộ hóa số liệu	49
2.6. Định nghĩa và phân cấp mưa lớn	51
Tiểu kết Chương 2	52
CHƯƠNG 3. NGHIÊN CỨU LỰA CHỌN BỘ THAM SỐ PHÙ HỢP CHO HỆ THỐNG HCM-RAP DỰ BÁO MƯA HẠN CỰC NGẮN	54
KHU VỰC THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH	54
3.1 Thiết lập thử nghiệm đa cấu hình vật lý đối với hệ thống HCM-RAP.....	54
3.2 Đánh giá lựa chọn bộ sơ đồ vật lý dự báo mưa hạn cực ngắn đối với hệ thống HCM-RAP	56
3.2.1 Phân bố mưa theo không gian của các cấu hình kết hợp tham số hóa vật lý khác nhau của hệ thống HCM-RAP	56
3.2.2 Phân bố tần suất mưa theo các cấu hình kết hợp tham số hóa của hệ thống HCM-RAP	67
3.2.3 Đánh giá kỹ năng dự báo của các cấu hình kết hợp tham số hóa cho hệ thống HCM-RAP theo các hạn dự báo.....	73
3.2.4 Lựa chọn cấu hình kết hợp sơ đồ tham số hóa phù hợp cho hệ thống HCM-RAP trong dự báo hạn mưa định lượng hạn cực ngắn	87
Tiểu kết Chương 3	88
CHƯƠNG 4. VAI TRÒ CỦA ĐỒNG HÓA SỐ LIỆU RA-ĐA	89
TRONG DỰ BÁO MƯA ĐỊNH LƯỢNG HẠN CỰC NGẮN CHO	89
KHU VỰC THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH	89
4.1 Vai trò và ảnh hưởng số liệu ra-đa trong đồng hóa cập nhật nhanh cho mô hình WRF dự báo mưa hạn cực ngắn khu vực TP.HCM.....	89
4.1.1 So sánh trường ban đầu giữa đồng hóa và không đồng hóa cập nhật nhanh	89
4.1.2 Vai trò và ảnh hưởng số liệu ra-đa trong đồng hóa cập nhật nhanh	98
4.2 So sánh ngoại suy ra-đa và dự báo của HCM-RAP	106
Tiểu kết Chương 4	111
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ	112
Kết luận	112
Kiến nghị	113

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC CỦA TÁC GIẢ LIÊN QUAN	
ĐẾN LUẬN ÁN	114
TÀI LIỆU THAM KHẢO	115
PHỤ LỤC	124

DANH MỤC BẢNG

<i>Bảng 2. 1. Các biến điều khiển trong các ma trận sai số trường nền của mô hình WRF-3DVar</i>	<i>47</i>
<i>Bảng 2. 2. Danh sách các trạm đo mưa bề mặt và tự động trên khu vực nghiên cứu TP.HCM</i>	<i>47</i>
<i>Bảng 3. 1. Các cấu hình tổ hợp đa vật lý khác nhau của HCM-RAP</i>	<i>55</i>
<i>Bảng 3. 2. Danh sách các đợt mưa mô phỏng bằng HCM-RAP trong Luận án.....</i>	<i>55</i>

DANH MỤC HÌNH VẼ

<i>Hình 1. 1. Sơ đồ tổng quát các phương pháp và kỹ thuật đồng hóa số liệu cho mô hình số hiện nay (M. Asch, M. Bocquet and M. Nodet, 2017) [54].....</i>	<i>15</i>
<i>Hình 1. 2. Sơ đồ mô hình VDAPS</i>	<i>17</i>
<i>Hình 1. 3. Hệ thống cập nhật nhanh của CWB.....</i>	<i>18</i>
<i>Hình 1. 4. Tổng hợp về việc đồng hóa cập nhật nhanh của các cơ quan dự báo nghiệp vụ trên thế giới</i>	<i>19</i>
<i>Hình 1. 5. Khả năng dự báo và độ chính xác của các phương pháp dự báo mưa định lượng hiện nay [Saito, 2018]</i>	<i>19</i>
<i>Hình 1. 5. Chỉ số đánh giá CSI của học máy MetNet2, HRRR và HREF ngưỡng 2mm/h theo các hạn từ 1 đến 12 cho Hoa Kỳ.....</i>	<i>20</i>
<i>Hình 1. 6. Minh họa quá trình loại bỏ nhiễu địa hình và nhiễu biển tại Ra-đa Đông Hà</i>	<i>22</i>
<i>Hình 1. 7. Ảnh minh họa quá trình xử lý từ dữ liệu sau lọc nhiễu đến các điểm dữ liệu được lựa chọn.....</i>	<i>23</i>
<i>Hình 1. 8. Kết quả so sánh giữ mô hình số, ngoại suy ra-đa và kết hợp tại thời điểm dự báo ngày 23/9/2021 với các hạn dự báo 1-6h.</i>	<i>23</i>
<i>Hình 2. 1. Cấu trúc tổng quan của mô hình WRF</i>	<i>27</i>
<i>Hình 2. 2. Sơ đồ giải lập của phương pháp biến phân ba chiều</i>	<i>30</i>
<i>Hình 2. 3. Sơ đồ quy trình đồng hóa dữ liệu WRFDA</i>	<i>30</i>
<i>Hình 2. 4. Sơ đồ đồng hóa ra-đa trong WRF-3DVAR</i>	<i>33</i>
<i>Hình 2. 5. Sơ đồ hệ thống RUC sử dụng mô hình WRF.....</i>	<i>34</i>
<i>Hình 2. 6. Biểu đồ mô tả mô hình RAP</i>	<i>35</i>
<i>Hình 2. 7. Khu vực trạm Ra-đa Nhà Bè</i>	<i>37</i>
<i>Hình 2. 8. Các nguồn sai số của ra-đa.....</i>	<i>38</i>
<i>Hình 2. 9. Số liệu ra-đa Nhà Bè trước (trái) và sau (phải) khi lọc nhiễu.....</i>	<i>38</i>
<i>Hình 2. 10. Số liệu ra-đa Nhà Bè trước (trái) và sau (phải) khi lọc nhiễu.....</i>	<i>39</i>
<i>Hình 2. 11. Biểu thị quá trình QC cho độ phản hồi Ra-đa trong đó a) là độ phản hồi thô, b) là độ phản hồi đã qua hiệu chỉnh và c) là độ phản hồi bị loại bỏ trong quá trình hiệu chỉnh</i>	<i>39</i>
<i>Hình 2. 12. Các bước xử lý số liệu Ra-đa</i>	<i>40</i>
<i>Hình 2. 13. Sản phẩm a) PPI, b) Cmax , c) Hmax, d) Mặt cắt Cappi tại lat 10.3 cho Ra-đa Nhà Bè thời điểm 12z ngày 24/10/2016</i>	<i>41</i>
<i>Hình 2. 14.. Minh họa quá trình chuyển đổi dữ liệu PPI sang CAPPI.....</i>	<i>42</i>
<i>Hình 2. 15. Tổng hợp giá trị lớn nhất của độ phản hồi Ra-đa sau khi được tía thưa ở nhiễu mực cho miền tính độ phân giải 3km thời điểm 12z ngày 24/10/2016</i>	<i>42</i>
<i>Hình 2. 16. Độ phản hồi Ra-đa sau khi được tía thưa ở các mực 1km, 2km, 3km và 4km cho miền tính độ phân giải 3km thời điểm 12z ngày 24/10/2016.....</i>	<i>43</i>

Hình 2. 17. Đồng hóa chỉ độ phản hồi.....	44
Hình 2. 18. Đồng hóa độ phản hồi, vận tốc gió xuyên tâm.....	44
Hình 2. 19. Sơ đồ mô tả quy trình vận hành hệ thống HCM-RAP cập nhật số liệu ra-đa từng giờ	45
Hình 2. 20. Hai miền tính của hệ thống HCM-RAP	46
Hình 2. 21. Bản đồ vị trí các trạm đo mưa bề mặt và tự động trên khu vực TP.HCM phục vụ so sánh đánh giá trong luận án	48
Hình 3. 1. Phân bố mưa trung bình hạn 1h giữa mưa quan trắc (39 trạm-trên cùng phía trên) và thử nghiệm không(trên-phải), đồng hóa VR (giữa-trái), ZH (giữa-phải) và ZHVR (dưới-trái) đối với cấu hình kết hợp tham số hóa vật lý khác nhau KF3_THP_MYJ.....	57
Hình 3. 2. Phân bố mưa trung bình hạn 1h giữa mưa quan trắc (39 trạm-trên cùng phía trên) và thử nghiệm không(trên-phải), đồng hóa VR (giữa-trái), ZH (giữa-phải) và ZHVR (dưới-trái) đối với cấu hình kết hợp tham số hóa vật lý khác nhau KF3_LIN_MYJ	58
Hình 3. 3. Phân bố mưa trung bình hạn 1h giữa mưa quan trắc (39 trạm-trên cùng phía trên) và thử nghiệm không(trên-phải), đồng hóa VR (giữa-trái), ZH (giữa-phải) và ZHVR (dưới-trái) đối với cấu hình kết hợp tham số hóa vật lý khác nhau KF3_WSM5_MYJ.....	60
Hình 3. 4. Phân bố mưa trung bình hạn 1h giữa mưa quan trắc (39 trạm-trên cùng phía trên) và thử nghiệm không(trên-phải), đồng hóa VR (giữa-trái), ZH (giữa-phải) và ZHVR (dưới-trái) đối với cấu hình kết hợp tham số hóa vật lý khác nhau GD_LIN_MYJ	62
Hình 3. 5. Phân bố mưa trung bình hạn 1h giữa mưa quan trắc (39 trạm-trên cùng phía trên) và thử nghiệm không(trên-phải), đồng hóa VR (giữa-trái), ZH (giữa-phải) và ZHVR (dưới-trái) đối với cấu hình kết hợp tham số hóa vật lý khác nhau GD_WSM5_MYJ.....	63
Hình 3. 6. Phân bố mưa trung bình hạn 1h giữa mưa quan trắc (39 trạm-trên cùng phía trên) và thử nghiệm không(trên-phải), đồng hóa VR (giữa-trái), ZH (giữa-phải) và ZHVR (dưới-trái) đối với cấu hình kết hợp tham số hóa vật lý khác nhau BMJ_THP_MYJ	64
Hình 3. 7. Phân bố mưa trung bình hạn 1h giữa mưa quan trắc (39 trạm-trên cùng phía trên) và thử nghiệm không(trên-phải), đồng hóa VR (giữa-trái), ZH (giữa-phải) và ZHVR (dưới-trái) đối với cấu hình kết hợp tham số hóa vật lý khác nhau BMJ_LIN_YSU	65
Hình 3. 8. Biểu đồ tần suất giữa mưa quan trắc (cột màu xanh navy nhật- Hist.Obs, mưa dự báo (cột màu đỏ- Hist. Model, tần suất KDE quan trắc (nét đứt xanh- KDE Obs, dự báo (nét đứt đỏ-KDE Model) với thử nghiệm không đồng hóa (bên trái), đồng hóa VR (trái-giữa), ZH (phải-giữa) và ZHVR (phải) đối với các cấu hình kết hợp tham số hóa vật lý khác nhau tại trạm An Phú đối với mưa hạn 1h.....	68

- Hình 3. 9. Biểu đồ tần suất giữa mưa quan trắc (cột màu xanh navy nhạt- Hist.Obs, mưa dự báo (cột màu đỏ- Hist. Model), tần suất KDE quan trắc (nét đứt xanh- KDE Obs) và dự báo (nét đứt đỏ-KDE Model) với thử nghiệm không đồng hóa (bên trái), đồng hóa VR (trái-giữa), ZH (phải-giữa) và ZHVR (phải) đối với các cấu hình kết hợp tham số hóa vật lý khác nhau tại trạm An Phú đối với mưa hạn 3h.....70
- Hình 3. 10. Biểu đồ tần suất giữa mưa quan trắc (cột màu xanh navy nhạt- Hist.Obs), mưa dự báo (cột màu đỏ- Hist. Model), tần suất KDE quan trắc (nét đứt xanh- KDE Obs) và dự báo (nét đứt đỏ-KDE Model) với thử nghiệm không đồng hóa (bên trái), đồng hóa VR (trái-giữa), ZH (phải-giữa) và ZHVR (phải) đối với các cấu hình kết hợp tham số hóa vật lý khác nhau tại trạm An Phú đối với mưa hạn 6h.....72
- Hình 3. 11. Giảm đồ hiệu suất đối với trường hợp không đồng hóa (trái trên), đồng hóa VR (phải trên), ZH (trái dưới) và đồng hóa kết hợp ZHVR (phải dưới) dự báo mưa tích lũy 1 h của 7 cấu hình kết hợp tham số hóa vật lý khác nhau với các hạn dự báo 1 h và ngưỡng mưa 0.1mm/h (2,4mm/ngày ~có mưa)74
- Hình 3. 12. Giảm đồ hiệu suất đối với trường hợp không đồng hóa (trái trên), đồng hóa VR (phải trên), ZH (trái dưới) và đồng hóa kết hợp ZHVR (phải dưới) dự báo mưa tích lũy 1h của 7 cấu hình kết hợp sơ đồ tham số với hạn dự báo 1h và ngưỡng mưa 1mm/h (24mm/ngày ~mưa vừa)75
- Hình 3. 13. Giảm đồ hiệu suất đối với trường hợp không đồng hóa (trái trên), đồng hóa VR (phải trên), ZH (trái dưới) và đồng hóa kết hợp ZHVR (phải dưới) dự báo mưa tích lũy 1h của 7 cấu hình kết hợp sơ đồ tham số với hạn dự báo 1h và ngưỡng mưa 2mm/h (48mm/ngày ~mưa to)76
- Hình 3. 14. Giảm đồ hiệu suất đối với trường hợp không đồng hóa (trái trên), đồng hóa VR (phải trên), ZH (trái dưới) và đồng hóa kết hợp ZHVR (phải dưới) dự báo mưa tích lũy 1h của 7 cấu hình kết hợp sơ đồ tham số với hạn dự báo 1h và ngưỡng mưa 4mm/h (96mm/ngày ~mưa rất to)77
- Hình 3. 15. Giảm đồ hiệu suất đối với trường hợp không đồng hóa (trái trên), đồng hóa VR (phải trên), ZH (trái dưới) và đồng hóa kết hợp ZHVR (phải dưới) dự báo mưa tích lũy 1h của 7 cấu hình kết hợp sơ đồ tham số với hạn dự báo 3h và ngưỡng mưa 0.1mm/h (2,4mm/ngày ~có mưa)79
- Hình 3. 16. Giảm đồ hiệu suất đối với trường hợp không đồng hóa (trái trên), đồng hóa VR (phải trên), ZH (trái dưới) và đồng hóa kết hợp ZHVR (phải dưới) dự báo mưa tích lũy 1h của 7 cấu hình kết hợp sơ đồ tham số với hạn dự báo 3h và ngưỡng mưa 1mm/h (24mm/ngày ~mưa vừa)80
- Hình 3. 17. Giảm đồ hiệu suất đối với trường hợp không đồng hóa (trái trên), đồng hóa VR (phải trên), ZH (trái dưới) và đồng hóa kết hợp ZHVR (phải dưới) dự báo mưa tích lũy 1h của 7 cấu hình kết hợp sơ đồ tham số với hạn dự báo 3h và ngưỡng mưa 2mm/h (48mm/ngày ~mưa to)81
- Hình 3. 18. Giảm đồ hiệu suất đối với trường hợp không đồng hóa (trái trên), đồng hóa VR (phải trên), ZH (trái dưới) và đồng hóa kết hợp ZHVR (phải dưới) dự báo mưa tích lũy 1h của 7 cấu hình kết hợp sơ đồ tham số với hạn dự báo 3h và ngưỡng mưa 4mm/h (96mm/ngày ~mưa rất to)82

- Hình 3. 19. Giảm đồ hiệu suất đối với trường hợp không đồng hóa (trái trên), đồng hóa VR (phải trên), ZH (trái dưới) và đồng hóa kết hợp ZHVR (phải dưới) dự báo mưa tích lũy 1h của 7 cấu hình kết hợp sơ đồ tham số với hạn dự báo 6h và ngưỡng mưa 0.1mm/h (2,4mm/ngày ~có mưa)83
- Hình 3. 20. Giảm đồ hiệu suất đối với trường hợp không đồng hóa (trái trên), đồng hóa VR (phải trên), ZH (trái dưới) và đồng hóa kết hợp ZHVR (phải dưới) dự báo mưa tích lũy 1h của 7 cấu hình kết hợp sơ đồ tham số với hạn dự báo 6h và ngưỡng mưa 1mm/h (24mm/ngày ~mưa vừa)84
- Hình 3. 21. Giảm đồ hiệu suất đối với trường hợp không đồng hóa (trái trên), đồng hóa VR (phải trên), ZH (trái dưới) và đồng hóa kết hợp ZHVR (phải dưới) dự báo mưa tích lũy 1h của 7 cấu hình kết hợp sơ đồ tham số với hạn dự báo 6h và ngưỡng mưa 2mm/h (48mm/ngày ~mưa to)85
- Hình 3. 22. Giảm đồ hiệu suất đối với trường hợp không đồng hóa (trái trên), đồng hóa VR (phải trên), ZH (trái dưới) và đồng hóa kết hợp ZHVR (phải dưới) dự báo mưa tích lũy 1h của 7 cấu hình kết hợp sơ đồ tham số với hạn dự báo 6h và ngưỡng mưa 4mm/h (96mm/ngày ~mưa rất to)86
- Hình 4. 1. So sánh sự sai khác độ phản hồi giữa đồng hóa độ phản hồi ZH (phải) với không đồng hóa (trái) tại thời điểm ban đầu 2019090400Z đối với miền 190
- Hình 4. 2. So sánh sự sai khác tốc độ gió (đổ màu), hướng gió (cán gió) mực 10m giữa đồng hóa gió xuyên tâm VR (phải) với không đồng hóa (trái) tại thời điểm ban đầu 2019090400Z đối với miền 190
- Hình 4. 3. So sánh sự sai khác tỉ lệ xáo trộn hơi nước (g/kg) giữa đồng hóa kết hợp độ phản hồi, gió xuyên tâm ZHVR (phải) với không đồng hóa (trái) tại thời điểm ban đầu 2019090400Z đối với miền 191
- Hình 4. 4. So sánh sự sai khác tốc độ gió (đổ màu), hướng gió (cán gió) mực thứ 25 trong mô hình giữa đồng hóa gió xuyên tâm VR (phải) với không đồng hóa (trái) tại thời điểm ban đầu 2019090400Z đối với miền 192
- Hình 4. 5. So sánh trường nhiệt độ (trái), gió (giữa), hơi nước (phải) tại thời điểm ban đầu giữa đồng hóa VR (trên cùng), ZH (giữa) và ZHVR (dưới cùng) với không đồng hóa tại thời điểm ban đầu đối với miền 193
- Hình 4. 6. So sánh trường nhiệt độ (trái), gió (giữa), xáo trộn hơi nước (phải) tại thời điểm ban đầu giữa đồng hóa VR (trên cùng), ZH (giữa) và ZHVR (dưới cùng) với không đồng hóa tại thời điểm ban đầu đối với miền 294
- Hình 4. 7. Biến trình MDBZ theo thời gian từ 00h 00 phút đến 06h 00 phút với bước thời gian 10 phút95
- Hình 4. 8. Biến trình QCLOUD theo thời gian từ 00h 00 phút đến 06h 00 phút với bước thời gian 10 phút95
- Hình 4. 9. Biến trình MDBZ, QRAIN, QICE, QCLOUD theo thời gian từ 00h 00 phút đến 06h 00 phút với bước thời gian 10 phút96
- Hình 4. 10. Biến trình QRAIN theo thời gian từ 00h 00 phút đến 06h 00 phút với bước thời gian 10 phút97

Hình 4. 11. Chỉ số đánh giá FBI của 2 phương án vật lý tốt nhất với đồng hóa VR (cột 1 và 2 từ trái sang), 1 phương án vật lý tốt nhất CTL (cột màu vàng) và 2 phương án ZH (cột 4, 5 từ trái sang), 2 phương án ZHVR (cột 6, 7 từ trái sang) dự báo mưa tích lũy 1h với các hạn dự báo 1,3,6h tương ứng các ngưỡng mưa có mưa, 24, 48, 72, 96, 120mm/h).....	98
Hình 4. 12. Chỉ số đánh giá POD của 2 phương án vật lý tốt nhất với đồng hóa VR (cột 1 và 2 từ trái sang), 1 phương án vật lý tốt nhất CTL (cột màu vàng) và 2 phương án ZH (cột 4, 5 từ trái sang), 2 phương án ZHVR (cột 6, 7 từ trái sang) dự báo mưa tích lũy 1h ở các hạn dự báo 1,3, 6h tương ứng các ngưỡng mưa có mưa, 24, 48, 72, 96, 120mm/h).....	99
Hình 4. 13. Chỉ số đánh giá FAR của 2 phương án vật lý tốt nhất với đồng hóa VR (cột 1 và 2 từ trái sang), 1 phương án vật lý tốt nhất CTL (cột màu vàng) và 2 phương án ZH (cột 4, 5 từ trái sang), 2 phương án ZHVR (cột 6, 7 từ trái sang) dự báo mưa tích lũy 1h ở các hạn dự báo 1, 3, 6h tương ứng các ngưỡng mưa có mưa, 24, 48, 72, 96, 120mm/h).....	100
Hình 4. 14. Chỉ số H của 2 phương án vật lý tốt nhất với đồng hóa VR (cột 1 và 2 từ trái sang), 1 phương án vật lý tốt nhất CTL (cột màu vàng) và 2 phương án ZH (cột 4, 5 từ trái sang), 2 phương án ZHVR (cột 6, 7 từ trái sang) dự báo mưa tích lũy 1h ở các hạn dự báo 1,3, 6h tương ứng các ngưỡng mưa có mưa, 24, 48, 72, 96, 120mm/h).....	101
Hình 4. 15. Chỉ số Miss của 2 phương án vật lý tốt nhất với đồng hóa VR (cột 1 và 2 từ trái sang), 1 phương án vật lý tốt nhất CTL (cột màu vàng) và 2 phương án ZH (cột 4, 5 từ trái sang), 2 phương án ZHVR (cột 6, 7 từ trái sang) dự báo mưa tích lũy 1h ở các hạn dự báo 1,3, 6h tương ứng các ngưỡng mưa có mưa, 24, 48, 72, 96, 120mm/h).....	102
Hình 4. 16. Chỉ số False của 2 phương án vật lý tốt nhất với đồng hóa VR (cột 1 và 2 từ trái sang), 1 phương án vật lý tốt nhất CTL (cột màu vàng) và 2 phương án ZH (cột 4, 5 từ trái sang), 2 phương án ZHVR (cột 6, 7 từ trái sang) dự báo mưa tích lũy 1h ở các hạn dự báo 1,3, 6h tương ứng các ngưỡng mưa có mưa, 24, 48, 72, 96, 120mm/h).....	102
Hình 4. 14. Chỉ số H, F, M, CN của 2 phương án vật lý tốt nhất với đồng hóa VR (cột 1 và 2 từ trái sang), 1 phương án vật lý tốt nhất CTL (cột màu vàng) và 2 phương án ZH (cột 4, 5 từ trái sang), 2 phương án ZHVR (cột 6, 7 từ trái sang) dự báo mưa tích lũy 1h ở các hạn dự báo 1,3, 6h tương ứng các ngưỡng mưa có mưa, 24, 48, 72, 96, 120mm/h).....	103
Hình 4. 18. Chỉ số đánh giá CSI của 2 phương án vật lý tốt nhất với đồng hóa VR (cột 1 và 2 từ trái sang), 1 phương án vật lý tốt nhất CTL (cột màu vàng) và 2 phương án ZH (cột 4, 5 từ trái sang), 2 phương án ZHVR (cột 6, 7 từ trái sang) dự báo mưa tích lũy 1h ở các hạn dự báo 1,3, 6h tương ứng các ngưỡng mưa có mưa, 24, 48, 72, 96, 120mm/h).....	103
Hình 4. 19. Chỉ số đánh giá CSI của hệ thống học máy MetNet-2, HRRR và HREF với ngưỡng 2mm/h theo các hạn từ 1 đến 12h.....	104

<i>Hình 4. 20. Chỉ số đánh giá FBI của hệ thống HCM-RAP và ngoại suy ra-đa Nhà Bè với ngưỡng 0,1; 1; 2 và 5mm/h theo các hạn từ 1 đến 6h</i>	<i>107</i>
<i>Hình 4. 21. Chỉ số đánh giá FAR của hệ thống HCM-RAP và ngoại suy ra-đa Nhà Bè với ngưỡng 0,1; 1; 2 và 5mm/h theo các hạn từ 1 đến 6h</i>	<i>108</i>
<i>Hình 4. 22. Chỉ số đánh giá POD của hệ thống HCM-RAP và ngoại suy ra-đa Nhà Bè với ngưỡng 0,1; 1; 2 và 5mm/h theo các hạn từ 1 đến 6h</i>	<i>109</i>
<i>Hình 4. 23. Chỉ số đánh giá CSI của hệ thống HCM-RAP và ngoại suy ra-đa Nhà Bè với ngưỡng 0,1; 1; 2 và 5mm/h theo các hạn từ 1 đến 6h</i>	<i>110</i>

DANH MỤC CHỮ VIẾT TẮT

KÝ HIỆU	CHÚ THÍCH
3DVAR	Đồng hóa biến phân ba chiều (Three-dimensional variational)
4DVAR	Đồng hóa biến phân bốn chiều (Four-dimensional variational)
AFWA	Cơ quan thời tiết Không quân Hoa Kỳ (Air Force Weather Agency)
ARW	Advanced Research WRF
BUFR	Định dạng phổ quát nhị phân để biểu diễn dữ liệu khí tượng (The Binary Universal Form for the Representation of meteorological data)
CSI	Chỉ số dự báo thành công (Critical Success Index)
COSMO	Mô hình hóa quy mô nhỏ của Cục Khí tượng Đức (Consortium for Small-scale Modeling)
CV3/5/7	Ma trận sai số trường nền loại 3/5/7 (Var Background Error 3/5/7)
CWB	Cục Khí tượng Đài Loan (Central Weather bureau)
DFI	Khởi tạo lọc số (digital filter initialization)
DWD	Cơ quan khí tượng Đức (Deutscher Wetterdienst)
EEC	Tập đoàn Điện tử EEC (Enterprise Electronics Cooperation)
ECMWF	Trung tâm Dự báo Thời tiết hạn vừa châu Âu (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts)
EnKF	Ensemble Kalman Filter (Tổ hợp lọc Kalman)
FAR	Tỉ lệ cảnh báo sai (False Alarms Ratio)
FBI	Frequency bias index (hay BS – Bias score)
FMI	Viện Khí tượng Phần Lan (The Finnish Meteorological Institute)
GFDL	Mô hình liên kết trong phòng thí nghiệm động lực học chất lỏng địa vật lý (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory Coupled Model)
GFS	Hệ thống dự báo toàn cầu (Global Forecast System)
GSI	Nội suy thống kê điểm lưới (Gridpoint Statistical Interpolation)

KÝ HIỆU	CHÚ THÍCH
HRRR	Hệ thống Cập nhật nhanh độ phân giải cao(High-Resolution Rapid Refresh)
HREF	Hệ thống dự báo tổ hợp độ phân giải cao (The High Resolution Ensemble Forecast)
JMA	Cơ quan khí tượng Nhật Bản (Japan Meteorological Agency)
JMA MA	Mô hình quy mô vừa của quan khí tượng Nhật Bản
JMA LA	Mô hình quy mô địa phương của quan khí tượng Nhật Bản
KMA	Tổng cục Khí tượng Hàn Quốc (The Korea Meteorological Administration)
KTTV	Khí tượng thủy văn
LETKF	Bộ lọc Kalman tổ hợp địa phương hóa biến đổi (Local ensemble transform Kalman filter)
METEO FRANCE	Cơ quan khí tượng Pháp
MET OFFICE	Cơ quan khí tượng Vương Quốc Anh
MetNet	Mô hình trí tuệ nhân tạo mạng thần kinh dự báo mưa (Neural Weather Model for Precipitation Forecasting)
MP	Sơ đồ vi vật lý (Micro Physics)
MM5	Mô hình Quy mô vừa thế hệ 5 (Mesoscale Model 5)
NCAR	Trung tâm nghiên cứu khí quyển quốc gia, Hoa Kỳ (National Center for Atmospheric Research)
NCEP	Trung tâm dự báo Môi trường quốc gia Mỹ (National Centers for Environmental Prediction)
NWP	Mô hình dự báo thời tiết số (Numerical Weather Prediction)
PBL	Lớp biên hành tinh (the planetary boundary layer)

KÝ HIỆU	CHÚ THÍCH
POD	Xác xuất phát hiện (Probability of Detection)
RUC	Cập nhật nhanh (The Rapid Update Cycle)
Sơ đồ số hóa vật lý trong mô hình WRF	Kain-Fritsch (KF); Betts-Miller-Janjic (BMJ); Grell-Freitas (GF); Grell-Devenyi (GD); New Tiedtke (NT); Multi-scale Kain-Fritsch (MSKF); Kain-Fritsch sửa đổi (MKF); Scale-aware Kain-Fritsch (SAKF); Betts-Miller-Janjic (BMJ) Yonsei University (YSU); Mellor-Yamada-Janjic (MYJ); Asymmetric Convective Model version 2 (ACM2); University of Washington (UW); Thermal Diffusion (TD)
RAP	Cập nhật nhanh (The Rapid Refresh)
SWIRLS	Hệ thống ngoại suy Ra-đa cảnh báo dông địa phương (Short-range Warning of Intense Rainstorms in Localized Systems)
UF	Định dạng phổ quát (Universal Format)
VR	Gió xuyên tâm ra-đa (Radial velocity)
VDAS	Very short-range Data Assimilation and Prediction System
WPS	Mô-đun tiền xử lý của mô hình WRF (WRF Preprocessing System)
WRF	Mô hình dự báo và nghiên cứu thời tiết (Weather Research and Forecast model)
WRFDA	Module đồng hóa số liệu trong mô hình WRF
ZH	Độ phản hồi vô tuyến ra-đa (reflectivity-ZH)

MỞ ĐẦU

1. Đặt vấn đề

Hiện nay, bài toán dự báo định lượng mưa, đặc biệt là mưa định lượng hạn cực ngắn bằng mô hình số trị vẫn là một thách thức lớn đối với các trung tâm dự báo nghiệp vụ trên thế giới cũng như ở Việt Nam. Ở các trung tâm dự báo trên thế giới, dự báo, cảnh báo mưa lớn trong thời đoạn ngắn cho các khu vực nhỏ đã và đang được ứng dụng đồng hóa số liệu với đa dạng các nguồn số liệu quan trắc cho các mô hình số trị độ phân giải cao mà sản phẩm là các dự báo tất định, dự báo tổ hợp, xác suất. Một trong những cách tiếp cận được quan tâm hiện nay là đồng hóa “cập nhật nhanh” số liệu quan trắc gồm cả số liệu truyền thống và phi truyền thống

Thành phố Hồ Chí Minh (TP.HCM) là khu vực kinh tế năng động, phát triển rất nhanh và mạnh với tốc độ đô thị hóa nhanh tuy nhiên cơ sở hạ tầng lại chưa theo kịp. Trong những năm vừa qua, có nhiều đợt mưa lớn điển hình, trái mùa xảy ra trên khu vực TP.HCM gây thiệt hại đáng kể. Thống kê cho thấy, các sự kiện mưa lớn trong thời gian ngắn đã xảy ra với tần suất và cường độ ngày một lớn. Ngoài ra, các nghiên cứu cũng cho thấy dưới tác động của biến đổi khí hậu, tần suất, cường độ, sự trái quy luật của các trận mưa trái mùa cũng thể hiện xu hướng gia tăng.

Hiện nay, mạng lưới ra-đa thời tiết ở nước ta ngày càng được hoàn thiện với 10 trạm ra-đa được nâng cấp và bao phủ trên phạm vi cả nước. Trạm ra-đa Nhà Bè là một trong số các trạm được nâng cấp gần đây nhằm cung cấp nguồn số liệu với công nghệ đồng hóa cập nhật nhanh từng giờ cho mô hình số trị WRF dự báo mưa định lượng hạn cực ngắn. Trên cơ sở khoa học và thực tế nghiên cứu, Luận án “*Vai trò của đồng hoá cập nhật nhanh số liệu ra-đa trong mô hình WRF đối với dự báo định lượng mưa hạn cực ngắn cho khu vực TP.HCM*” được thực hiện với mục đích chính là cải thiện và nâng cao độ chính xác kết quả dự báo mưa định lượng hạn cực ngắn cho khu vực TP.HCM trên cơ sở đồng hóa số liệu số liệu ra-đa cập nhật nhanh cho mô hình WRF.

2. Mục tiêu nghiên cứu

1) Xác định được bộ tham số tối ưu đồng hóa số liệu ra-đa cập nhật nhanh cho mô hình WRF trên khu vực TP.HCM (gọi là HCM-RAP) trong việc cải thiện chất lượng dự báo mưa định lượng hạn cực ngắn (1-6h) cho khu vực TP.HCM.

2) Cải thiện kỹ năng dự báo mưa hạn cực ngắn và xác định được mức độ đóng góp cụ thể của độ phản hồi, tốc độ gió xuyên tâm trong việc cải thiện chất lượng dự báo mưa hạn dự báo 1h, 3h, 6h và các ngưỡng mưa khác nhau cho khu vực TP.HCM, trên cơ sở đồng hóa số liệu ra-đa cập nhật nhanh cho mô hình WRF.

3. Câu hỏi nghiên cứu

Luận án tập trung vào giải đáp các câu hỏi sau:

1) Đồng hóa số liệu ra-đa cập nhật nhanh cho mô hình WRF sẽ ảnh hưởng như thế nào trong việc dự báo mưa định lượng hạn cực ngắn (1-6h) cho khu vực nhỏ?

2) Tổ hợp cấu hình vật lý nào là tối ưu nhất cho mô hình HCM-RAP trong việc cải thiện chất lượng dự báo mưa định lượng hạn cực ngắn (1-6h) cho khu vực TP.HCM?

3) Đóng góp và vai trò của độ phản hồi và tốc độ gió xuyên tâm khi đồng hóa cập nhật nhanh số liệu ra-đa đối với kỹ năng dự báo mưa định lượng hạn cực ngắn và các ngưỡng mưa khác nhau như thế nào?

4) Đồng hóa số liệu ra-đa cập nhật nhanh cho mô hình WRF có thể nâng cao độ chính xác so với ngoại suy ra-đa dự báo mưa định lượng hạn cực ngắn (1-6h) cho khu vực TP.HCM?

4. Luận điểm bảo vệ

1) Đồng hóa số liệu ra-đa cập nhật nhanh cho mô hình WRF sẽ cải thiện khả năng dự báo mưa định lượng hạn cực ngắn 1h, 3h, 6h cho khu vực TP.HCM so với dự báo hiện tại.

2) Độ phản hồi có vai trò ảnh hưởng chủ đạo và đóng góp chủ yếu hơn so với so với tốc độ gió xuyên tâm ra-đa trong việc cải thiện chất lượng dự báo mưa tại các hạn dự báo 1h, 3h, 6h và các ngưỡng mưa khác nhau trong đồng hóa cập nhật nhanh cho mô hình WRF.

5. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

- Đối tượng nghiên cứu: Phương pháp đồng hóa số liệu ra-đa cập nhật nhanh phục vụ dự báo mưa hạn cực ngắn cho khu vực TP.HCM.

- Phạm vi thời gian: Các đợt mưa lớn trong 3 năm 2019, 2020 và 2021

+ Phạm vi không gian: Khu vực TP.HCM

6. Phương pháp nghiên cứu và kỹ thuật sử dụng

Phương pháp số trị: Dùng mô hình WRF-DA đồng hóa ra-đa cập nhật nhanh dự báo các đợt mưa định lượng hạn cực ngắn được lựa chọn trong luận án cho khu vực TP.HCM và lân cận.

Phương pháp thống kê: Dùng để thống kê các đợt mưa; tính toán, so sánh, đánh giá kỹ năng dự báo mưa.

7. Đóng góp mới của Luận án

1) Luận án đã tiến hành thử nghiệm và xác định được bộ tham số hoá vật lý phù hợp cho hệ thống HCM-RAP ứng dụng trong dự báo định lượng mưa hạn cực ngắn (1-6h) cho khu vực TP.HCM theo phương pháp đồng hóa cập nhật nhanh từng giờ ra-đa cho mô hình WRF.

2) Luận án đã phân tích, đánh giá hiệu quả của các yếu tố quan trắc của ra-đa trong đồng hóa cập nhật nhanh và xác định được đồng hóa độ phản hồi có vai trò, ảnh hưởng lớn nhất trong việc cải thiện kỹ năng dự báo mưa định lượng hạn cực ngắn. Ngoài ra, đồng hóa số liệu ra-đa cập nhật nhanh đã cải thiện chất lượng dự báo định lượng mưa hạn từ 4-6h so với ngoại suy ra-đa, bổ khuyết khoảng trống, đồng thời, cùng với ngoại suy mưa ra-đa hạn 1-3h nhằm nâng cao chất lượng dự báo mưa định lượng hạn cực ngắn cho khu vực TP.HCM.

8. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của Luận án

a) Ý nghĩa khoa học

Kết quả nghiên cứu của luận án đã góp phần khẳng định vai trò của quan trắc ra-đa trong đồng hóa cập nhật nhanh cho mô hình WRF và xác định rằng độ phản hồi có vai trò, ảnh hưởng lớn nhất trong việc cải thiện kỹ năng dự báo mưa định lượng hạn cực ngắn. Ngoài ra, đồng hóa số liệu ra-đa cập nhật nhanh đã cải thiện chất lượng

dự báo định lượng mưa hạn từ 4-6h so với ngoại suy ra-đa, bỏ khuyết khoảng trống, đồng thời, cùng với ngoại suy mưa ra-đa hạn 1-3h nhằm nâng cao chất lượng dự báo mưa định lượng hạn cực ngắn cho khu vực TP.HCM.

b) Ý nghĩa thực tiễn

Trong điều kiện về trang thiết bị, công nghệ, số liệu và đặc biệt là năng lực tính toán hiện nay tại Trung tâm Dự báo Khí tượng Thủy văn Quốc gia và Đài Khí tượng Thủy văn Nam Bộ thì hệ thống HCM-RAP có thể vận hành trong điều kiện nghiệp vụ nhằm cung cấp kết quả phục vụ tham khảo trong nghiệp vụ dự báo mưa định lượng hạn cực ngắn cho khu vực TP.HCM.

9. Cấu trúc luận án

Ngoài phần mở đầu và kết luận, Luận án gồm 4 chương sau:

Chương 1. *Tổng quan các nghiên cứu* về đồng hoá số liệu ra-đa cho mô hình số trị dự báo mưa định lượng hạn cực ngắn cho khu vực nhỏ trên thế giới và ở Việt Nam, đặc biệt về đồng hoá cập nhật nhanh số liệu ra-đa cho mô hình số trị.

Chương 2. *Phương pháp luận và số liệu nghiên cứu*. Trình bày phương pháp và số liệu sử dụng để đồng hóa cập nhật nhanh liệu ra-đa cho mô hình WRF dự báo mưa định lượng hạn cực ngắn từ 1-6h cho khu vực TP.HCM đối với các đợt mưa lớn trong 3 năm 2019, 2020 và 2021.

Chương 3. *Nghiên cứu lựa chọn bộ tham số phù hợp cho hệ thống HCM-RAP dự báo mưa hạn cực ngắn khu vực TP.HCM*. Trình bày về việc thiết lập thử nghiệm đa cấu hình vật lý đối với hệ thống HCM-RAP, đánh giá lựa chọn được bộ sơ đồ vật lý dự báo mưa hạn cực ngắn đối với hệ thống HCM-RAP theo các hạn dự báo.

Chương 4. *Vai trò của đồng hóa số liệu ra-đa trong dự báo mưa định lượng hạn cực ngắn cho khu vực TP.HCM*. Trình bày về kết quả nghiên cứu vai trò của ra-đa trong đồng hóa và thấy rằng độ phản hồi có vai trò quyết định và ảnh hưởng nhiều nhất so với tốc độ gió xuyên tâm khi đồng hóa cập nhật nhanh đối với dự báo hạn cực ngắn và các ngưỡng mưa khác nhau cho khu vực TP.HCM và đồng hóa độ phản hồi kết hợp với tốc độ gió xuyên tâm cho mô hình WRF có thể cải thiện khoảng 2 lần so với không đồng hóa. Thêm vào đó, trong 4h đầu ngoại suy ra-đa có kĩ năng hơn

đôi với tất cả các ngưỡng mưa, tuy nhiên hạn từ 4-6h thì HCM-RAP thể hiện kỹ năng vượt lên so với ngoại suy ra-đa, đặc biệt ngưỡng mưa lớn (2mm/h và 5mm/h). Cụ thể khung lô-gic cho Luận án như sau

Mục tiêu	Câu hỏi nghiên cứu	Luận điểm	Nội dung nghiên cứu	Đóng góp mới
1) Xác định được bộ tham số tối ưu đồng hóa số liệu ra-đa cập nhật nhanh cho mô hình WRF trên khu vực thành phố Hồ Chí Minh (gọi là HCM-RAP) trong việc cải thiện chất lượng dự báo mưa định lượng hạn cực ngắn(1-6h) cho khu vực Thành phố Hồ Chí Minh	1) Đồng hóa số liệu radar cập nhật nhanh cho mô hình WRF sẽ ảnh hưởng như thế nào trong việc dự báo mưa định lượng hạn cực ngắn 1-6h cho khu vực nhỏ? 2) Tổ hợp cấu hình vật lý nào là tối ưu nhất cho mô hình HCM-RAP trong việc nâng cao độ chính xác của kết quả dự báo mưa định lượng hạn cực ngắn 1-6h cho khu vực TP. HCM	1. Đồng hóa số liệu ra-đa cập nhật nhanh cho mô hình WRF sẽ cải thiện khả năng dự báo mưa định lượng hạn cực ngắn 1h, 3h, 6h cho khu vực Thành phố Hồ Chí Minh so với dự báo hiện tại 2. Độ phân hồi có vai trò ảnh hưởng chủ đạo và đóng góp chủ yếu hơn so với tốc độ gió xuyên tâm ra-đa trong việc cải thiện chất lượng dự báo mưa tại các hạn dự báo 1h, 3h, 6h và các ngưỡng mưa khác nhau trong đồng hóa cập nhật nhanh cho mô hình WRF	1. Tổng quan các nghiên cứu về dự báo mưa lớn hạn cực ngắn 2. Thiết kế hệ thống đồng hóa cập nhật nhanh ra-đa dự báo mưa hạn cực ngắn cho Thành phố Hồ Chí Minh 3. Thiết lập thử nghiệm đa cấu hình vật lý đối với hệ thống HCM-RAP 4. Đánh giá lựa chọn bộ sơ đồ vật lý dự báo mưa hạn cực ngắn đối với hệ thống HCM-RAP - Phân bố mưa theo không gian của các tổ hợp vật lý của hệ thống HCM-RAP - Phân bố tần suất mưa theo với các trạm quan trắc của các tổ hợp vật lý của hệ thống HCM-RAP - Đánh giá kỹ năng dự báo của các tổ hợp vật lý cho hệ thống HCM-RAP theo các hạn dự báo - Lựa chọn tổ hợp vật lý cho hệ thống HCM-RAP phù hợp trong dự báo hạn mưa lớn hạn cực ngắn 5. Vai trò và ảnh hưởng số liệu ra-đa trong đồng hóa cập nhật nhanh cho mô hình WRF dự báo mưa hạn cực ngắn khu vực Thành phố Hồ Chí Minh - So sánh trường ban đầu giữa đồng hóa và không đồng hóa cập nhật nhanh - Vai trò và ảnh hưởng số liệu ra-đa trong đồng hóa cập nhật nhanh 6. So sánh ngoại suy ra-đa và dự báo của HCM-RAP	1. Luận án đã tiến hành thử nghiệm và xác định được bộ tham số hoá vật lý phù hợp cho hệ thống HCM-RAP ứng dụng trong dự báo định lượng mưa hạn cực ngắn (1-6h) cho khu vực thành phố Hồ Chí Minh theo phương pháp đồng hóa cập nhật nhanh từng giờ ra-đa cho mô hình WRF 2. Luận án đã phân tích, đánh giá hiệu quả của các yếu tố quan trọng của ra-đa trong đồng hóa cập nhật nhanh và xác định được mức độ đóng góp cụ thể của độ phân hồi, tốc độ gió xuyên tâm đến độ chính xác của dự báo mưa tại các hạn dự báo 1-6h và các ngưỡng mưa khác nhau. Thấy rằng, độ phân hồi có vai trò, ảnh hưởng lớn nhất trong việc cải thiện kỹ năng dự báo mưa định lượng hạn cực ngắn so với không đồng hóa và đồng hoá số liệu ra-đa đồng hóa cập nhật nhanh đã cải thiện chất lượng dự báo định lượng mưa hạn từ 4-6h so với ngoại suy ra-đa, bổ khuyết khoảng trống trên và cùng với ngoại suy mưa ra-đa hạn 1-3h nhằm nâng cao chất lượng dự báo mưa định lượng hạn cực ngắn cho khu vực Thành phố Hồ Chí Minh
2) Cải thiện kỹ năng dự báo mưa hạn cực ngắn và xác định được mức độ đóng góp cụ thể của độ phân hồi, tốc độ gió xuyên tâm trong việc cải thiện chất lượng dự báo mưa hạn dự báo 1h, 3h, 6h và các ngưỡng mưa khác nhau cho khu vực Thành phố Hồ Chí Minh, trên cơ sở đồng hóa số liệu ra-đa cập nhật nhanh cho mô hình WRF	3) Đóng góp và vai trò từng thành phần của số liệu radar, gồm: độ phân hồi và tốc độ gió xuyên tâm khi đồng hóa cập nhật nhanh đến kỹ năng dự báo đối với dự báo hạn cực ngắn và các ngưỡng mưa khác nhau như thế nào? 4) Đồng hóa số liệu ra-đa cập nhật nhanh cho mô hình WRF có thể nâng cao độ chính xác so với ngoại suy ra-đa dự báo mưa định lượng hạn cực ngắn (1-6h) cho khu vực Thành phố Hồ Chí Minh như thế nào?			

CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ ĐỒNG HÓA SỐ LIỆU TRONG DỰ BÁO MƯA ĐỊNH LƯỢNG HẠN CỰC NGẮN

Ngày nay, cùng với tiến bộ của khoa học máy tính và sự phát triển không ngừng của các mô hình số trị, mô hình số trị đã trở thành trụ cột chính trong dự báo định lượng mưa ở tất cả các Trung tâm dự báo khí tượng thủy văn (KTTV) trên thế giới bên cạnh các phương pháp sy-nốp và thống kê. Phương pháp dự báo số trị được đặc biệt quan tâm trong vài thập kỷ gần đây, nhờ khả năng dự báo định lượng mưa chi tiết theo không gian và thời gian. Tuy nhiên, mặc dù các hệ thống mô hình số trị đã có những bước tiến vượt bậc nhưng vấn đề dự báo mưa của mô hình số trị vẫn chứa đựng nhiều sai số, và việc ứng dụng trực tiếp giá trị mưa định lượng dự báo từ mô hình số trên các khu vực nhiệt đới và gió mùa còn hạn chế [Kato, T. và H. Goda, (2001)]. Để cải tiến chất lượng dự báo định lượng mưa của mô hình số trị, các nhà nghiên cứu khí tượng và các cơ quan dự báo quốc gia đã và đang tập trung vào *năm hướng chính* sau đây: **(1) Nghiên cứu tăng cường độ phân giải lưới tính cho mô hình** để có thể tính toán trực tiếp được các quá trình vật lý quy mô nhỏ (dưới vài km). Cùng với sự phát triển của khoa học tính toán cũng như khả năng phát triển các sơ đồ rời bậc cao, rất nhiều các nghiên cứu đã ứng dụng các mô hình số trị độ phân giải cao để dự báo định lượng mưa; **(2) Nghiên cứu cải tiến/ lựa chọn các sơ đồ tham số vật lý** cho phù hợp với tính chất, điều kiện nhiệt động lực của khu vực nghiên cứu; **(3) Nghiên cứu ứng dụng sơ đồ đồng hóa số liệu** để cập nhật các nguồn số liệu phi truyền thống, đặc biệt số liệu radar, vệ tinh, đo mưa tự động nhằm cải tiến chất lượng trường ban đầu. Các phương pháp đồng hóa số liệu quan trắc kết hợp với mô hình có độ phân giải cao đã phát triển nhanh trong thập kỷ qua; **(4) Nghiên cứu ứng dụng các phương pháp thống kê để hiệu chỉnh sai số** hệ thống của mô hình trên cơ sở các quan trắc thực tế trong quá khứ. Các mô hình vẫn còn tồn tại những sai số nhất định, vấn đề quan trọng là chúng ta hiểu được bản chất của sai số và có thể hiệu chỉnh sai số của mô hình trước khi cung cấp kết quả cho người sử dụng; **(5) Nghiên cứu ứng dụng dự báo tổ hợp** các thành phần mô hình để cung cấp bổ sung các sản phẩm dự báo xác

suất xảy ra bên cạnh dự báo tất định truyền thống. Cùng với việc nâng cấp, cải tiến chất lượng dự báo theo các hướng nêu trên, ở hầu hết các cơ quan dự báo nghiệp vụ trên thế giới sản phẩm dự báo cuối cùng cung cấp hàng ngày cho người sử dụng đều dựa trên kết quả tổ hợp của nhiều mô hình thành phần.

Đến nay ở hầu hết các cơ quan dự báo lớn trên thế giới đã nghiên cứu và ứng dụng được 5 bài toán quan trọng nêu trên. Phương pháp dự báo số trị hiện đã và đang được sử dụng rộng rãi trong dự báo định lượng mưa tại nhiều trung tâm dự báo lớn trên thế giới và trở thành công cụ hỗ trợ dự báo định lượng mưa không thể thiếu cho các dự báo viên. Tuy nhiên, do đặc thù của mô hình số trị có tính phụ thuộc ban đầu mạnh, các bản tin dự báo thời tiết đôi khi cho các kết quả hoàn toàn sai lệch do điều kiện ban đầu không chính xác. Chính vì vậy bên cạnh những cải tiến về vật lý mô hình, tăng độ phân giải,... thì việc cải thiện và cập nhật chính xác hơn các thông tin ban đầu từ số liệu quan trắc thông qua đồng hóa số liệu là vô cùng cần thiết.

1.1 Tổng quan các nghiên cứu trên thế giới

a) Tham số vật lý trong mô hình số trị

Như đã nêu ở trên, trong lịch sử phát triển dự báo thời tiết nói chung và dự báo mưa nói riêng thì có 3 phương pháp chính được sử dụng để dự báo định lượng mưa, gồm: i) Phương pháp thống kê; ii) Phương pháp Sy-nốp; và iii) Phương pháp số trị. Trong đó phương pháp dự báo số trị được đặc biệt quan tâm trong vài thập kỷ gần đây do có khả năng dự báo định lượng mưa chi tiết theo không gian, thời gian. Phương pháp dự báo số trị thông qua việc giải gần đúng hệ phương trình Navie-Stoke đã cho phép mở rộng không những về hạn dự báo mà còn tăng cường chất lượng dự báo các hoàn lưu khí quyển và hiện tượng, hệ quả thời tiết một cách định lượng ở các quy mô không gian khác nhau, từ các mô hình toàn cầu độ phân giải ngang 15-50 km đến các mô hình quy mô vừa (<15 km) và dưới vừa (<2 km) tùy thuộc năng lực máy tính. Mô hình số trị sử dụng các phương pháp tham số hóa nên các sơ đồ tham số hóa đã được chú trọng nghiên cứu, phát triển nhằm giải quyết các quá trình vật lý có quy mô nhỏ hơn độ phân giải lưới tính của mô hình số trị.

Hiện nay cộng đồng khoa học đã bổ sung rất nhiều lựa chọn cho mô hình, thay vì một sơ đồ vật lý cố định trong mô hình, việc đa dạng hóa các tùy chọn sơ đồ vật lý sẽ cho phép đánh giá được các thông số phù hợp tùy thuộc vào từng khu vực áp dụng. Một trong những mô hình được cộng đồng khoa học phát triển theo hướng đa dạng tùy chọn trên là mô hình WRF. Đây là một trong những hệ thống mô hình mở được hỗ trợ một cách đầy đủ nhất hiện nay và mô hình WRF được ứng dụng một cách rộng rãi trong nghiên cứu và nghiệp vụ. Hầu hết các sơ đồ vật lý hiện đại đều được đưa vào mô hình WRF, cho phép các nghiên cứu thử nghiệm một cách dễ dàng hơn cho từng khu vực khác nhau trên thế giới. Sơ đồ tham số hóa đối lưu, vi vật lý mây và lớp biên hành tinh là bộ 3 sơ đồ quan trọng trong mô hình WRF ngoài kỹ thuật đồng hóa số liệu, đặc biệt là số liệu ra-đa. Dưới đây là phần mô tả về một số sơ đồ chính:

Sơ đồ tham số hóa đối lưu: Sơ đồ tham số hóa Kain-Fritsch (KF); Betts-Miller-Janjic (BMJ); Grell-Freitas (GF); Grell-Devenyi (GD); New Tiedtke (NT); Multi-scale Kain-Fritsch (MSKF); Kain-Fritsch sửa đổi (MKF); Scale-aware Kain-Fritsch (SAKF)...

Sơ đồ KF là một tham số hóa đối lưu cổ điển đã được sử dụng thành công từ những năm 1990, là một sơ đồ đối lưu nông dựa trên mô hình dòng ra và dòng vào có thể mô phỏng các dòng thăng và giáng của các dòng khối lượng (Kain 2004; Castro et al. 2005; Ma và Tan 2009; Pennelly và cộng sự 2014). Theo các nghiên cứu chỉ ra rằng tham số hóa đối lưu Kain-Fritsch (KF) trong mô hình WRF là phù hợp cho dự báo lượng mưa (B. Chen et al. (2021); P. Kumar et al. (2020); N. Aryal et al. (2019); C. Lavado-Casimiro et al. (2016); S. Zhang et al. (2013) [14, 19, 56, 57 59]. Đặc biệt trong mô hình WRF hiện nay thì sơ đồ KF có đến 3 biến thể khác nhau như sơ đồ sử dụng kiểu kích hoạt đối lưu Fritsch–Chappell (KF1), kích hoạt dựa trên sự vận chuyển thăng đứng của độ ẩm (KF2) và quá trình nhiễu loạn bổ sung phụ thuộc vào độ ẩm tương đối liên quan đến cơ chế kích hoạt đầu tiên (KF3). Các nghiên cứu hiệu quả giữa việc cập nhật dữ liệu 1 giờ so với 3 giờ và 6 giờ cho mô hình dự báo thời tiết WRF với các chế độ nhập liệu khác nhau, các nghiên cứu trên thế giới cũng chỉ ra rằng KF3

với đồng hóa cập nhật từng giờ một là một lựa chọn tốt đối với việc dự báo mưa, đặc biệt là mưa định lượng hạn cực ngắn (Liu, Y., Wang, P., & Li, Y. (2018); Li, Y., Li, Y., & Wang, P. (2019); Zhang, Y., & Zheng, W. (2021)) [51, 72, 80]

Sơ đồ Betts-Miller-Janjic (BMJ) là sơ đồ tham số đối lưu có thể điều chỉnh sự bất ổn định trong môi trường bằng cách tạo ra sự đối lưu sâu và đã được sử dụng rộng rãi trong các mô hình số. BMJ xem xét cả cấp độ đối lưu nông và sâu; tuy nhiên, không có dòng thăng và giáng cũng như không dòng vào và ra của đám mây. Theo các nghiên cứu chỉ ra rằng hóa đối lưu BMJ trong mô hình WRF cũng là một trong các sơ đồ phù hợp cho dự báo lượng mưa, đặc biệt là mưa lớn (Alviola, P. A., et al. (2014); Abdalla, S., et al. (2018); Parween, S., et al. (2020). Ali, M., et al. (2021) [11, 12, 13 58]. Các nghiên cứu chỉ ra rằng về việc cập nhật dữ liệu 1 giờ tốt hơn khá nhiều so với 3 giờ và 6 giờ cho mô hình WRF đối với sự góp mặt của Betts-Miller-Janjic

Sơ đồ Grell-Devenyi là một sơ đồ đối lưu tổng hợp và gần đây đã được sử dụng trong mô hình có độ phân giải cao (Grell và Freitas 2014). Sơ đồ này sử dụng các phương trình tham chiếu để tính toán các thông số khí tượng như tốc độ gió, độ ẩm và nhiệt độ trong khí quyển, giúp mô hình có thể mô phỏng các hiện tượng thời tiết khác nhau. Sơ đồ Grell-Devenyi có tính linh hoạt và được sử dụng rộng rãi trong việc dự báo thời tiết và khí hậu trên toàn cầu. Theo các nghiên cứu chỉ ra rằng sơ đồ đối lưu Grell-Devenyi trong mô hình WRF cũng là một trong các sơ đồ phù hợp cho dự báo lượng mưa, đặc biệt là mưa lớn (Grell, G. A., & Devenyi, D. (2002); Huang, B., & Zhang, H. (2013); Jain, P., Mandal, M., & Ghosh, S. (2020) [35, 39, 41].

Sơ đồ vi vật lý (MP): Sơ đồ vi vật lý của mô hình WRF bao gồm quá trình hơi nước, mây và mưa được giải quyết rõ ràng, và bài báo này sử dụng các sơ đồ đơn giản đến phức tạp. Các sơ đồ chính như: Lin; WSM3; WSM5; WDM6; Morrison et al. (2005) Milbrandt và Yau; New Thompson; Morrison-Gettleman (MG); GFDL; McFarquhar; Eta...

Sơ đồ Lin là sơ đồ một tham số chứa năm lớp nước trong khí quyển và thích hợp cho mô phỏng độ phân giải cao (Lin et al. 1983, 2018).

Sơ đồ vi vật lý mây New Thompson là một trong những sơ đồ vi vật lý mây được sử dụng trong mô hình WRF mô tả quá trình tương tác giữa mây và khí quyển trong việc dự báo mưa. Sơ đồ này bao gồm một bộ các phương trình đặc tả các quá trình như ngưng tụ, đóng băng, nóng chảy và bay hơi của các hạt mây, được tính toán dựa trên các thông số về nhiệt độ, độ ẩm, áp suất và tốc độ gió. Các kết quả của sơ đồ vi vật lý mây New Thompson đã được kiểm chứng là phù hợp với dữ liệu thực nghiệm và thường được sử dụng trong các nghiên cứu và ứng dụng dự báo mưa. Đặc biệt các nghiên cứu gần đây cũng chỉ rằng việc cập nhật dữ liệu 1 giờ tốt hơn khá nhiều so với 3 giờ và 6 giờ, cụ thể với sơ đồ vi vật lý New Thompson không chỉ cho vùng nhiệt đới và vùng ngoại nhiệt đới cũng như xoáy quy mô vừa (bão và áp thấp nhiệt đới) (Zhang, Y., & Zheng, W. (2021); Chen, Y., & Zhang, Y. (2017))

Sơ đồ WSM6 được dựa trên Lin et al. (1983) và Rutledge và Hobbs (1984), với một số điều chỉnh với 6 lớp mở rộng. Theo các nghiên cứu chỉ ra rằng WSM6 trong mô hình WRF cũng là một trong các sơ đồ phù hợp cho dự báo lượng mưa, đặc biệt là mưa lớn

Sơ đồ lớp biên: Yonsei University (YSU); Mellor-Yamada-Janjic (MYJ); Asymmetric Convective Model version 2 (ACM2); University of Washington (UW); Thermal Diffusion (TD)...Sơ đồ PBL, sơ đồ YSU phân tán không cục bộ dựa trên sơ đồ PBL dự báo phạm vi trung bình, tính toán các thông lượng hoạt động ở một độ cao nhất định, cân nhắc hồ sơ của toàn bộ miền. Hai sơ đồ khuếch tán cục bộ và cô lập MYJ (Janjic 1994) được sử dụng ngưỡng TKE để chặn đoán độ cao của PBL.

Mô hình mô phỏng và dự báo thời tiết như WRF có nhiều tùy chọn sơ đồ tham số khác nhau, mỗi một sơ đồ có các ưu nhược điểm khác nhau, tùy thuộc tính chất nhiệt động lực ở khu vực nghiên cứu. Do vậy nghiên cứu cấu hình mô hình WRF trong dự báo mưa định lượng hạn ngắn cần được thực hiện.

b) Đồng hóa số liệu trong dự báo mưa

Do đặc thù của mô hình dự báo thời tiết bằng phương pháp số trị là sử dụng các phương trình và thuật toán để tính toán các thông số thời tiết, như áp suất khí quyển, nhiệt độ, độ ẩm và gió, dựa trên các thông tin đầu vào, bao gồm dữ liệu quan

trắc, dữ liệu mô hình và các yếu tố khác nên các bản tin dự báo thời tiết đôi khi có độ sai lệch lớn do điều kiện ban đầu không chính xác. Mục đích của dữ liệu đồng hóa là xác định chính xác nhất có thể trạng thái của khí quyển cho một mô hình dự báo bằng cách sử dụng tất cả thông tin có sẵn kết hợp với các quan trắc và dự báo hạn ngắn (nhưng vẫn thỏa mãn các ràng buộc về động lực) để thu được điều kiện ban đầu cho mô hình dự báo thời tiết (NWP). Theo Daley (1991) [28] vấn đề xác định điều kiện ban đầu cho mô hình dự báo là rất cần thiết, tuy nhiên, đây là một quá trình vô cùng phức tạp. Đồng hóa dữ liệu tạo ra một trường ban đầu đều đặn, nhất quán, đại diện bốn chiều của trạng thái của bầu khí quyển từ các mảng không đồng nhất của số liệu quan trắc. Theo Lorenc (1986) [53], dữ liệu đồng hóa ngoài cải thiện trường ban đầu còn giúp ta hiểu biết về các lỗi mô hình, lỗi dữ liệu và phân bố xác suất của chúng.

Lịch sử của đồng hóa số liệu được bắt đầu từ những năm 1950. Như Charney và cộng sự (1950) [21] thực hiện nội suy bằng tay các quan sát có sẵn cho một lưới thông thường và tính toán điều kiện ban đầu sau đó tự số hóa. Công việc này tốn rất nhiều thời gian và công sức. Sau đó, một phương pháp tự động và thuận tiện hơn ra đời cũng bởi tác giả này gọi là "phân tích khách quan". Các phương pháp khách quan sử dụng phép nội suy đơn giản. Gilchrist và Cressman (1954) [37] đã sử dụng phương pháp phân tích khách quan và đưa ra một chương trình nội suy cho độ cao địa thế vị bằng việc vẽ các vòng tròn quanh từng điểm lưới, chỉ những điểm quan trắc nằm trong vòng tròn (của từng điểm lưới) mới có ảnh hưởng đến giá trị của điểm lưới đó. Nhược điểm của phương pháp này là nếu dữ liệu quá thưa và phân bố dữ liệu theo thời gian không đồng đều sẽ không đủ để khởi tạo điều kiện ban đầu cho mô hình. Bergthorsson và Doos (1955) [18] đã giới thiệu phương pháp hiệu chỉnh liên tiếp để khắc phục lượng dữ liệu quan trắc nghèo nàn bằng việc bổ sung thêm các thông tin từ trường nền, trường dự báo hạn ngắn hoặc từ các phân tích trước đó cho trường ban đầu. Phương pháp này sau đó cũng được phát triển bởi Cressman (1959) [20]. Trải qua nhiều giai đoạn phát triển, nhìn chung có ba loại chính của kỹ thuật đồng hóa dữ liệu: phương pháp thực nghiệm (Gilchrist và Cressman, 1954) [37], phương pháp biến phân dựa trên lý thuyết điều khiển tối ưu (Lions, 1968) [47] và phương pháp

thống kê dựa trên lý thuyết về ước lượng thống kê tối ưu (Bennett, 2002) [17] áp dụng cho cả hai ngành khí tượng và hải dương học. Bước ngoặt của đồng hóa số liệu là ở các phương pháp biến phân (3D-VAR, 4D-VAR) lần đầu tiên được giới thiệu trong khí tượng bởi Lewis và cộng sự (1985), Talagrand và cộng sự (1987) [22]. Bài toán biến phân tập trung vào việc tìm kiếm trạng thái khí quyển có khả năng xảy ra cao nhất ứng với một tập quan trắc và một trạng thái nền cho trước bằng cách tối thiểu hoá một hàm giá. Ưu điểm của phương pháp này là hàm giá được cực tiểu hoá trên toàn miền và các quan trắc được dàn đều, tránh được tình huống “mắt trâu” từ một điểm có giá trị quá lớn, tuy nhiên nhược điểm của nó là trường nền không biến đổi theo thời gian trong khi thực tế thì ngược lại, đối với mỗi thời điểm và với các hình thể thời tiết khác nhau lại cần một loại trường nền khác nhau. Để khắc phục vấn đề này, các phương pháp thống kê (bộ lọc Kalman) được giới thiệu bởi Ghil (1989) [34] đã ra đời, ưu điểm của nó là ma trận sai số hiệp biến của trạng thái nền được tích phân theo thời gian, tuy nhiên do đòi hỏi khối lượng tính toán rất lớn, sau đó một số biến thể của phương pháp này đã ra đời như: bộ lọc Kalman tổ hợp EnKF, lọc Kalman tổ hợp biến đổi địa phương LETKF.

Tóm lại, đồng hóa có một lịch sử khá dài và được phát triển gần đây cùng với tiến bộ của khoa học máy tính và mô hình số và sự phát triển mạnh mẽ của các kỹ thuật đồng hóa số liệu. Các phương pháp đồng hóa cổ điển nêu trên như nội suy tối ưu (“*optimum interpolation*”) hay hiệu chỉnh liên tiếp (“*successive correction method*”) đã được thay thế bằng các kỹ thuật hiện đại với cách tiếp cận biến phân (“*variational method*”). Như phương pháp đồng hóa biến phân 3 chiều (“*three-dimensional variational method*” - 3D-Var), 4 chiều (4D-Var) và các biến thể lọc Kalman tổ hợp (“*Ensemble Kalman Filter*” - EnKF) Với mức độ phát triển cao, các phương pháp đồng hóa số liệu đòi hỏi nhiều bước tính toán cũng như quá trình xử lý số liệu nhiều bước (Skamarock, W. C, (2008)) [60]. Các phương pháp đồng hóa dữ liệu 3DVar và 4DVar đã làm tăng chất lượng dự báo dựa trên các nguồn số liệu mới như ra-đa, vệ tinh. Bên cạnh đó, các cách tiếp cận dựa trên phương pháp tổ hợp (EnKF) cũng có ưu điểm trong việc cung cấp các bản tin dự báo xác suất (Benjamin

ccs., (2004) [16]. Các hệ thống EnKF cũng đang được thử nghiệm tại một số trường đại học của Hoa Kỳ. Các hệ thống này tại Hoa Kỳ đang cho thấy triển vọng rất lớn về khả năng dự báo hiện tượng thời tiết nguy hiểm so với các hệ thống dữ liệu hoạt động đồng hóa hiện tại. So với phương pháp 3D-Var, phương pháp 4D-Var xử lý số liệu trên cả chiều thời gian giúp trường phân tích không những tối ưu theo nghĩa thống kê mà còn phù hợp về mặt động lực. Từ đó, trường nền có thể thay đổi theo thời gian và phù hợp hơn với từng hình thái thời tiết. Hơn thế nữa, 4D-Var có thể đồng hóa được nhiều loại số liệu mà 3D-Var không đồng hóa được (ví dụ số liệu lượng mưa). Tuy nhiên, phương pháp 4DVar yêu cầu khối lượng tài nguyên tính toán lớn, do số liệu quan trắc được cập nhật theo thời gian, đòi hỏi phải sử dụng mô hình tiếp tuyến và liên hợp để tính toán sự phù hợp của các trường phân tích trên cửa sổ đồng hóa.

Đồng hóa số liệu đã trải qua nhiều giai đoạn phát triển, các phương pháp và kỹ thuật đồng hóa luôn được cải tiến và có thể được tổng quát lại như sau (Hình 1.1):

❖ *Phương pháp dựa trên thống kê*

Nội suy tối ưu (OI - Optimal Interpolation); Lọc Kalman (KF - Kalman Filter);

Lọc Kalman mở rộng (EKF – Extension Kalman Filter), trong EKF có 3 kỹ thuật nhỏ.

❖ *Phương pháp biến phân*

Phương pháp hiệu chỉnh liên tiếp (SCM - Successive Correction Method); Phương pháp nudging; Biến phân ba chiều (3DVAR – 3 Dimensional Variational data assimilation); Biến phân bốn chiều (4DVAR – 4 Dimensional Variational data assimilation)

❖ *Phương pháp lai*

Tổ hợp Lọc Kalman (EnFK - Ensemble Kalman Filter); Lọc Kalman địa phương (LETKF - Local ensemble transform Kalman filter); Như đồng hóa tổ hợp EDA; 4Dvar tổ hợp; Hybrid 4DVar-EnKF; GSI

Hiện nay có rất nhiều phương pháp và kỹ thuật đồng hóa số liệu khác nhau,

trong Luận án này sẽ trình bày một số phương pháp chính được sử dụng phổ biến hiện nay trên thế giới và tại nước ta. Cũng như phục vụ trực tiếp nghiên cứu của Nghiên cứu sinh về đồng hóa ra-đa cho mô hình WRF dự báo mưa hạn cực ngắn.



Hình 1. 1. Sơ đồ tổng quát các phương pháp và kỹ thuật đồng hóa số liệu cho mô hình số hiện nay (M. Asch, M. Bocquet and M. Nodet, 2017) [54]

c) Tổng quan các nghiên cứu đồng hóa ra-đa dự báo mưa hạn ngắn trên thế giới

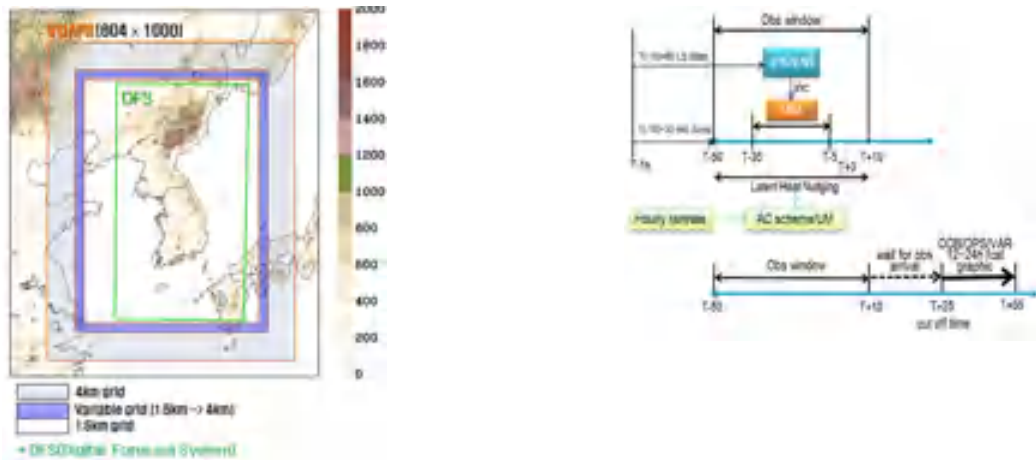
Dự báo mưa hạn cực ngắn là một vấn đề đã được các nhà khí tượng đề cập từ cuối thập niên 70, các nhà khoa học đã kết hợp giữa các sản phẩm ra-đa và vệ tinh để dự báo mưa trong hạn dự báo 6 giờ. Một số các mô hình số trị được phát triển dự báo khá chính xác cấu trúc ngang và thẳng đứng các hiện tượng khí tượng quy mô nhỏ dưới 12 giờ. Để cải thiện trường ban đầu cho mô hình số trị thì phương pháp đồng hóa số liệu đã ra đời. Đồng hóa số liệu là kết hợp một cách tốt nhất các nguồn thông tin, số liệu khác nhau, số liệu quan trắc, số liệu nền, một thông tin tiên nghiệm hoặc số liệu thống kê để ước lượng, tính toán trạng thái của một hệ thống, một phương trình mô hình [30].

Việc đồng hóa số liệu nhằm cải thiện chất lượng dự báo mưa lớn hạn ngắn không ngừng phát triển trong nhiều năm qua. Việc sử dụng đồng hóa số liệu quan trắc, vệ tinh, ra-đa cho mô hình số giúp bổ sung thông tin cho các trường ban đầu, nâng cao khả năng dự báo mưa lớn đặc biệt là mưa hạn ngắn được nhiều nước trên thế giới áp dụng. Các phương pháp đồng hóa dữ liệu 3DVAR, 4DVAR đã làm tăng chất lượng dự báo dựa trên các nguồn số liệu mới như ra-đa, vệ tinh,... Bên cạnh đó các cách tiếp cận dựa trên phương pháp tổ hợp như LETKF [27, 33, 36, 61, 79]. Tuy nhiên, việc đồng hóa số liệu cũng đòi hỏi sự chính xác và tính thống nhất trong việc thu thập và xử lý dữ liệu, cũng như việc phát triển các phương pháp đồng hóa hiệu quả.

Như đã nêu ở trên, việc đồng hóa số liệu có thể cải thiện dự báo thời tiết, cụ thể là dự báo mưa, đặc biệt mưa lớn và mưa lớn hạn cực ngắn. Vậy bài toán đồng hóa đặt ra câu hỏi rằng tần suất đồng hóa các dữ liệu bao nhiêu là phù hợp. Các nghiên cứu hiệu quả giữa việc cập nhật dữ liệu 1 giờ, 3 giờ và 6 giờ cho mô hình WRF với các chế độ nhập liệu khác nhau, tần suất khác nhau, đặc biệt là số liệu ra-đa trong việc dự báo mưa, mưa định lượng hạn cực ngắn cho thấy rằng đồng hóa cập nhật 1h tốt hơn hẳn so với tần suất 3 hoặc 6h/lần [22, 26,43, 63, 80].

Hiện nay quan trắc ra-đa có rất nhiều thông tin và đã được đồng hóa vào mô hình WRF với các yếu tố như độ phản hồi, gió xuyên tâm hoặc cả hai nhằm tăng cường khả năng dự báo mưa. Kết quả thấy rằng đồng hóa độ phản hồi có vai trò quan trọng và đóng góp lớn hơn so với đồng hóa tốc độ gió xuyên tâm trong dự báo mưa và đặc biệt mưa định lượng hạn cực ngắn [64, 65, 76, 77].

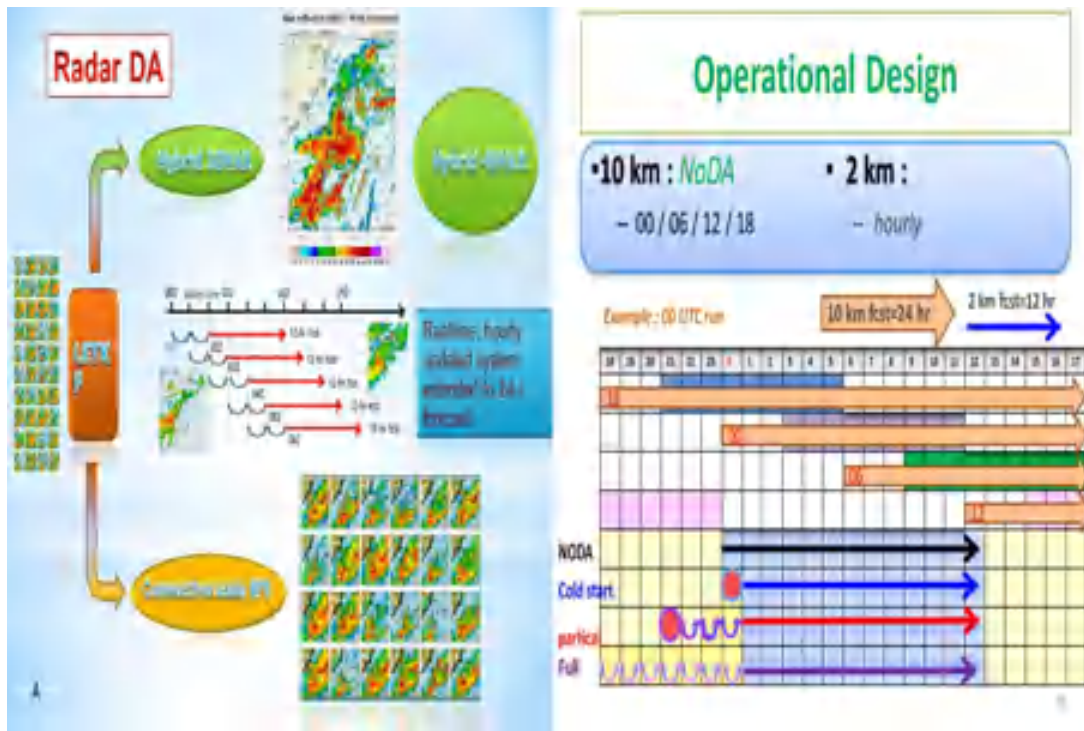
[Schwitalla và Wulfmeyer \(2013\) \[71\]](#) đã nghiên cứu tác động của đồng hóa vận tốc gió xuyên tâm và độ phản hồi từ mạng lưới Ra-đa của Pháp và Đức cho dự báo lượng mưa định lượng mưa hạn cực ngắn. Nghiên cứu sử dụng mô hình WRF độ phân giải 3.6 km và chu trình cập nhật nhanh WRF (RUC - Rapid Update Cycle) 3 tiếng một. Kết quả đã cho thấy được tác động tích cực đối với dự báo khi áp dụng đồng hóa thành phần vận tốc gió xuyên tâm ở chế độ cycling. Vận tốc xuyên tâm làm giảm sự dự báo không lượng mưa 3 giờ so với thí nghiệm không có dữ liệu ra-đa.



Hình 1. 2. Sơ đồ mô hình VDAPS

Về kỹ thuật đồng hóa số liệu cho mô hình để dự báo mưa lớn hạn cực ngắn, tiến bộ nhất hiện nay là hệ thống đồng hóa làm mới nhanh (The Rapid Refresh-RAP), do các nhà khoa học Hoa Kỳ phát triển và đã được đưa vào ứng dụng trong nghiệp vụ tại cơ quan dự báo quốc gia từ năm 2012. Theo đánh giá gần đây, hệ thống HRRR này dự báo thiên cao ở vùng Đại Bình nguyên (Great Plains) và thiên thấp tại đông nam Hoa Kỳ. Kỹ năng dự báo của hệ thống HRRR cũng được cải thiện theo các năm (James O. Pinto, 2015).

Tương tự như Hoa Kỳ, Hàn Quốc cũng xây dựng hệ thống VDAS (Very short-range Data Assimilation and Prediction System - Hình 1.2), hệ thống dự báo cực ngắn cập nhật liên tục 1h một trên cơ sở mô hình số trị độ UM phân giải rất cao (1.5km) kết hợp đồng hóa 3/4DVAR với các số liệu bề mặt, thám không, vệ tinh, độ phản hồi và gió xuyên tâm của ra-đa, cường độ mưa, và tầm nhìn xa (mây). Hệ thống này đã phục vụ cho dự báo mưa hạn cực ngắn cho thế vận hội mùa hè 2016 tại Hàn Quốc (Dong-Joon Kim, 2016)



Hình 1. 3. Hệ thống cập nhật nhanh của CWB

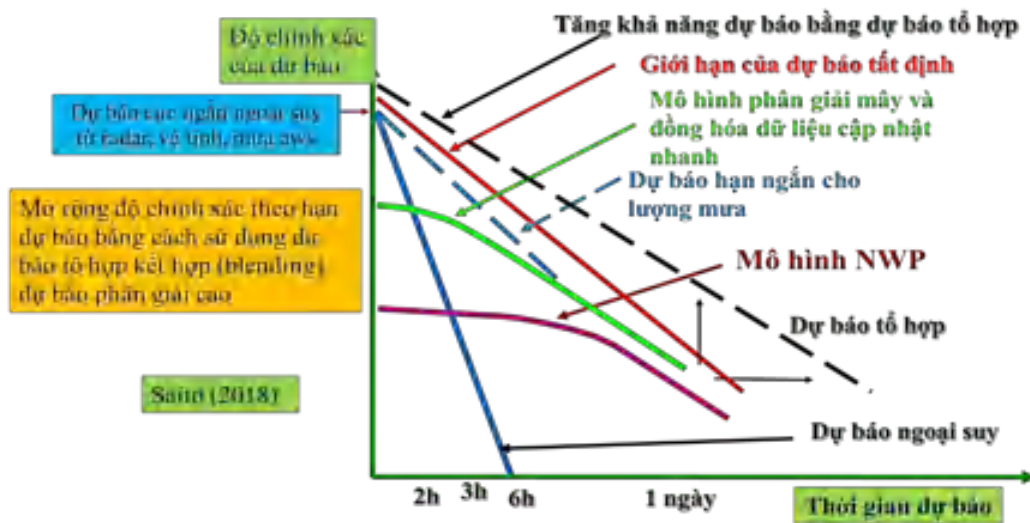
Cục khí tượng Đài Loan cũng dùng mô hình WRF độ phân giải cao (2km) kết hợp đồng hóa số liệu độ phản hồi và tốc độ gió xuyên tâm từ ra-đa, được cập nhật liên tục 1h một hỗ trợ dự báo hạn cực ngắn [74].

Hình dưới đây cho thấy các cơ quan nghiệp vụ lớn trên thế giới đều áp dụng việc đồng hóa cập nhật nhanh từng giờ trong dự báo thời tiết nói chung và dự báo mưa nói riêng [31].

Group	DA cycle	Coupling to host model
Meteo-France HIRLAM ALADIN	1 h cont. cycling 3 h cont. cycling 3-6 h cont. cycling	ARPEGE 0 h lag ECMWF 3-6 h lag ARPEGE 0h lag or ECMWF 6 h lag
COSMO DWD	1 h cont. cycling	ICON ensemble (20 km) 0 h lag
COSMO Suisse	1 h cont. cycling	ECMWF ensemble
Met Office	1 h cont. cycling	MO global 3-6 h lag
NOAA CONUS NAM	1 h cycling (restart from global 1- 6 h)	Parent domain (12 km)
NOAA HRRR	1 h cycling (restart from 13 km parent model 1-1h)	Parent domain (13 km)
JMA MA	3 h cont. cycling	JMA GSM 3-6 h lag
JMA LA	1 h cycling (restart from MA 1- 3h)	MSM 3-6 h lag

Hình 1. 4. Tổng hợp về việc đồng hóa cập nhật nhanh của các cơ quan dự báo nghiệp vụ trên thế giới

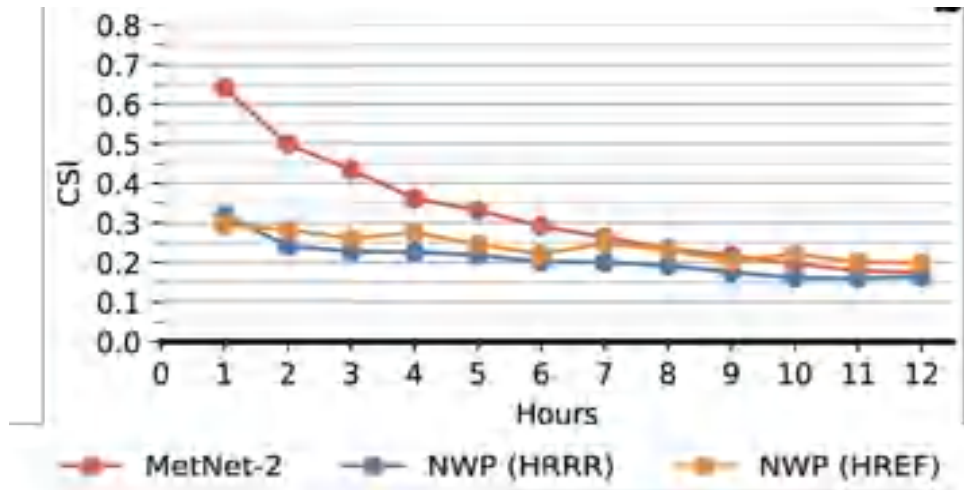
Trên cơ sở tổng quan ở trên có thể thấy đồng hóa là một trong những nội dung được quan tâm phát triển nhanh trong thời gian gần đây, góp phần cải thiện kỹ năng dự báo thời tiết cho mô hình số trị. Cùng ngày, kỹ thuật đồng hóa càng đa dạng, có những bước nhảy vọt từ sơ khai như thống kê cho đến biến phân và tổ hợp các đặc tính tối ưu nhất cho bài toán dự báo thời tiết. Có thể tổng kết khả năng dự báo và độ chính xác của các phương pháp dự báo mưa định lượng như sau:



Hình 1. 5. Khả năng dự báo và độ chính xác của các phương pháp dự báo mưa định lượng hiện nay [Saito, 2018]

Gần đây [Espeholt, L., Agrawal, S., Sønderby, C. et al \(2022\) \[29\]](#) đã nghiên cứu về việc sử dụng học sâu (deep learning) để dự báo mưa trong 12 giờ. Kết quả cho thấy phương pháp này có thể cải thiện đáng kể độ chính xác của dự báo so với các phương pháp truyền thống. Trong các thử nghiệm trên mô hình dự báo thời tiết của Mỹ (NAM), phương pháp học sâu đã cho kết quả chính xác hơn 30% so với các phương pháp dự báo tốt nhất hiện nay của cơ quan khí tượng Hoa Kỳ. Điều này cho thấy tiềm năng lớn của học sâu trong việc cải thiện dự báo thời tiết và mưa. Hình 1.5 cho thấy chỉ số CSI của hệ thống học máy này lên đến 0.65 và gấp đôi so với chỉ số CSI của hệ thống HRRR/RAP V4 cũng như hệ thống HREF với CSI của HRRR và

HREF tương ứng hoảng 0.3-0.32 hạn 1h và giảm rất chậm đối với hạn 3h và 6h (tương ứng 0.25 và 0.21) đối với ngưỡng mưa 2mm/h (48mm/ngày-mưa to).



Hình 1. 6. Chỉ số đánh giá CSI của học máy MetNet2, HRRR và HREF ngưỡng 2mm/h theo các hạn từ 1 đến 12 cho Hoa Kỳ

Tóm lại, trên thế giới hiện nay, tại các cơ quan dự báo nghiệp vụ và đơn vị nghiên cứu thì việc đồng hóa số liệu, đặc biệt là đồng hóa số liệu ra-đa độ phân giải cao cập nhật từng giờ cho mô hình số trị là phương pháp chính, chủ yếu và cho kết quả dự báo tốt nhất hiện nay đối với mưa, mưa lớn cho hạn cực lớn bên cạnh kết hợp với ngoại suy ra-đa-vệ tinh. Việc ứng dụng trí tuệ nhân tạo cũng hứa hẹn cho những cải thiện chất lượng dự báo nói chung và cải thiện dự báo mưa từ các hệ thống mô hình số trị đồng hóa cập nhật nhanh.

1.2 Tổng quan các nghiên cứu ở Việt Nam

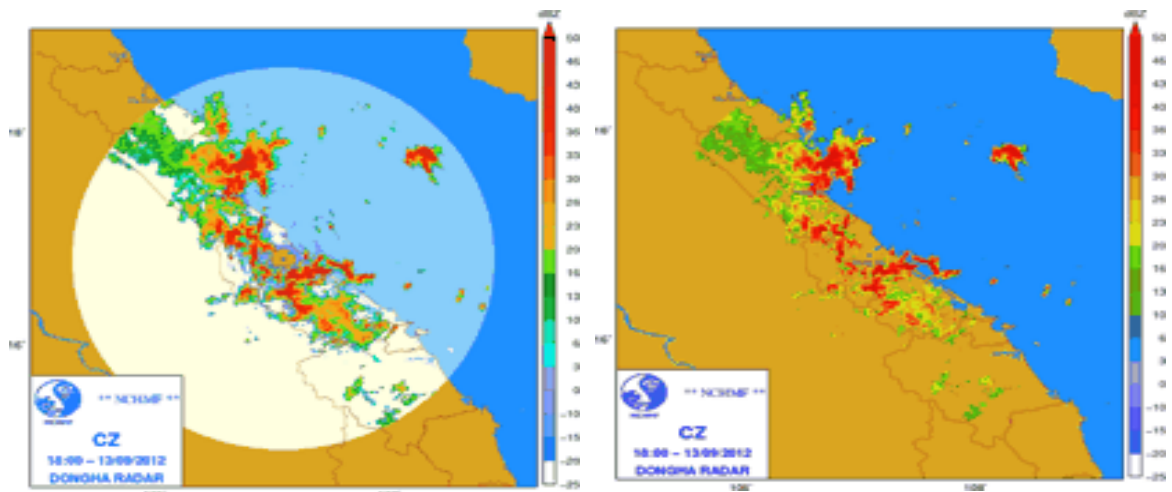
Kiều Thị Xin ccs., (2005) [4] nghiên cứu cải tiến trường ban đầu từ mô hình toàn cầu GME (“Global-Models”) thông qua các sơ đồ đồng hóa số liệu bằng phương pháp biến phân một chiều, ba chiều (1D-Var, 3D-Var) cho thấy có sự cải thiện đáng kể trong kỹ năng dự báo một số yếu tố khí tượng trong đó có dự báo định lượng mưa từ mô hình HRM. Tuy nhiên, sơ đồ 3D-Var mới chỉ sử dụng được các nguồn số liệu quan trắc truyền thống mà chưa sử dụng được nguồn số liệu quan trắc phi truyền thống và kết quả dự báo cũng chưa thực sự đáp ứng được yêu cầu nghiệp vụ. Cũng hướng nghiên cứu này, Lê Đức (2007) [5] đã sử dụng nguồn số liệu vệ tinh MTSAT để bổ sung thêm các thám sát nhiệt và ẩm cho sơ đồ 3D-Var nhằm nâng cao chất

lượng đầu vào cho mô hình HRM với bài toán dự báo mưa lớn cho khu vực Nam Bộ. Nghiên cứu của [Huỳnh Thị Hồng Ngự và La Thị Cang \(2008\) \[3\]](#) đã giới thiệu về 4D-Var tuy nhiên mới chỉ dừng lại ở những biện luận về khả năng áp dụng 4D-Var trong dự báo thời tiết bằng các mô hình số trị và hướng phát triển trong tương lai của kỹ thuật này ở Việt Nam.

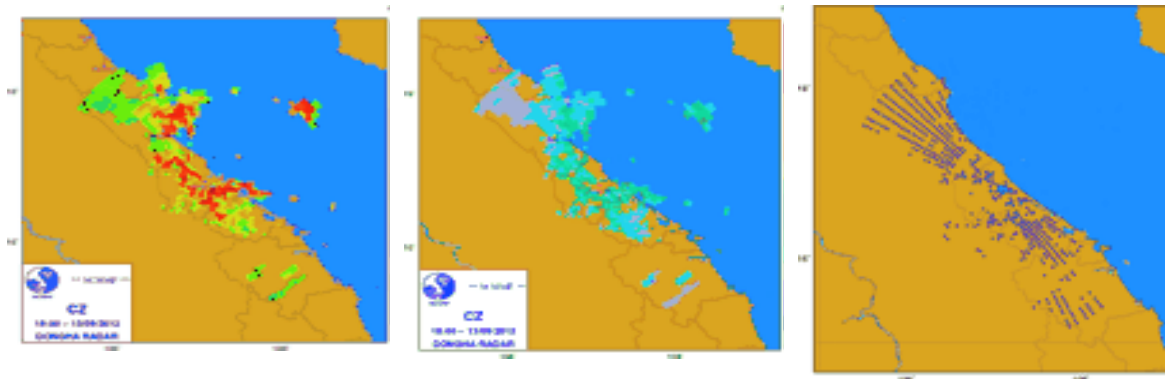
Đồng hóa số liệu ra-đa, ở Việt Nam, một số nghiên cứu về đồng hóa số liệu như của [Trần Tân Tiến và Nguyễn Thị Thanh \(2011\) \[9\]](#) đã sử dụng WRF-DA để thử nghiệm đồng hóa số liệu vệ tinh MODIS bằng phương pháp 3D-Var để dự báo mưa lớn ở khu vực Trung Bộ. [Trần Tân Tiến ccs., \(2013\)](#) cũng đã ứng dụng phương pháp lọc Kalman tổ hợp vào dự báo cường độ bão 5 ngày. Các kết quả cho thấy chất lượng của dự báo ở các hạn gần đã tốt hơn so với trường hợp không đồng hóa. [Đur Đức Tiến ccs., \(2013\) \[2\]](#) đã giới thiệu các vấn đề cơ bản liên quan đến việc xử lý số liệu ra-đa Doppler để đưa vào đồng hóa số liệu cho mô hình WRF. Các thuật toán xử lý đã được ứng dụng cho số liệu ra-đa Đông Hà, bao gồm xử lý nhiễu địa hình, xử lý nhiễu điểm ảnh và làm trơn (“*thinning*”) để tạo số liệu mẫu (“*super observation*”). [Bùi Minh Tăng ccs., \(2014\)](#) cho thấy việc ứng dụng thành công các mô hình khu vực WRF, NHM và sơ đồ đồng hóa số liệu 3DVar trong thử nghiệm dự báo. Các phương pháp UMOS và lọc Kalman đã cải thiện được chất lượng dự báo mưa lớn so với dự báo từ mô hình WRF có độ phân giải 15km. Với kết luận phương pháp UMOS là tốt nhất tuy nhiên số trường hợp thử nghiệm còn ít (<10 trường hợp) vì vậy chưa thể khẳng định tính chính xác và áp dụng vào thực tế. [Ngô Đức Thành \(2014\) \[6\]](#) đã xây dựng được hệ thống WRF với lọc tổ hợp đồng hóa Kalman (LETKF) thử nghiệm ứng dụng hướng nghiệp vụ và được đánh giá trên các hạn dự báo 24h, 48h và 72h. Hệ thống bao gồm 21 thành phần, dự báo với quá trình đồng hoá từng 12 giờ. Nguồn số liệu dùng để đồng hoá là bộ số liệu quan trắc gió vệ tinh. [Đur Đức Tiến \(2016\) \[1\]](#) đã tiếp nối nghiên cứu của Bùi Minh Tăng trong việc đồng hóa số liệu địa phương tại Việt Nam và số liệu ra-đa Doppler Đông Hà. Ngoài ra đề tài đã thử nghiệm bổ sung xử lý và đồng hóa thêm số liệu gió hướng tâm từ các quan trắc ra-đa Doppler (Đông Hà, Tam Kỳ). Thử nghiệm hệ thống đồng hóa động lực giảm dư Nudging số liệu ra-đa cho hệ

thống mô hình COSMO. Kết quả cho thấy rằng hệ thống đồng hóa biến phân WRFDA cho mô hình WRF-ARW cho thấy chưa có sự khác biệt thực sự khi sử dụng số liệu bề mặt của Việt Nam mặc dù sự thay đổi của trường ban đầu có thể lan lên các mực đến 500hPa trong mô hình trong các tháng mùa hè. Đối với số liệu ra-đa, các kết quả khảo sát với hệ thống COSMO sử dụng số liệu ra-đa phía bắc hoặc mô hình WRF-ARW đồng hóa số liệu Đông Hà cho thấy dự báo mưa của mô hình khá nhạy với sự thay đổi do đồng hóa ra-đa mang lại và có thể ảnh hưởng đến thời hạn 48h dự báo. Các thuật toán xử lý đã được ứng dụng cho số liệu Ra-đa Doppler Đông Hà, bao gồm xử lý nhiễu địa hình, xử lý nhiễu điểm ảnh (Hình 1.6) và làm trơn (thinning) tạo số liệu mẫu (super observation) để đưa vào đồng hóa (Hình 1.7).

Trần Hồng Thái *ccs.*, (2016) [8] cũng đồng hóa số liệu ra-đa nhưng bằng phương pháp đồng hóa giảm dư đại lượng ẩn nhiệt cho mô hình COSMO. Kết quả dự báo thử nghiệm cho đợt mưa lớn lịch sử tại Quảng Ninh năm 2015 cho thấy tác động rõ rệt khi sử dụng số liệu ra-đa so với chỉ sử dụng số liệu bề mặt đơn thuần. Trần Duy Thức *ccs.*, (2018) [7] đã thử nghiệm đồng hóa số liệu ra-đa Nhà Bè vào mô hình WRF cho bài toán dự báo mưa lớn ở khu vực TP.HCM. Kết quả đánh giá chỉ dừng lại ở một trường hợp thử nghiệm trong tháng 8 năm 2016 nhưng cũng cho thấy ưu điểm của việc sử dụng số liệu ra-đa trong bài toán đồng hóa.

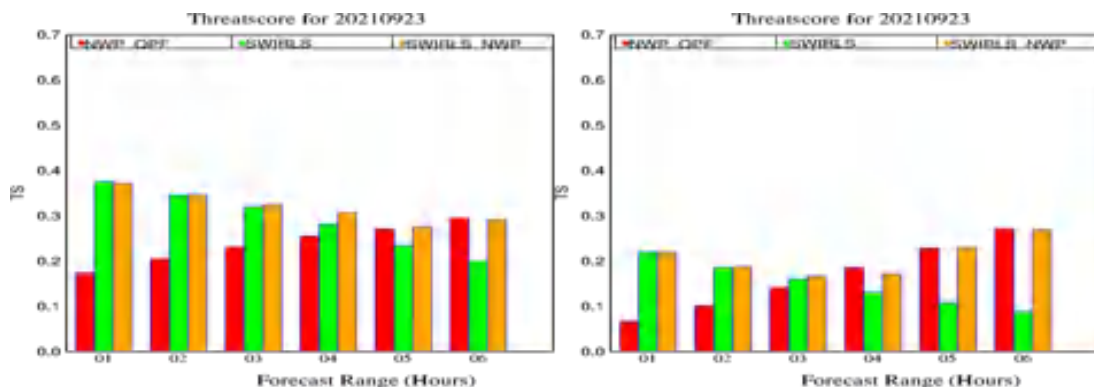


Hình 1. 7. Minh họa quá trình loại bỏ nhiễu địa hình và nhiễu biển tại Ra-đa Đông Hà



Hình 1. 8. Ảnh minh họa quá trình xử lý từ dữ liệu sau lọc nhiễu đến các điểm dữ liệu được lựa chọn

Mai Văn Khiêm và cộng sự đã thử nghiệm ứng dụng ra-đa kết hợp mô hình số trị trong dự báo mưa hạn cực ngắn [10]. Trong nghiên cứu này giới thiệu một hệ thống kết hợp (blending) đang được triển khai nghiệp vụ tại Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn quốc gia gồm: các sản phẩm ngoại suy 1-6h đối với mưa và hệ thống đối lưu dựa trên quan trắc ra-đa thông qua hệ thống dự báo cực ngắn SWIRLS của Cơ quan khí tượng Hồng Kông (HKO) và hệ thống dự báo số trị quy mô đối lưu dựa trên mô hình WRF-ARW cho các dự báo đến 12h tiếp theo. Sản phẩm từ 1-6h đầu dự báo từ mô hình được hiệu chỉnh dựa trên ước lượng mưa từ ra-đa và các dự báo cực ngắn (ngoại suy) dựa trên quan trắc ra-đa. Những kết quả thử nghiệm bước đầu của nghiên cứu cho thấy khả năng ứng dụng cao của hệ thống cảnh báo hạn ngắn mưa dông như hình 1.8



Hình 1. 9. Kết quả so sánh giữa mô hình số, ngoại suy ra-đa và kết hợp tại thời điểm dự báo ngày 23/9/2021 với các hạn dự báo 1-6h.

Vũ Văn Thăng (2020) thực hiện Đề tài K08/16-20.14 “Nghiên cứu xây dựng hệ thống nghiệp vụ dự báo định lượng mưa khu vực Nam Bộ và cảnh báo mưa định lượng hạn cực ngắn cho TP.HCM” với mục đích chính là xây dựng được hệ thống mô hình nghiệp vụ dự báo mưa cho khu vực Nam Bộ và đặc biệt hệ thống cảnh báo mưa định lượng hạn cực ngắn (trước 3-6 giờ) cho TP.HCM. Tác giả đã đánh giá lựa chọn được cấu hình (miền tính, lưới tính, các sơ đồ tham số hóa,..); xây dựng được công nghệ đồng hóa số liệu truyền thống, phi truyền thống (3DVar; 4DVar; GSI) cho mô hình số trị độ phân giải cao; hệ thống dự báo tổ hợp định lượng mưa 1-3 ngày cho khu vực Nam Bộ.

Luận án này kế thừa một phần số liệu, phương pháp từ Đề tài K08/16-20.14, tuy nhiên Luận án đã thực hiện các nghiên cứu để tìm ra các điểm mới, đóng mới không trùng lặp với kết quả của Đề tài như: Tiến hành thử nghiệm và xác định được bộ tham số hoá vật lý phù hợp cho hệ thống HCM-RAP ứng dụng trong dự báo định lượng hạn cực ngắn (1-6h) cho khu vực TP.HCM theo phương pháp đồng hóa cập nhật nhanh từng giờ ra-đa cho mô hình WRF; Luận án đánh giá lượng mưa theo từng giờ (rainrate) dự báo từ 1h đến 6h của các yếu tố quan trắc của ra-đa trong đồng hóa cập nhật nhanh và xác định được mức độ đóng góp cụ thể của độ phản hồi, tốc độ gió xuyên tâm đến độ chính xác của dự báo mưa tại các hạn dự báo 1h, 3h, 6h và các ngưỡng mưa khác nhau. Kết quả chỉ ra độ phản hồi có vai trò, ảnh hưởng lớn nhất trong việc cải thiện kỹ năng dự báo mưa định lượng hạn cực ngắn so với không đồng hóa cho khu vực TP.HCM; Luận án cũng chỉ ra được vai trò của việc đồng hoá số liệu ra-đa cho mô hình WRF trong việc nâng cao chất lượng dự báo định lượng mưa hạn cực ngắn trong khoảng hạn từ 4-6h so với ngoại suy ra-đa, bổ khuyết cho khoảng trống trên và cùng với ngoại suy mưa ra-đa hạn 1-3h nhằm nâng cao chất lượng dự báo cảnh báo mưa lớn hạn cực ngắn 1-6h

Có thể nói, ở nước ta các ứng dụng đồng hóa nói chung và số liệu ra-đa nói riêng dự báo mưa mới ở giai đoạn ban đầu, chưa được đưa vào dự báo nghiệp vụ chính thức như các hệ thống cập nhật nhanh trên thế giới. Dự báo mưa lớn và đặc biệt

là mưa lớn hạn cực ngắn chưa khai thác hết vai trò của số liệu ra-đa trong bài toán đồng hóa.

Tiểu kết Chương 1

Chương 1 đã phân tích, đánh giá được các công trình nghiên cứu trên thế giới và ở Việt Nam liên quan đến đồng hóa số liệu dự báo mưa định lượng, đặc biệt là đồng hóa cập nhật nhanh dự báo mưa định lượng hạn ngắn. Trong số đó đồng hóa ra-đa là một nhánh được ứng dụng và sử dụng nhiều do mạng lưới ra-đa ngày càng nhiều và những đặc tính ưu việt của số liệu ra-đa trong việc đồng hóa cải thiện trường ban đầu cho mô hình số trong dự báo thời tiết và đặc biệt trong dự báo hạn cực ngắn với sự kết hợp đồng hóa, cập nhật nhanh độ phân giải cao và ngoại suy ra-đa. Hầu như tất cả các cơ quan dự báo trên thế giới đều ứng dụng các đồng hóa số liệu ra-đa cho mô hình số cập nhật từ 30 phút đến 1h một nhằm cải thiện chất lượng dự báo. Riêng ở nước ta, các ứng dụng đồng hóa nói chung và số liệu ra-đa trong dự báo mưa mới ở giai đoạn ban đầu, chưa được đưa vào dự báo nghiệp vụ chính thức, chưa khai thác hết vai trò của số liệu ra-đa trong bài toán đồng hóa.

Do đó, nghiên cứu này được đặt ra để lựa chọn được bộ tham số tối ưu cho hệ thống đồng hóa ra-đa cập nhật nhanh cho mô hình WRF và xác định vai trò của độ phân hồi, tốc độ gió xuyên tâm từ đó nâng cao độ chính xác của kết quả dự báo mưa định lượng hạn cực ngắn (1-6h) cho khu vực TP.HCM.

CHƯƠNG 2: PHƯƠNG PHÁP ĐỒNG HÓA SỐ LIỆU RA-ĐA DỰ BÁO MƯA ĐỊNH LƯỢNG HẠN CỰC NGẮN VÀ SỐ LIỆU SỬ DỤNG

2.1 Hệ thống mô hình khu vực áp dụng trong luận án

2.1.1. Giới thiệu về mô hình WRF

Mô hình nghiên cứu và dự báo thời tiết WRF (The Weather Research and Forecast) được phát triển bởi Trung tâm hợp tác khí quyển NCAR của Hoa Kỳ. Đây là một trong những mô hình phổ biến nhất trong các mô hình dự báo thời tiết thời điểm hiện tại. Là một mã nguồn mở, tính tùy biến cao, cho phép thực hiện các mô phỏng ở nhiều độ phân giải khác nhau cho nên 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, cụ thể: tại Mỹ, mô hình WRF đang được chạy nghiệp vụ tại NCEP (từ năm 2004) và AFWA (từ tháng 7/2006). Mô hình này cũng đang được chạy nghiệp vụ tại KMA (2006), tại Ấn Độ, Đài Loan và Israel (từ năm 2007). Ngoài ra, một số nước khác đang sử dụng WRF trong nghiên cứu và dự định sử dụng mô hình này trong nghiệp vụ như Trung Quốc, New Zealand, Braxin,...trong đó có Việt Nam.

Mô hình WRF thường xuyên được cập nhật các phiên bản mới cũng như sửa chữa các lỗi xảy ra trong quá trình cài đặt và chạy mô hình. Phiên bản mới nhất của mô hình WRF (phiên bản 4.0) ra đời ngày 08 tháng 06 năm 2018. Có thể download tại địa chỉ: <http://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/downloads.html>.

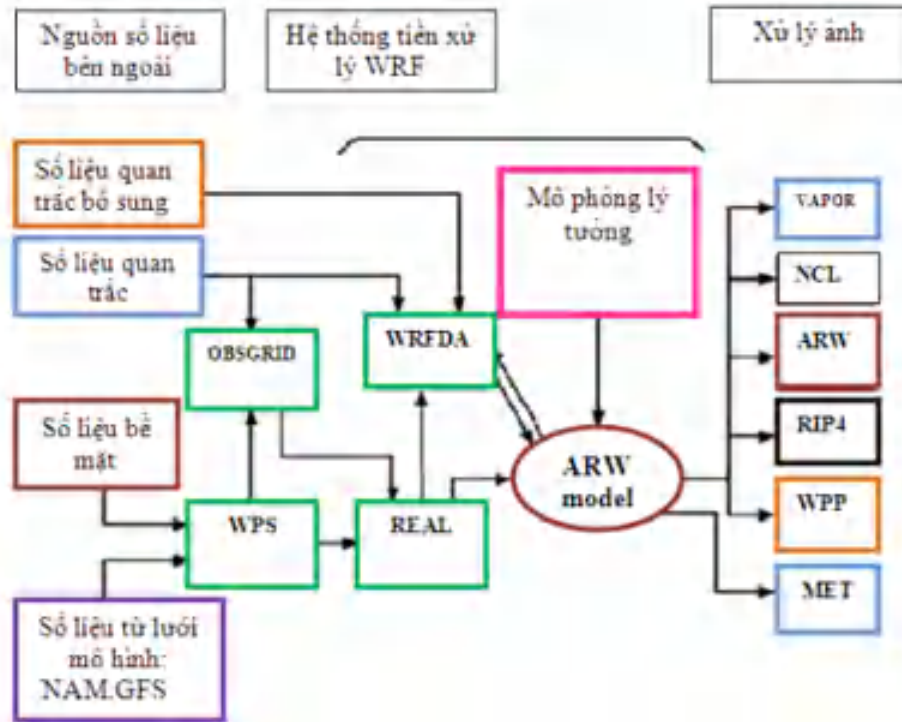
Cấu trúc của mô hình WRF bao gồm các phần cơ bản sau đây:

Chương trình mô phỏng dữ liệu ban đầu (WRF Preprocessing System, WPS)

Chương trình đồng hóa số liệu (WRF-Var); Chương trình chính của WRF (ARW solver); Công cụ đồ họa xử lý sản phẩm của mô hình (Post-processing & Visualization tools)

Hệ thống mô hình WRF cung cấp nhiều lựa chọn vật lý có thể kết hợp được với nhau theo nhiều cách. Các sơ đồ tham số hoá vật lý trong mô hình WRF rất phong phú, bao gồm: Các quá trình vật lý vi mô, tham số hoá đối lưu mây tích, lớp biên

hành tinh, mô hình bề mặt, các quá trình đất - bề mặt (mô hình đất), bức xạ, khuếch tán.



Hình 2. 1. Cấu trúc tổng quan của mô hình WRF

2.1.2. Đồng hóa 3-DVAR trong mô hình WRF

Phương pháp đồng hóa biến phân ba chiều 3D-Var (*three-dimensional variational data assimilation*) được nghiên cứu ứng dụng trong khuôn khổ luận án. Cách tiếp cận chung của bài toán “đồng hóa biến phân” là tìm một trường phân tích nào đó có khả năng xảy ra cao nhất, bằng cách tối thiểu hoá một hàm đo độ sai số, còn gọi là hàm giá. Theo lý thuyết, trường phân tích tối ưu được ký hiệu là \mathbf{x}_a để cực tiểu hóa hàm giá (vô hướng), trong đó hàm giá được định nghĩa là khoảng cách giữa \mathbf{x} và trường nền \mathbf{x}_b , nghịch đảo của tương quan sai số trường nền, cộng với khoảng cách với các quan trắc \mathbf{y}_o và trọng số bởi sự nghịch đảo của tương quan sai số quan sát theo công thức:

$$2J(\mathbf{x}) = (\mathbf{x} - \mathbf{x}_b)^T \mathbf{B}^{-1} (\mathbf{x} - \mathbf{x}_b) + [\mathbf{y}_o - H(\mathbf{x})]^T \mathbf{R}^{-1} [\mathbf{y}_o - H(\mathbf{x})] \quad (2.1)$$

Trong đó:

x là véc tơ trạng thái phân tích,

x^b là véc tơ trường nền,

B là ma trận tương quan sai số nền,

y^o là trường quan trắc,

y là véc tơ chuyển đổi từ trạng thái không gian mô hình đến không gian quan trắc

Hàm giá (2.1) theo cách tiếp cận Bayesian được giả định rằng trường thực là các quá trình ngẫu nhiên được xác định bởi hàm phân bố xác suất

$$p_B(x) = \frac{1}{(2\pi)^{n/2} |B|^{1/2}} e^{-\frac{1}{2} [(x_b - x)^T B^{-1} (x_b - x)]} \quad (2.2)$$

Định lý Bayes chỉ ra rằng với các quan sát mới y_o , sự phân bố xác suất của trường thực là:

$$P(x | y_o) = \frac{p(y_o | x) p_B(x)}{p(y_o)} \quad (2.3)$$

Các ước tính Bayesian của trạng thái thực đã tối đa hóa xác suất hậu nghiệm (2.3). Mẫu số trong phương trình (2.3) là sự phân bố của các quan trắc “*khí hậu học*” và không phụ thuộc vào trạng thái thực của x . Do đó, xác suất tối đa của xác suất hậu nghiệm đạt được khi tử số là tối đa và được tính bằng một hàm giá tối thiểu (2.1). Cực tiểu của $J(x)$ trong (2.1) đạt được khi $x = x_a$, tức là

$$\nabla_x J(x_a) = 0 \quad (2.4)$$

Một trong những cách giải có thể theo cách như sau: ta có thể mở rộng vế thứ hai của (2.1), sự khác biệt trong giá trị quan trắc, giả định rằng phân tích gần đúng với thực và quan sát và sự tuyến tính hóa H xung quanh giá trị nền:

$$y_o - H(x) = y_o - H[x_b + (x - x_b)] = \{y_o - H(x_b)\} - H(x - x_b) \quad (2.5)$$

Thay thế (2.5) vào (2.1) chúng ta nhận được:

$$2J(x) = (x - x_b)^T B^{-1} (x - x_b) + [\{y_o - H(x_b)\} - H(x - x_b)]^T R^{-1} [\{y_o - H(x_b)\} - H(x - x_b)] \quad (2.6)$$

Mở rộng các phương trình và sử dụng các quy tắc để chuyển các ma trận, sau đó chúng ta nhận được:

$$\begin{aligned}
2 J(\mathbf{x}) &= (\mathbf{x} - \mathbf{x}_b)^T \mathbf{B}^{-1}(\mathbf{x} - \mathbf{x}_b) + (\mathbf{x} - \mathbf{x}_b)^T \mathbf{H}^T \mathbf{R}^{-1} \mathbf{H}(\mathbf{x} - \mathbf{x}_b) \\
&- \{\mathbf{y}_o - \mathbf{H}(\mathbf{x}_b)\}^T \mathbf{R}^{-1} \mathbf{H}(\mathbf{x} - \mathbf{x}_b) - (\mathbf{x} - \mathbf{x}_b)^T \mathbf{H}^T \mathbf{R}^{-1} \{\mathbf{y}_o - \mathbf{H}(\mathbf{x}_b)\} \\
&+ \{\mathbf{y}_o - \mathbf{H}(\mathbf{x}_b)\}^T \mathbf{R}^{-1} \{\mathbf{y}_o - \mathbf{H}(\mathbf{x}_b)\}
\end{aligned} \tag{2.7}$$

Hàm giá là một hàm bậc hai của các bước phân tích $(\mathbf{x} - \mathbf{x}_b)$ và do đó chúng ta có thể sử dụng công thức cho hàm bậc hai $F(\mathbf{x}) = \frac{1}{2} \mathbf{x}^T \mathbf{A} \mathbf{x} + \mathbf{d}^T \mathbf{x} + c$, trong đó \mathbf{A} là một ma trận đối xứng, \mathbf{d} là một vector và c vô hướng, gradient được cho bởi $\nabla F(\mathbf{x}) = \mathbf{A} \mathbf{x} + \mathbf{d}$. gradient của hàm giá J đối với \mathbf{x} (hoặc đối với $(\mathbf{x} - \mathbf{x}_b)$) là

$$\nabla J(\mathbf{x}) = \mathbf{B}^{-1}(\mathbf{x} - \mathbf{x}_b) + \mathbf{H}^T \mathbf{R}^{-1} \mathbf{H}(\mathbf{x} - \mathbf{x}_b) - \mathbf{H}^T \mathbf{R}^{-1} \{\mathbf{y}_o - \mathbf{H}(\mathbf{x}_b)\} \tag{2.8}$$

Ta đặt $\nabla J(\mathbf{x}_a) = 0$ để đảm bảo rằng J là tối thiểu, ta thu được một phương trình cho $(\mathbf{x}_a - \mathbf{x}_b)$

$$(\mathbf{B}^{-1} + \mathbf{H}^T \mathbf{R}^{-1} \mathbf{H})(\mathbf{x}_a - \mathbf{x}_b) = \mathbf{H}^T \mathbf{R}^{-1} \{\mathbf{y}_o - \mathbf{H}(\mathbf{x}_b)\} \tag{2.9}$$

Hoặc

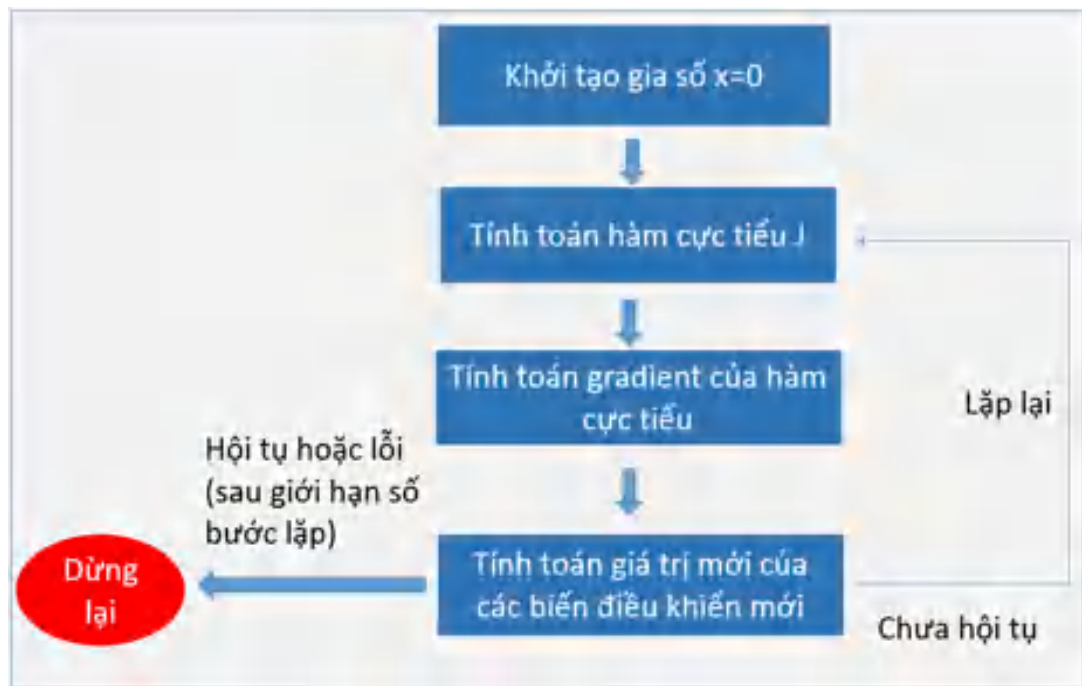
$$\mathbf{x}_a = \mathbf{x}_b + (\mathbf{B}^{-1} + \mathbf{H}^T \mathbf{R}^{-1} \mathbf{H})^{-1} \mathbf{H}^T \mathbf{R}^{-1} \{\mathbf{y}_o - \mathbf{H}(\mathbf{x}_b)\} \tag{2.10}$$

ở dạng gia tăng, là

$$\delta \mathbf{x}_a = (\mathbf{B}^{-1} + \mathbf{H}^T \mathbf{R}^{-1} \mathbf{H})^{-1} \mathbf{H}^T \mathbf{R}^{-1} \delta \mathbf{y}_o \tag{2.11}$$

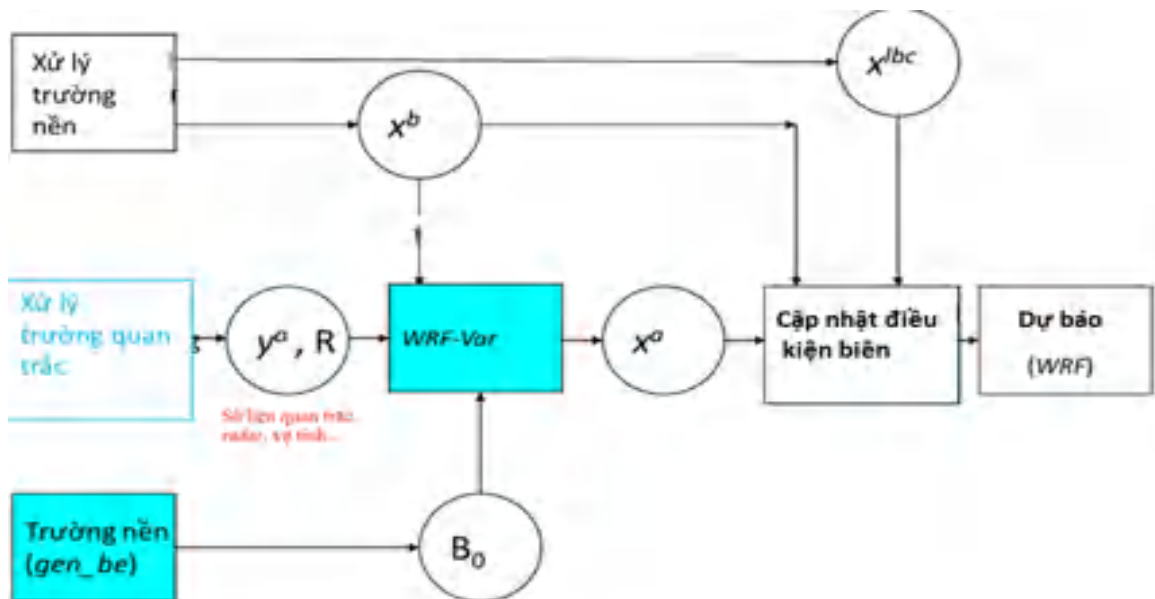
Đây là giải pháp của bài toán đồng hóa biến phân 3 chiều (3D-Var), nhưng trên thực tế do khối lượng tính toán rất lớn cho nên để cực tiểu hóa cho $J(\mathbf{x})$ người ta sử dụng các phương pháp lặp chẳng hạn như gradient liên hợp hoặc các phương pháp *quasi-Newton* bao gồm 4 bước chính như trình bày trong Hình 2.2.

WRF-Var là một hệ thống đồng hóa dữ liệu biến phân được thiết kế và xây dựng cho mô hình WRF bao gồm các thành phần 3Dvar và 4Dvar. Hệ thống này có nguồn gốc và phát triển từ mô hình MM5 (Barker và cs 2004) [32]. Năm 2005, Skamarock và cs đã mô tả những cải tiến mới nhất của cả mô hình WRF và WRF-Var và đưa ra các giải thích để giúp người dùng hiểu được thành phần 3Dvar của hệ thống WRF-Var [60].



Hình 2. 2. Sơ đồ giải lặp của phương pháp biến phân ba chiều

Một hệ thống đồng hóa 3DVAR được thiết kế như sau:



Hình 2. 3. Sơ đồ quy trình đồng hóa dữ liệu WRFDA

Số liệu dự báo ban đầu x^b : Có hai kiểu tạo trường nền cho quá trình đồng hoá là kiểu khởi động lạnh (cold-start) và kiểu tuần hoàn (cycling). Trong trường hợp khởi động lạnh, các giá trị x^b có được từ việc nội suy lưới của mô hình toàn cầu hay từ các mô hình khu vực về lưới của mô hình WRF thông qua chương trình WRF_Real

trong mô hình WRF. Còn trong trường hợp tuần hoàn, trường nền là trường dự báo hạn ngắn từ mô-đun ARW của hệ thống mô hình WRF.

Các số liệu quan trắc yo: nguồn số liệu này sẽ được cung cấp với định dạng ASCII như trong modul little_r của mô hình MM5 hoặc định dạng BUFR. Số liệu ở đây có thể là Ra-đa, vệ tinh...

Tương quan sai số trường nền (B): Trong các hệ thống biến phân, tương quan được tính theo kiểu off-line và được tối ưu hoá. Việc tính toán hệ số tương quan của các sai số trường nền được thiết kế trong modul gen_be, modul này sẽ cập nhật dữ liệu từ mô hình toàn cầu hay mô hình khu vực sau đó sẽ tính toán để tạo ra các hệ số tương quan thống kê của sai số sử dụng trong hệ thống đồng hoá số liệu, trong luận án này, hệ số sai số trường nền được tính theo phương pháp NMC, Skamarock và ccs (2008) [60] đã gợi ý rằng việc tính toán sai số nền trong phương pháp NMC nên được thực hiện bằng cách sử dụng sự khác biệt dự báo 48h trừ 24h cho các mô hình toàn cầu, và 24h trừ 12h cho các mô hình khu vực. Trường nền thường được tính toán trong một khoảng thời gian khá dài (ví dụ: một tháng). Điều này làm cho phương pháp NMC phù hợp với thống kê lỗi dự báo khí hậu. Trong WRF-Var, ma trận hiệp phương sai lỗi nền có thể được xem tính bởi biểu thức sau:

$$\mathbf{B} = \overline{(\mathbf{x}^{24} - \mathbf{x}^{12})(\mathbf{x}^{24} - \mathbf{x}^{12})^T}, \quad (1)$$

Trong đó \mathbf{x}^{24} và \mathbf{x}^{12} là các dự báo 24 và 12 giờ, tương ứng, hợp lệ cùng một thời gian. Thanh ngang biểu thị mức trung bình theo thời gian hoặc không gian. Hai dự báo có thể được viết dưới dạng “đúng” và các sai số của chúng:

$$\mathbf{x}^{24} = \mathbf{x}^{\text{truth}} + \varepsilon^{24} + \mathbf{b}^{24} \quad (2)$$

$$\mathbf{x}^{12} = \mathbf{x}^{\text{truth}} + \varepsilon^{12} + \mathbf{b}^{12} \quad (3)$$

Ở đây, $\mathbf{x}^{\text{truth}}$ là trạng thái khí quyển thực, ε^{24} và ε^{12} là các lỗi ngẫu nhiên, \mathbf{b}^{24} và \mathbf{b}^{12} là độ lệch trong từng dự báo. Giả sử không có thiên vị hoặc thiên vị là không đổi theo thời gian, $\mathbf{b}^{24} = \mathbf{b}^{12}$, thu được sự khác biệt dự báo:

$$\mathbf{x}^{\text{diff}} = \mathbf{x}^{24} - \mathbf{x}^{12} = \varepsilon^{24} - \varepsilon^{12} \quad (4)$$

Ma trận hiệp phương sai BE được viết lại là:

$$\begin{aligned}
\mathbf{B} &= \overline{(\mathbf{x}^{24} - \mathbf{x}^{12})(\mathbf{x}^{24} - \mathbf{x}^{12})^T} \\
&- \overline{(\mathbf{e}^{24} - \mathbf{e}^{12})(\mathbf{e}^{24} - \mathbf{e}^{12})^T} \\
&- \overline{(\mathbf{e}^{24})(\mathbf{e}^{24})^T} + \overline{(\mathbf{e}^{12})(\mathbf{e}^{12})^T} - \overline{(\mathbf{e}^{24})(\mathbf{e}^{12})^T} - \overline{(\mathbf{e}^{12})(\mathbf{e}^{24})^T}.
\end{aligned}
\tag{5}$$

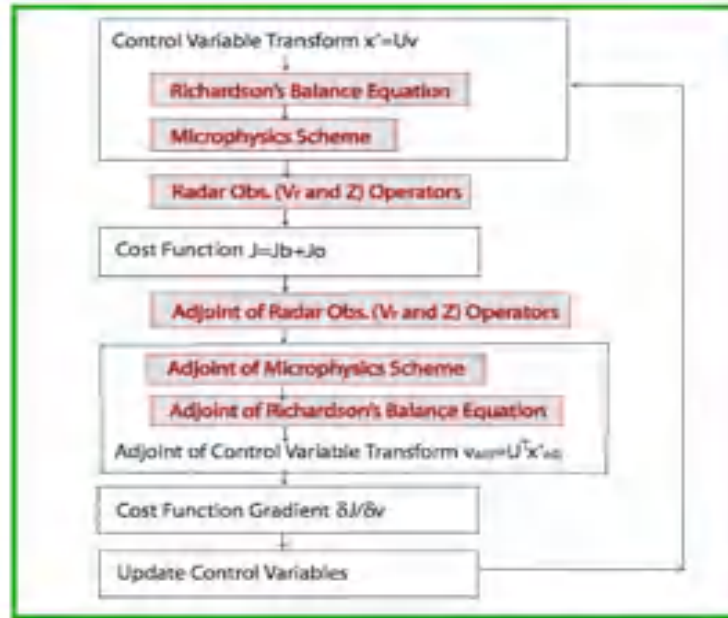
Loại trường nền CV3 có thể được lấy từ NCEP, nó được tạo ra từ các dự báo 24h và 48h với độ phân giải T170 với 357 trường hợp và chạy trong khoảng thời gian một năm. Về mặt lý thuyết, CV3 là một tập thống kê sai số nền chung có thể được sử dụng cho mọi trường hợp. Không giống như CV3, hai loại sai số trường nền CV5 và CV7 (là loại sai số trường nền mới xuất hiện từ phiên bản WRF 3.7) sẽ phụ thuộc vào miền tính của mô hình theo đó các loại sai số trường nền này được tạo ra bằng phương pháp NMC. Để tạo ra 2 loại sai số trường nền này tác giả sử dụng hiệu của các dự báo (T + 24 trừ T + 12) nối tiếp nhau trong một khoảng thời gian (tối thiểu khoảng 1 tháng).

2.1.3. Đồng hóa số liệu quan trắc ra-đa cho mô hình WRF

Như đã nêu trên Chương 1, mục đích của đồng hóa số liệu là để cải thiện trường ban đầu cho mô hình số trị. Đồng hóa số liệu là kết hợp một cách tốt nhất các nguồn thông tin, số liệu khác nhau, số liệu quan trắc, số liệu nền, một thông tin tiên nghiệm hoặc số liệu thống kê để ước lượng, tính toán trạng thái của một hệ thống, một phương trình mô hình. Như đã biết hiện nay quan trắc ra-đa có rất nhiều thông tin, tuy nhiên hiện nay với mô hình WRF thông thường chỉ đồng hóa độ phản hồi hoặc gió xuyên tâm hoặc cả hai nhằm tăng cường khả năng dự báo mưa vì những lý do chính như sau:

Độ phản hồi vô tuyến ra-đa cung cấp các thông tin cụ thể và độ phân giải cao về vị trí của các đám mây gây mưa. Gió xuyên tâm từ quan trắc ra-đa cho biết tốc độ gió trong khí quyển cũng như sự di chuyển các phân tử khí, mây trong không khí. Mặc dù độ phản hồi và gió xuyên tâm không phải là biến đầu vào hay biến cơ bản trong mô hình, tuy nhiên thông qua phương pháp đồng hóa, cụ thể là 3-Dvar trong WRF, thông qua các toán tử quan trắc và ma trận sai số trường nền trên cơ sở chuyển đổi vật lý dẫn đến từ hai yếu tố trên sẽ thổi các biến điều khiển trong ma trận sai số

trường nền và cuối cùng là tác động đến các biến của mô hình. Kết quả là đồng hóa độ phản hồi hoặc gió xuyên tâm hoặc cả hai thay đổi và cải thiện kết quả dự báo thời tiết, cụ thể khả năng dự báo mưa. Tóm tắt cho quá trình đồng hóa hai yếu tố trên và cơ sở khoa học cho việc đồng hóa hai yếu tố trên trong WRF như sau:



Hình 2. 4. Sơ đồ đồng hóa ra-đa trong WRF-3DVAR

Trong phương pháp biến phân 3dvar, ma trận sai số trường nền gồm các biến điều khiển như như U, V, T, RHs, Ps trong CV7 và thay vì các biến thứ cấp như Phi, Khi, RHs, Ps trong các Cv còn lại sẽ thông qua phương trình Richardson tác động đến sơ đồ vật lý, sau đó tác động đến các toán tử quan trắc như dưới đây:

Gió xuyên tâm

$$v_r = u \frac{x - x_i}{r_i} + v \frac{y - y_i}{r_i} + (w - v_T) \frac{z - z_i}{r_i}$$

$$v_T = 5.40a \cdot q_r^{0.125}, \quad a = (p_0 / \bar{p})^{0.4}$$

Độ phản hồi

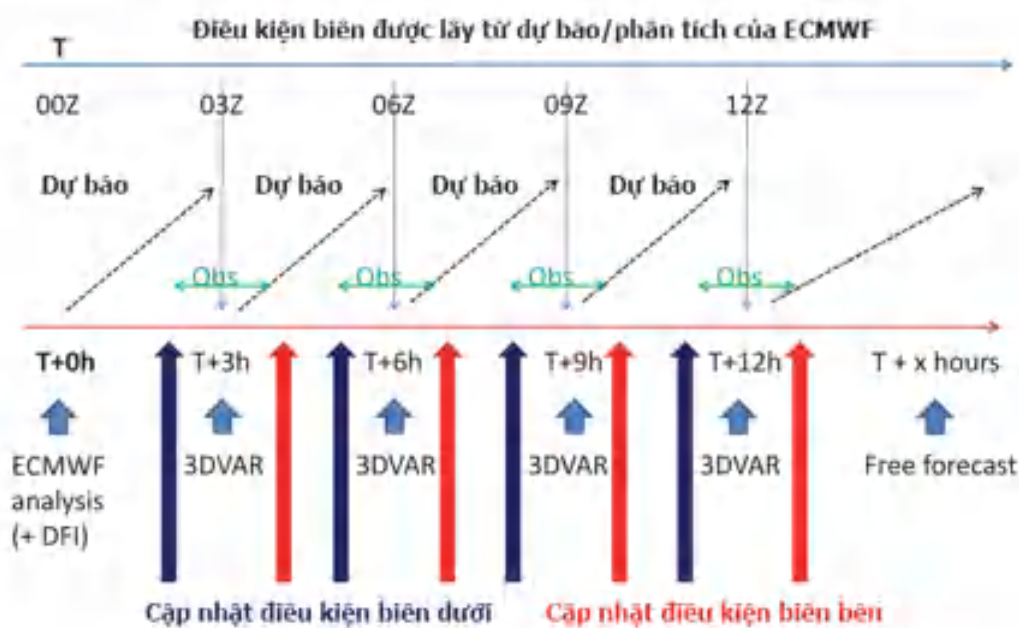
$$dbZ = 43.1 + 17.5 \log(\rho q_r)$$

Kết hợp với việc đi cực tiểu hàm giá J thông qua ma trận liên hợp đưa các thông tin (cập nhật) từ quan trắc ra-đa cho các biến điều khiển trong mô hình.

2.1.4. Đồng hóa cập nhật nhanh số liệu

Bài toán đồng hóa cập nhật nhanh từng giờ số liệu ra-đa cho mô hình WRF là một trong những thử nghiệm mà thế giới đang thực hiện trong dự báo mưa hạn cực ngắn (dưới 6h).

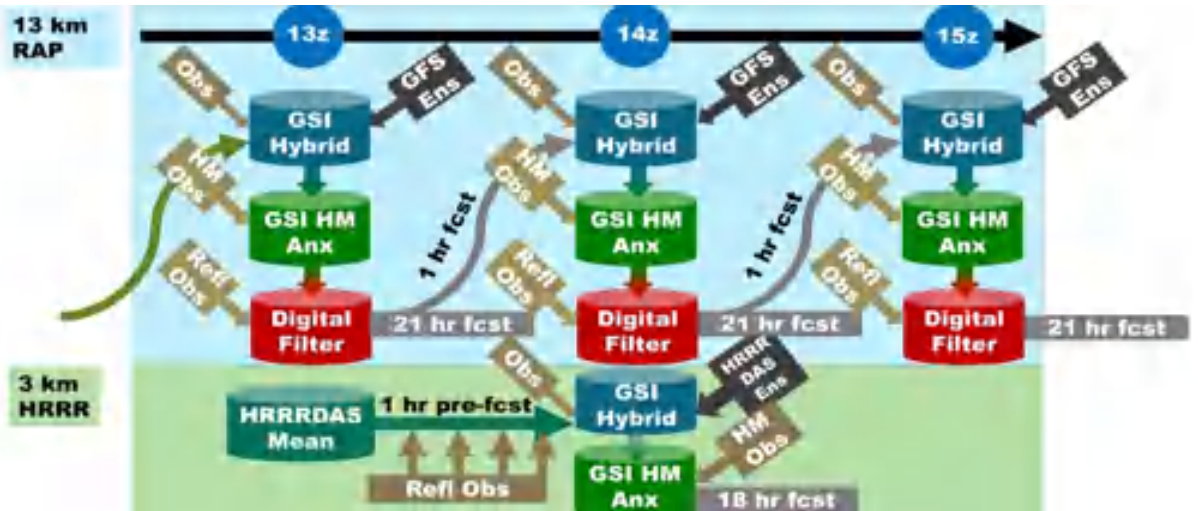
[Schwitalla và Wulfmeyer \(2013\) \[71\]](#) đã nghiên cứu tác động của việc đồng hóa các vận tốc gió xuyên tâm và độ phản hồi từ mạng lưới Ra-đa của Pháp và Đức cho dự báo lượng mưa định lượng mưa hạn cực ngắn. Họ sử dụng mô hình Nghiên cứu và Dự báo Thời tiết (WRF) độ phân giải 3.6 km và chu trình cập nhật nhanh WRF (RUC - Rapid Update Cycle) 3 tiếng một (Hình 2.5).



Hình 2. 5. Sơ đồ hệ thống RUC sử dụng mô hình WRF

Trong Hình 2.5, tại T + 00 mô hình được khởi tạo từ các phân tích của ECMWF. Từ phân tích này, các dự báo tiếp theo với chu kỳ 3 giờ được áp dụng bộ lọc nhằm loại bỏ tạp âm và dữ liệu không tốt. Chu trình này áp dụng đồng hóa 3DVAR với cửa sổ đồng hóa 2h cho dữ liệu quan trắc thông thường, hai thành phần độ phản hồi và gió xuyên tâm do thường bị thay đổi nhanh chóng nên cửa sổ thời gian bị hạn chế

khoảng ± 15 phút. Chu kỳ 3h này chạy liên tục và lặp đi lặp lại cho đến hết quá trình dự báo.



Hình 2. 6. Biểu đồ mô tả mô hình RAP

Việc đồng hóa ra-đa được ứng dụng rất nhiều ở các cơ quan khí tượng trên thế giới, từ Hoa Kỳ, Châu Âu, Úc, Nhật Bản, Đài Loan, Hồng Kông,... trong dự báo mưa lớn hạn cực ngắn. Có 2 vấn đề được quan tâm giải quyết là: Tăng độ phân giải lưới tính mô hình (một vài km) để có thể nắm bắt được các quá trình hình thành mây, mưa quy mô nhỏ; áp dụng đồng hóa dữ liệu để cập nhật, cải tiến trường ban đầu.

Về kỹ thuật đồng hóa số liệu cho mô hình để dự báo mưa lớn hạn cực ngắn, tiến bộ nhất hiện nay là hệ thống đồng hóa làm mới nhanh (The Rapid Refresh-RAP), do các nhà khoa học Hoa Kỳ phát triển và đã được đưa vào ứng dụng trong nghiệp vụ tại cơ quan dự báo quốc gia từ năm 2012. RAP sử dụng hệ thống phân tích thống kê nội suy điểm lưới GSI, với khả năng đồng hóa dữ liệu phản hồi ra-đa theo từng giờ và dữ liệu quan trắc liên quan đến điều kiện biên, sự phù hợp với bề mặt, mây và quá trình giáng thủy, dữ liệu GFS từ mô hình toàn cầu. RAP sử dụng duy nhất một hệ thống đồng hóa dữ liệu là GSI, bên trong chu kỳ đồng hóa 1-h. Hiệu quả của chu kỳ đồng hóa dữ liệu 1h là cung cấp đầy đủ dự báo 1h mà không có tạp âm, phụ thuộc vào sự kết hợp đầy đủ cân bằng đa chiều từ GSI và ứng dụng đầu lọc số ban đầu (DFI). Trường nền của sự đồng hóa dữ liệu RAP là dự báo RAP 1h trước đó, cùng với các thành phần khác của chu kỳ đồng hóa RAP, dữ liệu từ mô hình toàn cầu GFS

được cung cấp 12h/lần để cung cấp sóng dài tốt nhất, khi đó một chu kỳ tương ứng RAP 1h bắt đầu lúc 3h và 15h mỗi ngày cùng với dự báo GFS 3h. Sau chu kỳ đồng hóa, bỏ qua cho 6-h cuối cùng, tại 9h và 21h UTC, dự báo 1h từ chu kỳ RAP thay thế từ chu kỳ ban đầu như trường nền cho đồng hóa RAP. Hình 1 mô tả sơ đồ mô hình RAP. Thành phần màu hạt dẻ dành cho mô hình RAP sử dụng WRF và DFI. Màu nâu (giống như một chiếc hộp nhỏ) cho biết các kiểu dữ liệu quan trắc [độ phản hồi (reft), mây (cld- không mưa) và quan trắc mưa ngưng kết (từ ra-đa) và tất cả các quan trắc khác] cho 3 thành phần đồng hóa khác. Đồng hóa dữ liệu GSI bao gồm cả đồng hóa biến lai EnKF (màu xanh da trời nhạt) sử dụng tổ hợp GFS 80 member (GFS Ens-màu đỏ) để định nghĩa tổ hợp- căn cứ vào tính cộng biến sai số nền và mây và thành phần ngưng kết (bao gồm cả mây và giáng thủy) (màu xanh lá cây).

Theo đánh giá gần đây về khả năng dự báo hệ thống đối lưu quy mô vừa của hệ thống HRRR (RAP trước đây). Hệ thống HRRR này dự báo thiên cao ở vùng Đại Bình nguyên và thiên thấp tại đông nam Hoa Kỳ. Kỹ năng dự báo của hệ thống HRRR cải thiện theo các năm (James O. Pinto, 2015) [42].

2.2 Loại nhiễu cho số liệu quan trắc ra-đa

2.2.1. Giới thiệu về Ra-đa Nhà Bè

Hiện tại, Đài KTTV khu vực Nam Bộ đang quản lý trạm Ra-đa thời tiết Dopple, được lắp đặt năm 2004, nâng cấp năm 2017 tại vị trí 249 Nguyễn Văn Tạo, ấp 3, xã Long Thới, huyện Nhà Bè, TP.HCM, tọa độ: 10°39'31" vĩ độ Bắc và 106°43'42" kinh độ Đông .

Một số thông số kỹ thuật chính:

Tần số hoạt động: 5500-5700MHz (sóng C)

Phát sóng đơn cực

Công suất đỉnh máy phát: 250KW.

Độ rộng xung: 0.4 μ s, 0.8 μ s, 2.0 μ s.

Độ dài sóng tia quét: 5.36cm.

Độ khuếch đại antenna: 45.7dB.

Đường kính parabol của antena: 4.25m.

Độ rộng cánh sóng antenna: $\leq 1.0^\circ$.

Bán kính quan trắc: 30, 60, 120, 240, 480m.

Bán kính quan trắc gió Doppler: 30, 60, 120km.

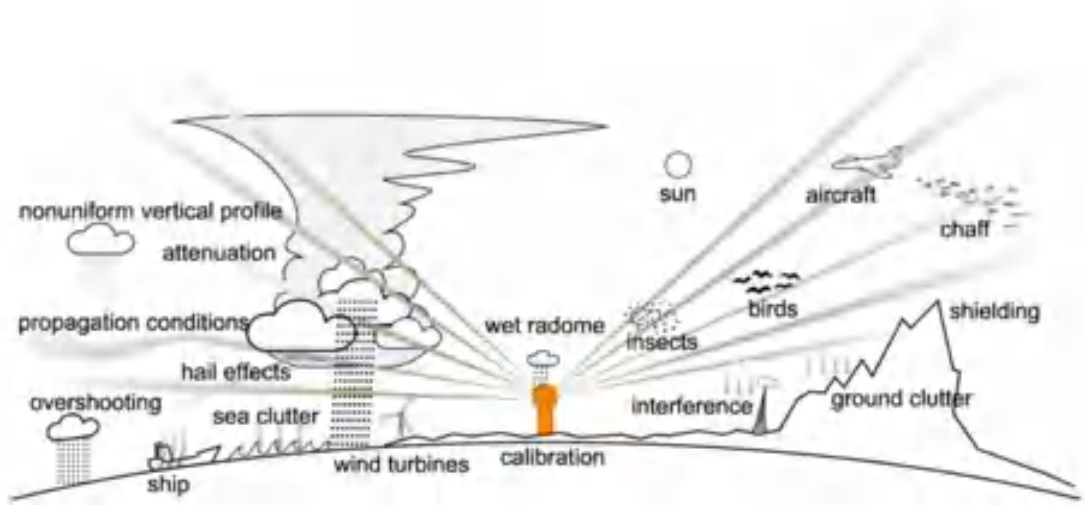


Hình 2. 7. Khu vực trạm Ra-đa Nhà Bè

2.2.2 Loại nhiễu cho số liệu quan trắc ra-đa

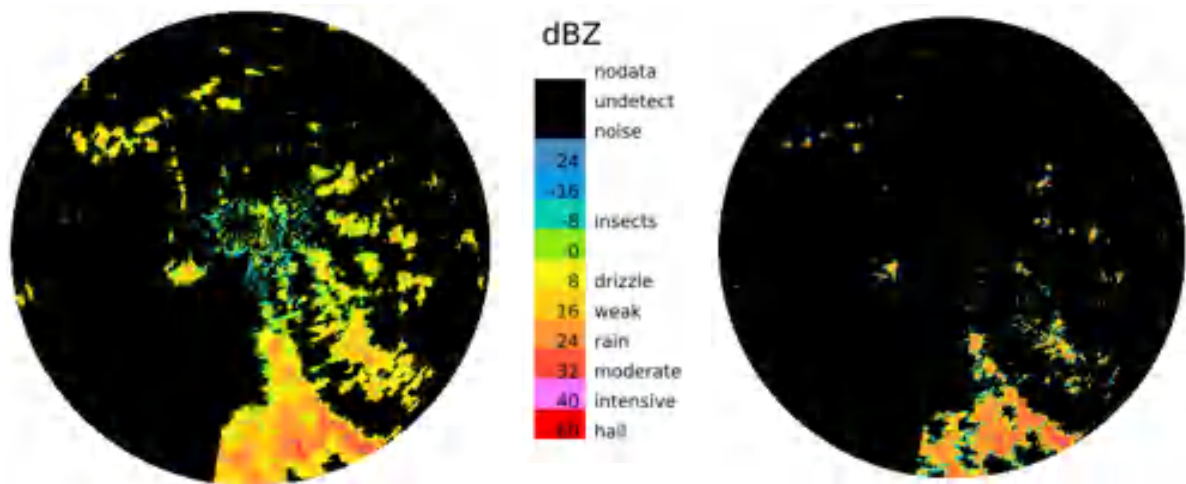
Có nhiều loại nhiễu gây ảnh hưởng tới chất lượng dữ liệu ra-đa thời tiết, thông thường gồm những loại sau đây: nhiễu địa hình, nhiễu sóng biển, nhiễu do sóng vô tuyến của vật phát sóng, che khuất, nhiễu do côn trùng, ...

Với các nguồn sai số được minh họa ở Hình 2.8 thì không phải loại sai số nào cũng có thể loại bỏ một cách triệt để được. Nhiều thuật toán đã được áp dụng để lọc các loại nhiễu: nhiễu địa hình; nhiễu sóng biển; nhiễu gây ra bởi côn trùng, chim; nhiễu lan truyền dị thường; vận tốc ảo; nhiễu sóng vô tuyến; nhiễu lốm đốm, mục tiêu phi khí tượng.

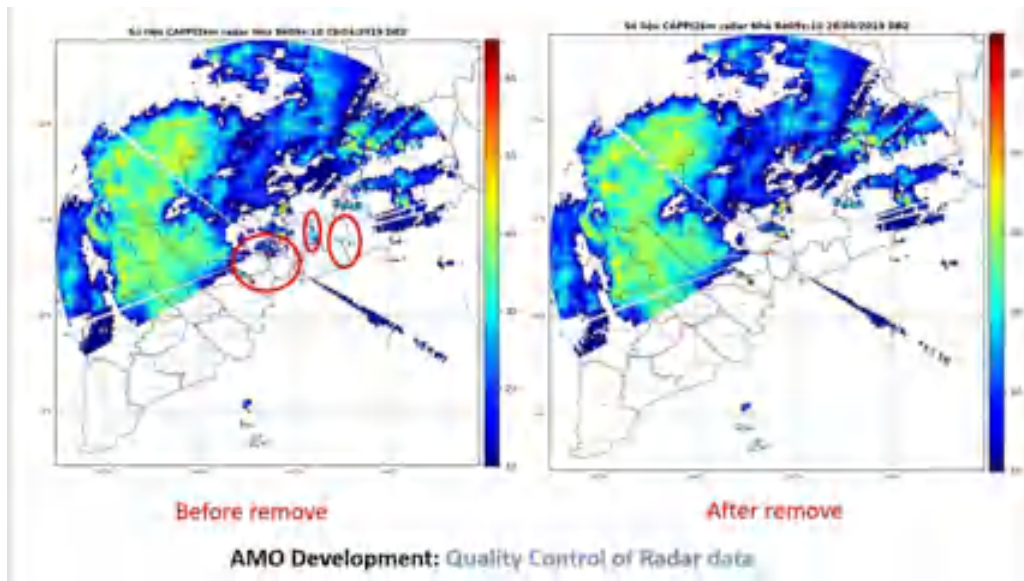


Hình 2. 8. Các nguồn sai số của ra đa

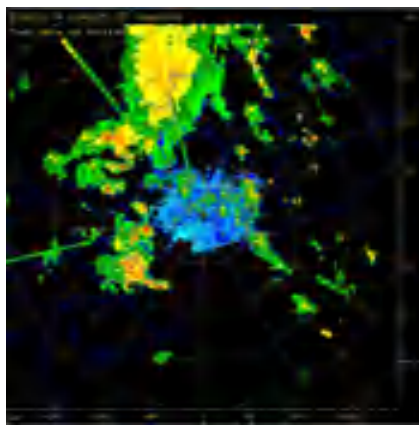
Số liệu ra đa Nhà Bè được chuyển đổi sang dữ liệu định dạng h5, rồi tiến hành áp dụng thuật toán của Viện khí tượng Phần Lan (FMI) và điều chỉnh các chỉ số lọc nhiễu cho từng loại ra đa khác nhau (việc này được thực hiện sau khi thu thập một lượng dữ liệu ra đa vừa đủ để thống kê và điều chỉnh các tham số lọc), cuối cùng dữ liệu được xuất ra dạng file hdf5 tại Đài Khí tượng cao không. Số liệu ra-đa sử dụng trong Luận án này được lọc nhiễu và kiểm soát chất lượng tại đài Khí tượng Cao không. Ví dụ về số liệu ra-đa trước và sau khi lọc nhiễu (QC) như Hình 2.9-2.11.



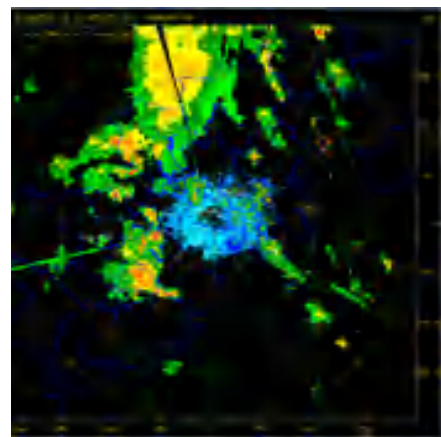
Hình 2. 9. Số liệu ra-đa Nhà Bè trước (trái) và sau (phải) khi lọc nhiễu



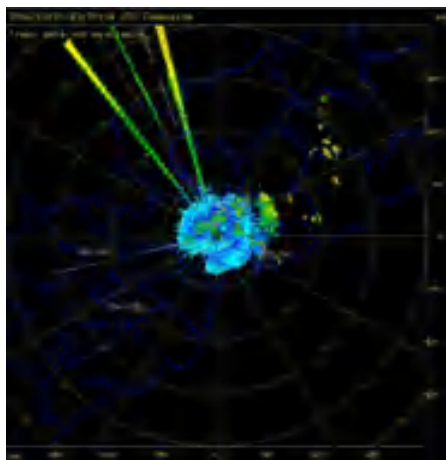
Hình 2. 10. Số liệu ra-đa Nhà Bè trước (trái) và sau (phải) khi lọc nhiễu



a)



b)



c)

Hình 2. 11. Biểu thị quá trình QC cho độ phản hồi Ra-đa trong đó a) là độ phản hồi thô, b) là độ phản hồi đã qua hiệu chỉnh và c) là độ phản hồi bị loại bỏ trong quá trình hiệu chỉnh

2.2.3 Xử lý số liệu Ra-đa phục vụ đồng hóa

Như đã trình bày ở trên, vấn đề xử lý dữ liệu Ra-đa trước khi đưa vào đồng hóa là một trong những bước quan trọng. Nó ảnh hưởng trực tiếp đến kết quả của mô phỏng của 3D-var thậm chí nếu có quá nhiều dữ liệu kém có thể làm hỏng các phân tích từ 3D-var. Các quá trình xử lý số liệu Ra-đa ban đầu tương đối phức tạp, Trong luận án này, tác giả thực hiện theo các bước như sau:



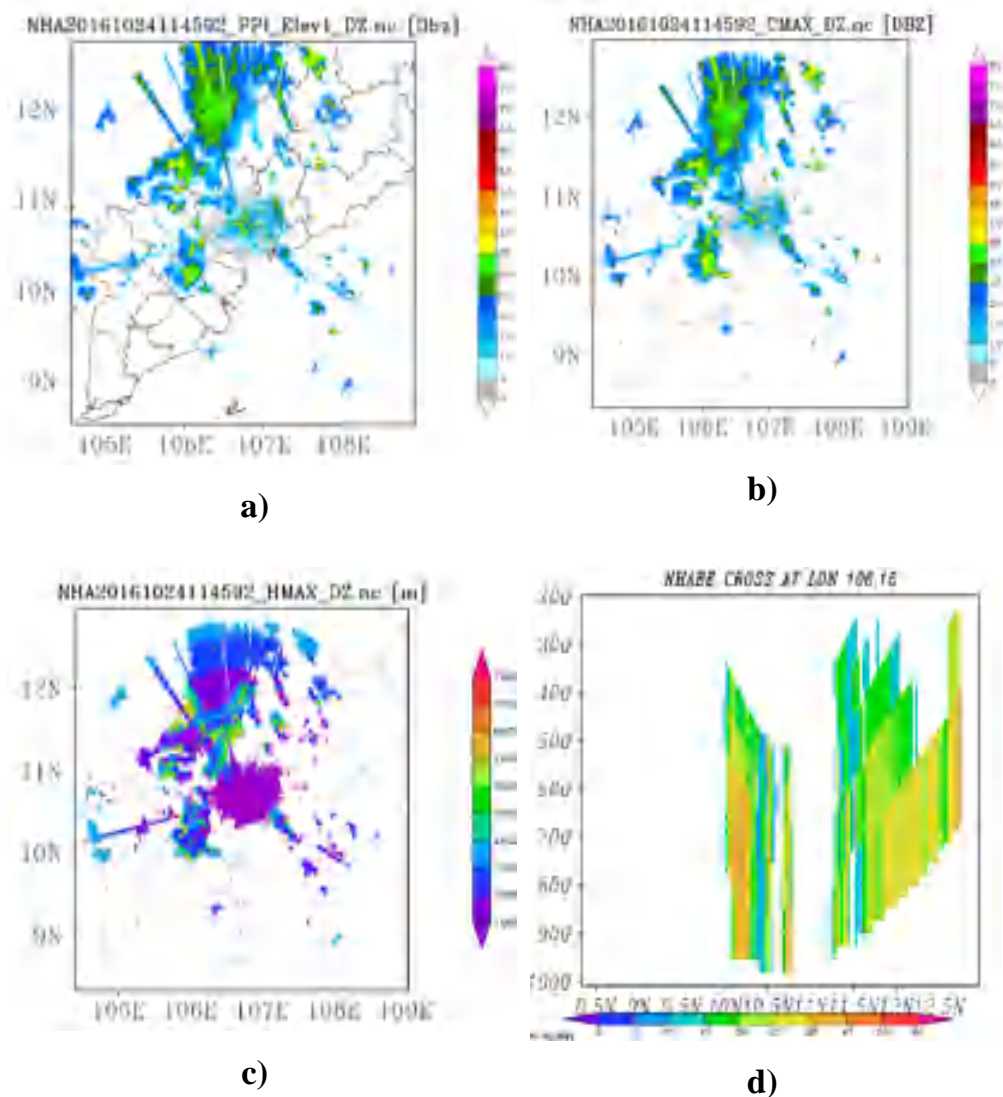
Hình 2. 12. Các bước xử lý số liệu Ra-đa

Bước 1. Chuyển đổi định dạng: Một trong những phương thức đơn giản nhất để chuyển đổi số liệu định dạng gốc của hãng EEC sang định dạng UF đó là sử dụng chính phần mềm do hãng cung cấp.

Bước 2. Kiểm soát chất lượng (Quality control): Số liệu ra-đa sử dụng trong Luận án này được lọc nhiễu và kiểm soát chất lượng tại Đài Khí tượng Cao không

Bước 3: Nội suy ppi về cappi

Dữ liệu Ra-đa ban đầu là sản phẩm quét khối (ppi - phạm vi, góc phương vị và độ cao). Để có thể lấy được dữ liệu ra-đa từ nhiều mực khác nhau (sản phẩm cappi), sử dụng phương pháp nội suy Barnes, trong luận án này, dữ liệu ra-đa được nội suy thành các mảng 512*512 điểm lưới, độ phân giải 1km với 50 mực, mỗi mực cách nhau 250m và mực ban đầu có độ cao 40m (tương ứng độ cao của ra-đa Nhà Bè), hình 2.14 biểu thị quá trình chuyển đổi từ sản phẩm quét khối PPI sang định dạng CAPPI tại nhiều độ cao khác nhau.

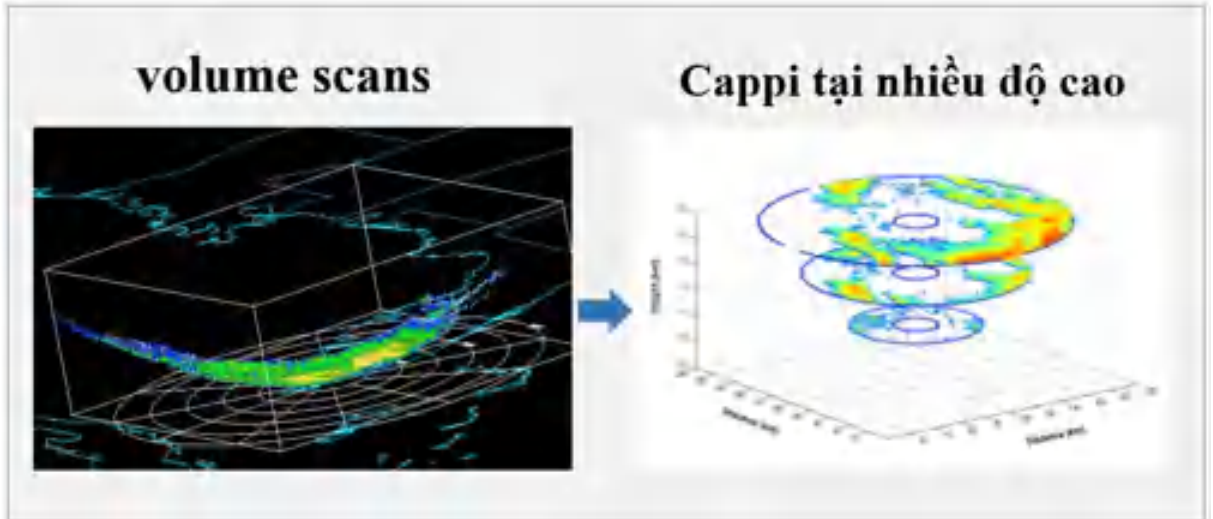


Hình 2. 13. Sản phẩm a) PPI, b) Cmax , c) Hmax, d) Mặt cắt Cappi tại lat 10.3 cho Ra-đa Nhà Bè thời điểm 12z ngày 24/10/2016

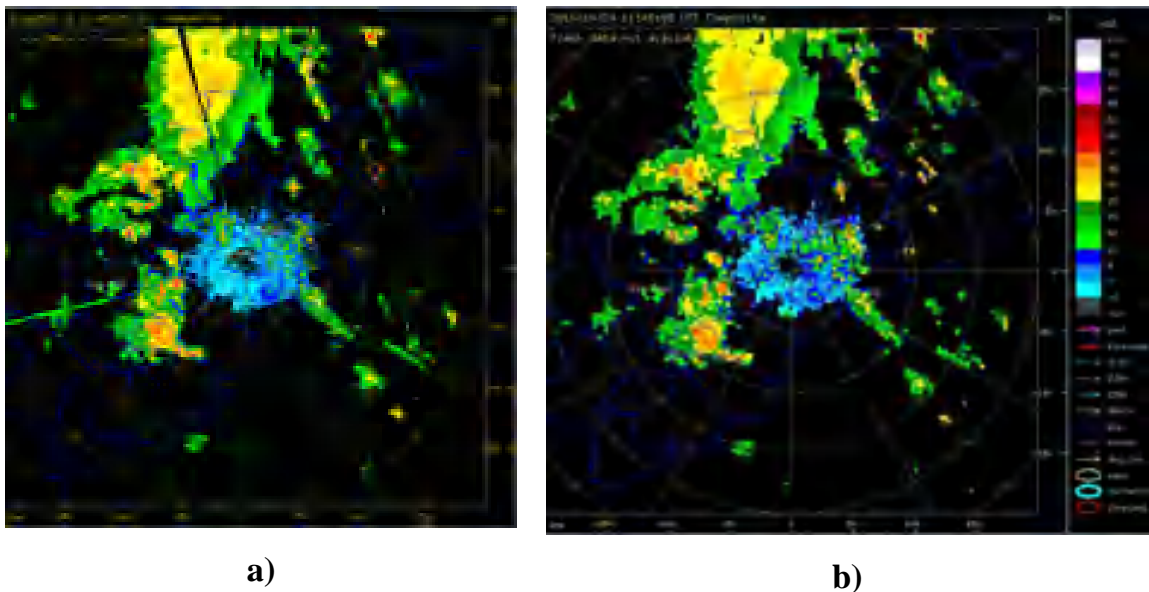
Bước 4: Tỉa thưa dữ liệu (thinning data)

Sau khi có được sản phẩm nội suy sẽ đưa về độ phân giải với mô hình (độ phân giải của dữ liệu ra-đa Nhà Bè là 1km, cao hơn khá nhiều so với độ phân giải của mô hình 10km với miền 1 và 2km cho miền tính 2). Hơn nữa, nếu dữ liệu ra-đa quá dày cũng cần phải tỉa thưa chúng, việc tỉa thưa này giúp cho thời gian tính toán nhanh hơn và làm giảm sự tương quan giữa các điểm dữ liệu. Để đưa số liệu về lưới của mô hình phải sử dụng chương trình Fortran, trước hết lấy thông tin về lưới của mô hình, sau đó ứng với mỗi điểm lưới theo phương ngang và theo các mực độ cao, chương

trình vẽ ra các bán kính và tính toán giá trị từ các điểm gần nhất (các điểm bên trên, bên dưới và bên cạnh).



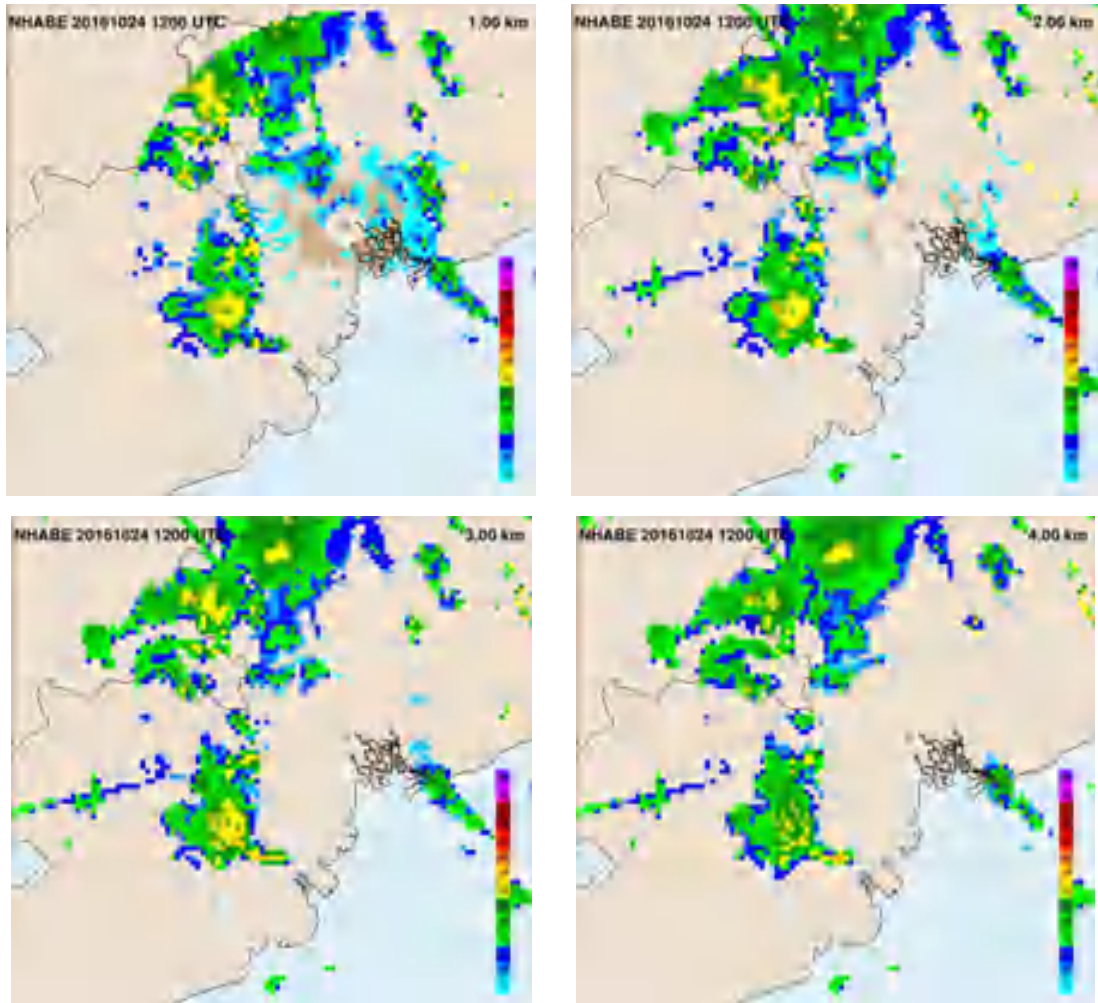
Hình 2. 14.. Minh họa quá trình chuyển đổi dữ liệu PPI sang CAPPI



Hình 2. 15. Tổng hợp giá trị lớn nhất của độ phản hồi Ra-đa sau khi được tia thưa ở nhiều mực cho miền tính độ phân giải 3km thời điểm 12z ngày 24/10/2016

Hình 2.15a là độ phản hồi vô tuyến cực đại (tương đương với sản phẩm CMAX) trước tia thưa (ở độ phân giải 1km) và 2.15b là sản phẩm sau tia thưa ở độ phân giải 3km tương ứng với kích thước và điểm lưới miền tính 2 của mô hình WRF. Hình 2.16 là sản phẩm tia thưa của từng mặt cắt ở các độ cao khác nhau ở các mực

ban đầu: 1km, 2km, 3km và 4km, ở các mực thấp bán kính dữ liệu tương đối hẹp, lên cao bán kính dữ liệu rộng hơn, tuy nhiên do ra-đa quét theo hình nón nên một phần dữ liệu tại khu vực quanh tâm ra-đa bị khuyết. Thực tế ra-đa quét càng nhiều góc thì độ cao dữ liệu càng lớn, có thể lên tới 12-13km.



Hình 2. 16. Độ phản hồi Ra-đa sau khi được tĩa thưa ở các mực 1km, 2km, 3km và 4km cho miền tính độ phân giải 3km thời điểm 12z ngày 24/10/2016

Bước 5. Chuyển định dạng về WRFDA

Bước cuối cùng là dùng một chương trình Fortran định dạng lại theo mẫu chuẩn của WRFDA. Trong luận án này có 2 kiểu format cho 2 cách đồng hóa khác nhau: đồng hóa chỉ độ phản hồi (Hình 2.17) và đồng hóa cả độ phản hồi và gió xuyên tâm (Hình 2.18).

TOTAL NUMBER = 1
#-----#

RADAR	NHABE 106.731	10.657	40	2016-10-24_12:00:00	2734	48
#-----#						
FM-128 RADAR	2016-10-24_12:00:00		9.284	106.329	0.0	17
	1500.0	-888888.000	-88	-888888.000	16.300	0
	1750.0	-888888.000	-88	-888888.000	16.300	0
	2000.0	-888888.000	-88	-888888.000	16.300	0
	2250.0	-888888.000	-88	-888888.000	16.300	0
	2500.0	-888888.000	-88	-888888.000	16.300	0
	2750.0	-888888.000	-88	-888888.000	16.300	0
	3000.0	-888888.000	-88	-888888.000	16.300	0
	3250.0	-888888.000	-88	-888888.000	16.300	0
	3500.0	-888888.000	-88	-888888.000	16.300	0
	3750.0	-888888.000	-88	-888888.000	16.300	0
	4000.0	-888888.000	-88	-888888.000	16.200	0
	4250.0	-888888.000	-88	-888888.000	16.200	0
	4500.0	-888888.000	-88	-888888.000	16.200	0
	4750.0	-888888.000	-88	-888888.000	16.200	0
	5000.0	-888888.000	-88	-888888.000	15.800	0
	5250.0	-888888.000	-88	-888888.000	15.800	0
	5500.0	-888888.000	-88	-888888.000	15.800	0
FM-128 RADAR	2016-10-24_12:00:00		9.311	106.301	0.0	16
	1500.0	-888888.000	-88	-888888.000	17.000	0
	1750.0	-888888.000	-88	-888888.000	17.000	0

Hình 2. 17. Đồng hóa chỉ độ phản hồi

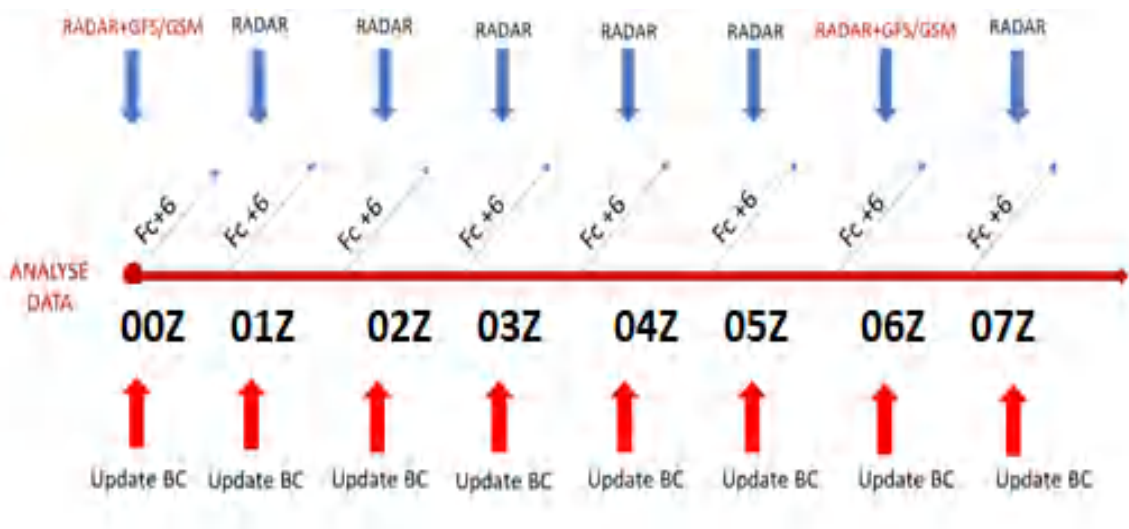
TOTAL NUMBER = 1
#-----#

RADAR	NHABE 106.731	10.657	40.0	2016-10-24_12:00:00	175523	48
#-----#						
FM-128 RADAR	2016-10-24_12:00:00		8.501	106.560	40.0	2
	7790.0	0.000	0	1.000	-888888.000	0
	8040.0	0.000	0	1.000	-888888.000	0
FM-128 RADAR	2016-10-24_12:00:00		8.501	106.569	40.0	2
	7790.0	0.000	0	1.000	-888888.000	0
	8040.0	0.000	0	1.000	-888888.000	0
FM-128 RADAR	2016-10-24_12:00:00		8.501	106.577	40.0	2
	7790.0	0.000	0	1.000	-888888.000	0
	8040.0	0.000	0	1.000	-888888.000	0
FM-128 RADAR	2016-10-24_12:00:00		8.501	106.586	40.0	2
	7790.0	0.000	0	1.000	-888888.000	0
	8040.0	0.000	0	1.000	-888888.000	0
FM-128 RADAR	2016-10-24_12:00:00		8.501	106.595	40.0	2
	7790.0	0.000	0	1.000	-888888.000	0
	8040.0	0.000	0	1.000	-888888.000	0
FM-128 RADAR	2016-10-24_12:00:00		8.501	106.604	40.0	2
	7790.0	0.000	0	1.000	-888888.000	0
	8040.0	0.000	0	1.000	-888888.000	0
FM-128 RADAR	2016-10-24_12:00:00		8.501	106.613	40.0	19
	3540.0	0.000	0	1.000	-888888.000	0
	3790.0	0.000	0	1.000	-888888.000	0

Hình 2. 18. Đồng hóa độ phản hồi, vận tốc gió xuyên tâm

2.3. Thiết kế hệ thống đồng hóa cập nhật nhanh ra-đa dự báo mưa hạn cực ngắn cho TP.HCM

Trên cơ sở tham khảo hệ thống RAP của Hoa Kỳ, hệ thống đồng hóa cập nhật nhanh 1h của Cục khí tượng Đài Loan (CWB), luận án thiết kế hệ thống đồng hóa cập nhật nhanh ra-đa dự báo mưa hạn cực ngắn cho TP.HCM. Hình 2.19 mô tả quy trình vận hành hệ thống đồng hóa và cập nhật nhanh dữ liệu ra-đa dự báo mưa định lượng hạn cực ngắn (0-6 h) cho TP.HCM (HCM-RAP). Trong hệ thống này, mô hình WRF với mô-đun đồng hóa số liệu WRF-DA được sử dụng để đồng hóa số liệu ra-đa.



Hình 2. 19. Sơ đồ mô tả quy trình vận hành hệ thống HCM-RAP cập nhật số liệu ra-đa từng giờ

Cụ thể tại lúc 00Z, hệ thống sẽ cập nhật số liệu GFS kết hợp đồng hóa số liệu ra-đa, chạy bản tin dự báo đến 06Z. Tiếp theo, ở các thời điểm từ 01Z đến 07Z, điều kiện ban đầu được cập nhật từ dự báo 1h trước đó sẽ được đồng hóa số liệu ra-đa (không cập nhật điều kiện ban đầu từ GFS). Đến bản tin dự báo lúc 06Z, chu trình được lặp lại như 00Z, khi điều kiện biên và điều kiện ban đầu mới từ GFS có thể được cập nhật. Như vậy, vào các mốc giờ 00, 06, 12, 18Z, hệ thống HCM-RAP sẽ cập nhật điều kiện biên và điều kiện ban đầu từ GFS, đồng thời đồng hóa số liệu ra-đa. Còn lại, vào các mốc giờ khác, hệ thống chỉ cập nhật số liệu ra-đa.

Lõi động lực của HCM-RAP là mô hình WRF phiên bản V3.9.1. Mô-đun WRF-DA sử dụng phương pháp đồng hóa biến phân ba chiều (3D-Var). WRF được cấu hình với hai lưới lồng, tương tác hai chiều, ở độ phân giải ngang tương ứng là 10 km và 2 km (Hình 2.20). Miền 1 gồm 60×47 điểm lưới với tọa độ tâm là 10.4°N , 106.5°E , miền 2 gồm 91×76 điểm lưới, với 52 mực thẳng đứng. Miền 1 được thiết kế đủ rộng để mô hình có thể nắm bắt được các quá trình hoàn lưu quy mô lớn ảnh hưởng đến Nam Bộ, các miền con được thu hẹp phạm vi bao trọn khu vực TP.HCM.



Hình 2. 20. Hai miền tính của hệ thống HCM-RAP

Hệ thống HCM-RAP đồng hóa độ phân hồi và tốc độ gió xuyên tâm từng giờ với cửa sổ đồng hóa 15 phút, sử dụng số liệu CAPPI có độ phân giải 1 km với 50 mực, mỗi mực cách nhau 250 m và mực ban đầu có độ cao 40 m

Theo các nghiên cứu chỉ ra rằng với mô hình WRF-3DVAR thì ma trận sai số trường nền CV7 là phù hợp hơn các ma trận sai số trường nền còn lại như CV3, 4, 5, 6 vì CV7 sử dụng trực tiếp các biến sơ cấp như U, V, T, RHs, Ps thay vì các biến thứ cấp như “Phi”, “Khi”...nên sẽ có hiệu quả nhất trong dự báo mưa.

Bảng 2. 1. Các biến điều khiển trong các ma trận sai số trường nền của mô hình WRF-3DVar

	CV3	CV5	CV6	CV7
1 th	φ	φ	φ	U
2 th	X_u	X_u	X_u	V
3 th	T_u	T_u	T_u	T
4 th	q	RH_s	$RH_{s,u}$	RH_s
5 th	P_{su}	$P_{s,u}$	P_{su}	P_s

Trong Luận án này ma trận sai số trường nền CV7 được tạo ra bằng phương pháp NMC thông qua sử dụng hiệu của các dự báo ($T + 24$ trừ $T + 12$) nối tiếp nhau trong một khoảng thời gian khoảng 1 tháng thử nghiệm.

2.4. Số liệu sử dụng trong luận án

2.4.1. Số liệu quan trắc mưa giờ

Số liệu quan trắc tại 39 trạm đo mưa bề mặt và tự động trên khu vực TP.HCM (các trạm thuộc miền tính thứ 2 của thí nghiệm) được thu thập sử dụng để thống kê, phân tích và đánh giá khả năng dự báo của các mô hình với 15 đợt mưa lớn trong giai đoạn 2019-2021. Bảng 2.2 và Hình 2.21 cung cấp thông tin về các trạm trên khu vực TP.HCM phục vụ cho nghiên cứu đánh giá.

Bảng 2. 2. Danh sách các trạm đo mưa bề mặt và tự động trên khu vực nghiên cứu TP.HCM

STT	Tên trạm	Kinh độ	Vĩ độ	STT	Tên trạm	Kinh độ	Vĩ độ
1	Túc Trưng	107.21	11.09	-	-	-	-
2	Dĩ An 1	106.79	10.89	21	Sở Sao	106.67	11.07
3	Bến Cát	106.61	11.13	22	TP. Bến Tre	106.37	10.24
4	Gò Công Đông	106.68	10.37	23	Giồng Trôm	106.52	10.15
5	Bến Sỏi	106.03	11.31	24	Thống Nhất	107.01	10.95
6	Bình Chánh	106.57	10.69	25	Cần Đước	106.60	10.50
7	Xuyên Mộc	107.41	10.54	26	Tân Trụ	106.52	10.52
8	Bà Rịa	107.17	10.53	27	Long Thành	106.95	10.78
9	Thuận An	106.70	10.91	28	Lê Minh Xuân 1	106.54	10.78
10	Tam Thôn Hiệp 1	106.86	10.60	29	Phạm Văn Cội	106.52	11.04
11	Cẩm Mỹ	107.24	10.78	30	Thanh Sơn 1	107.30	11.23

STT	Tên trạm	Kinh độ	Vĩ độ	STT	Tên trạm	Kinh độ	Vĩ độ
12	Nhà Bè	106.75	10.68	31	Chợ Gạo	106.46	10.35
13	La Ngà	107.25	11.16	32	Thủ Đức	106.76	10.84
14	Sa Đéc	105.77	10.30	33	Củ Chi	106.51	10.96
15	Đức Hoà	106.39	10.90	34	Núi Bà	106.14	11.41
16	Cát Lái	106.77	10.77	35	Hồ Dầu Tiếng	106.31	11.31
17	Mỏ Cày	106.34	10.13	36	Cái Bè	106.03	10.34
18	Tân Uyên	106.76	11.05	37	Vĩnh Long	105.90	10.11
19	Cần Giờ	106.96	10.41	38	An Phú	106.51	11.11
20	Hóc Môn	106.60	10.89	39	Phú Mỹ	106.33	10.54



Hình 2. 21. Bản đồ vị trí các trạm đo mưa bề mặt và tự động trên khu vực TP.HCM phục vụ so sánh đánh giá trong luận án

2.4.2 Số liệu GFS

Các trường ban đầu và điều kiện biên cho mô hình WRF là số liệu phân tích của mô hình GFS do NCEP (National Centers for Environmental Predictions) cung cấp. Số liệu GFS có độ phân giải ngang $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ kinh vĩ và $0.25^\circ \times 0.25^\circ$. Đây là số liệu bao gồm các trường khí tượng tối thiểu như khí áp mặt biển, nhiệt độ bề mặt nước biển, nhiệt độ không khí bề mặt, độ ẩm không khí bề mặt, thành phần gió ngang ở độ cao 2 mét so với bề mặt, độ cao địa thế vị, nhiệt độ không khí, độ ẩm không khí, thành phần gió ngang theo các mực khí áp. Số liệu GFS được lưu trữ theo định dạng grib, được cung cấp miễn phí tại địa chỉ: <ftp://nomads.ncdc.noaa.gov/GFS/>. Mô hình GFS là mô hình kết hợp bốn mô hình riêng biệt (mô hình khí quyển, mô hình đại dương, mô hình đất và mô hình băng biển), làm việc đồng thời để cung cấp một bức tranh chính xác về điều kiện thời tiết.

2.5. Phương pháp đánh giá hiệu quả của việc đồng bộ hóa số liệu

Các chỉ số đánh giá kết quả dự báo và các dạng đồ thị phân tích được sử dụng trong các chương tiếp theo sẽ được trình bày trong mục này.

Các điểm số đánh giá được dựa vào:

Hits (H) = dự báo có khi quan trắc có

Misses (M) = dự báo không khi quan trắc có

False alarms (F) = dự báo có khi quan trắc không

Chỉ số FBI (BS hay FBI – Bias score): đánh giá tỉ số giữa vùng dự báo và vùng thám sát

FBI là tỉ lệ giữa số lần có xảy ra hiện tượng theo mô hình và theo quan trắc. Giá trị FBI biến đổi trong khoảng $(0, +\infty)$.

$$FBI = \frac{H + F}{H + M}$$

FBI < 1: vùng dự báo nhỏ hơn vùng thám sát

FBI > 1: vùng dự báo lớn hơn vùng thám sát

FBI = 1: vùng dự báo trùng với vùng thám sát (giá trị lý tưởng).

FBI càng nhỏ hơn 1 mô hình cho kết quả càng dự báo sót nhiều, FBI càng lớn hơn 1 mô hình cho kết quả càng dự báo không nhiều. Đại lượng FBI chỉ cho biết mức độ phù hợp giữa mô hình và quan trắc về tần số xuất hiện nhưng không phản ánh độ chính xác của mô hình.

Xác suất phát hiện (Probability of Detection – POD)

$$POD = \frac{H}{H + M}$$

POD là xác suất xuất hiện hiện tượng, được tính bằng tỉ số giữa số lần trùng khớp giữa mô hình và quan trắc khi hiện tượng có xuất hiện và tổng số lần xuất hiện hiện tượng trong thực tế. POD cho biết khả năng thành công của mô hình, có giá trị trong khoảng (0, 1), POD = 1 là giá trị lý tưởng mô hình được xem là hoàn hảo. POD càng gần 1 thì độ chính xác của mô hình càng cao, POD chỉ nhạy đối với những hiện tượng không dự báo được chứ không nhạy đối với phát hiện sai.

Tỷ lệ dự báo sai (False Alarms Ratio – FAR)

$$FAR = \frac{F}{H + F}$$

FAR cho biết tỷ lệ mô phỏng / dự báo không của mô hình (mô hình cho kết quả có nhưng thực tế hiện tượng không xảy ra). Giá trị FAR biến đổi từ (0,1).

FAR = 0 khi F = 0 tức tỷ lệ không của mô hình bằng 0. Giá trị FAR càng gần 0 thì mô hình càng tốt, FAR càng tiệm cận tới 1 (tương đương với H tiến gần tới 0) thì mô hình càng kém.

Điểm số thành công (Critical Success Index – CSI hay Threat Score – TS)

$$CSI = TS = \frac{H}{M + F + H}$$

CSI (hay TS) phản ánh mối quan hệ giữa số lần mô hình cho kết quả hiện tượng có xuất hiện và số lần quan trắc được hiện tượng có xuất hiện. Nó có thể được xem như thước đo độ chính xác của mô hình khi bỏ qua những trường hợp hiện tượng không xuất hiện. Phạm vi biến thiên của CSI từ 0 đến 1. CSI = 0 nghĩa là mô hình không có kỹ năng, CSI = 1 mô hình là hoàn hảo.

Giản đồ hiệu suất (performance diagram)

Giản đồ hiệu suất (performance diagram) tổ hợp 4 chỉ số về pha cùng một lúc như POD (trục tung), 1-FAR (trục hoành), FBI/BS (đường chéo nét đứt) và chỉ số CSI/TS (phần đường cong được đổ màu)

Biểu đồ phân bố tần suất (histogram) và Ước tính mật độ hạt nhân (Kernel Density Estimation)

Để đánh giá vai trò, phân bố tần suất mưa quan trắc và dự báo các kết hợp vật lý khác nhau tại các hạn dự báo, nghiên cứu sinh sử dụng biểu đồ tần suất (histogram) và Ước tính mật độ hạt nhân (Kernel Density Estimation – KDE) quan trắc và dự báo tại 39 trạm quan trắc như nêu trong Mục 2.4.1.

Histogram là một biểu đồ thống kê được sử dụng để biểu diễn phân phối của một biến, nó chia khoảng giá trị của biến thành các khoảng con rời rạc (gọi là các bin) và đếm số lượng quan sát rơi vào mỗi khoảng. Kết quả là một biểu đồ có các cột dọc biểu thị số lượng quan sát trong mỗi khoảng.

Ước tính mật độ hạt nhân (KDE) là một phương pháp thống kê dùng để ước tính và mô hình hóa mật độ xác suất của một biến ngẫu nhiên liên tục. KDE thường được sử dụng để biểu diễn cách dữ liệu phân bố theo một biến liên tục. Thay vì sử dụng các khoảng rời rạc như trong biểu đồ truyền thống, biểu đồ KDE sử dụng các hàm hạt nhân (kernel functions) để biểu diễn mật độ xác suất tại mỗi điểm trong không gian biến liên tục. Hàm nhân là một hàm liên tục có tích phân bằng 1 và được sử dụng để "lan truyền" thông tin từ các quan sát sang toàn bộ phạm vi biến liên tục.

Biểu đồ KDE mịn hơn so với biểu đồ truyền thống và cho phép ước tính mật độ xác suất tại bất kỳ điểm nào trong biến liên tục một cách liền mạch hơn. Trong luận án này trục hoành là các ngưỡng mưa giờ (mm/h) từ trong khoảng 0-25mm với mỗi bin là 0.2 (bước nhảy), trục tung bên trái thể hiện tần suất xuất hiện của các phân bố mưa cho các tổ hợp vật lý và trục tung bên phải phản ánh tỉ lệ % tương ứng.

2.6. Định nghĩa và phân cấp mưa lớn

Hiện tượng mưa lớn là hệ quả của một số loại hình thời tiết đặc biệt như bão, áp thấp nhiệt đới hay dải hội tụ nhiệt đới, hội tụ gió mạnh trên nhiều tầng, front lạnh,

đường đứt... Đặc biệt khi có sự kết hợp giữa chúng với nhau ở cùng một thời điểm sẽ càng nguy hiểm hơn, gây nên mưa to, gió lớn, dông, mưa đá trong một thời gian dài trên một phạm vi rộng. Mưa lớn hay mưa vừa, mưa to diện rộng là quá trình mưa xảy ra mang tính hệ thống trên một hay nhiều khu vực. Mưa lớn diện rộng có thể xảy ra một hay nhiều ngày, liên tục hay ngắt quãng, một hay nhiều trận mưa và không phân biệt dạng mưa. Căn cứ vào lượng mưa thực tế đo được 24 giờ tại các trạm quan trắc khí tượng bề mặt, trạm đo mưa trong mạng lưới khí tượng thủy văn mà phân định các cấp mưa khác nhau. Theo quy định của Tổ chức Khí tượng thế giới (WMO), mưa lớn được chia làm 3 cấp:

- Mưa vừa: Lượng mưa đo được từ 16 đến 50 mm/24h, hoặc 8 đến 25 mm/12h.
- Mưa to: Lượng mưa đo được từ 51 đến 100 mm/24h, hoặc 26 đến 50mm/12h.
- Mưa rất to: Lượng mưa đo được > 100 mm/24h, hoặc > 50 mm/12h.

Trong các nghiên cứu về ảnh hưởng của mưa thì từ cấp mưa to (51-100 mm/24h) trở lên đã bắt đầu có những ảnh hưởng tiêu cực đến đời sống con người.

Hiện nay, Trung tâm Dự báo Khí tượng thủy văn Quốc gia đang sử dụng tiêu chí phân cấp được quy định trong Thông tư 41/2017/TT-BTNMT ngày 23 tháng 10 năm 2017 về Quy định kỹ thuật đánh giá chất lượng dự báo, cảnh báo khí tượng của Bộ trưởng Bộ Tài nguyên và Môi trường.

Hiện tại chưa có quy định cụ thể đối với phân cấp mưa định lượng hạn cực ngắn (dưới 6h) nên trong luận án này số liệu dự báo lượng mưa được đưa về mưa giờ (rainrate) nhằm tiện so sánh đánh giá, cụ thể sẽ là các ngưỡng mưa: 0,1mm/h, 1,2,3,4,5mm/h và các hạn dự báo 1-6 h của từng phương án nghiên cứu được trích suất so sánh đánh giá với số liệu mưa tích lũy từng giờ của 39 trạm quan trắc. Luận án tập trung đánh giá theo các ngưỡng: Có mưa 0,1mm/h (2,4mm/ngày), ngưỡng mưa 1mm/h (24h/ngày), 2 mm/h (48mm/ngày) và ngưỡng mưa 4/5mm/h (98/120 mm/ngày) với các hạn 1-6h.

Tiểu kết Chương 2

Chương 2 đã trình bày phương pháp và số liệu sử dụng để đồng hóa cập nhật

nhanh số liệu ra-đa cho mô hình WRF dự báo mưa định lượng hạn cực ngắn từ 1-6h cho khu vực TP.HCM đối với các đợt mưa lớn trong 3 năm 2019, 2020 và 2021.

Chương 2 cũng trình bày phương pháp xử lý số liệu số liệu ra-đa Nhà Bè phục vụ đồng hóa và đề xuất thiết lập được hệ thống đồng hóa cập nhật nhanh ra-đa dự báo mưa lớn cho TP.HCM (HCM-RAP). HCM-RAP với lõi động lực là mô hình WRF và mô-đun đồng hóa số liệu WRF-DA cùng với ma trận sai số trường nền CV7 đồng hóa số liệu số liệu CAPPI có độ phân giải 1 km với 50 mực, mỗi mực cách nhau 250m và mực ban đầu có độ cao 40m, phản hồi và gió xuyên tâm ra-đa Nhà Bè. Cụ thể, trong hạn dự báo 6h, ví dụ tại lúc 00Z, hệ thống này sẽ cập nhật số liệu GFS, đồng thời đồng hóa số liệu ra-đa và chạy dự báo đến 06Z. Đến các thời điểm từ 01Z đến 07Z, điều kiện ban đầu được cập nhật từ dự báo 1h trước đó sẽ được đồng hóa số liệu ra-đa (không cập nhật điều kiện ban đầu từ GFS). Đến bản tin dự báo lúc 06Z, chu trình được lặp lại như 00Z, hệ thống HCM-RAP sẽ cập nhật điều kiện biên và điều kiện ban đầu từ GFS (00, 06, 12, 18Z) đồng thời đồng hóa số liệu ra-đa. Vào các mốc giờ khác hệ thống chỉ cập nhật số liệu ra-đa.

Hệ thống HCM-RAP trên sẽ phục vụ xuyên suốt cho các nghiên cứu của Luận án.

CHƯƠNG 3. NGHIÊN CỨU LỰA CHỌN BỘ THAM SỐ PHÙ HỢP CHO HỆ THỐNG HCM-RAP DỰ BÁO MƯA HẠN CỰC NGẮN KHU VỰC THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH

Trong bài báo “Assessment of heavy rainfall forecasts over the southern Vietnam by using WRF-ARW with different physical parameterization schemes” đăng trên Disaster Advances Journal năm 2022 mà tác giả là đồng tác giả đã đưa ra được một nhóm các bộ tham số phù hợp trong 60 bộ tham số (5 sơ đồ đối lưu, 4 vi vật lý và 3 lớp biên hành tinh). Đồng thời trên cơ sở kế thừa kết quả nghiên cứu dự báo mưa định lượng cho Nam Bộ 1-3 ngày của Đề tài K08/16-20.14 và thực tế năng lực tính toán của hệ thống máy tính hiệu năng cao của Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu, Nghiên cứu sinh sẽ chọn 7 cấu hình vật lý phục vụ việc thử nghiệm và xác định được bộ tham số hoá vật lý phù hợp cho hệ thống HCM-RAP ứng dụng trong dự báo định lượng mưa hạn cực ngắn (1-6h) khu vực TP.HCM theo phương pháp đồng hóa cập nhật nhanh từng giờ ra-đa cho mô hình WRF.

3.1 Thiết lập thử nghiệm đa cấu hình vật lý đối với hệ thống HCM-RAP

Với mục tiêu lựa chọn được bộ tham số tối ưu đồng hóa số liệu ra-đa cập nhật nhanh cho mô hình HCM-RAP nhằm nâng cao độ chính xác của kết quả dự báo mưa hạn cực ngắn (1-6h) cho khu vực TP.HCM và nâng cao độ chính xác cũng như xác định được mức độ đóng góp cụ thể của độ phản hồi, tốc độ gió xuyên tâm đến kết quả dự báo mưa hạn 1-6h và các ngưỡng mưa khác nhau, nghiên cứu thiết lập hệ thống HCM-RAP với thử nghiệm 7 cấu hình vật lý như sau: *Kain-Fritsch loại 3 + Lin + Mellor-Yamada-Janjic; Grell-Devenyi + Lin + Mellor-Yamada-Janjic; Kain-Fritsch loại 3 + WSM5 + Mellor-Yamada-Janjic; Grell-Devenyi + WSM5 + Mellor-Yamada-Janjic; Kain-Fritsch loại 3 + New Thompson + Mellor-Yamada-Janjic; Betts-Miller-Janjic + New Thompson + Mellor-Yamada-Janjic* (Bảng 3.1).

Hệ thống HCM-RAP với 7 cấu hình kết hợp tham số hóa vật lý khác nhau mô phỏng 15 đợt mưa lớn trong 3 năm 2019, 2020, 2021 (Bảng 3.2) với 4 phương án khác nhau đó là:

- 1) Không đồng hóa (CTL);
- 2) HCM-RAP đồng hóa tốc độ gió xuyên tâm (RAP-VR);
- 3) HCM-RAP đồng hóa độ phản hồi (RAP-ZH);
- 4) HCM-RAP đồng hóa tốc độ gió xuyên tâm và độ phản hồi (RAP-ZHVR).

Hệ thống HCM-RAP sẽ chạy 24 lần trong 1 ngày và mỗi 1 lần chạy sẽ dự báo mưa và các trường khí tượng khác nhau theo các hạn 1h đến 6h.

Bảng 3. 1. Các cấu hình tổ hợp đa vật lý khác nhau của HCM-RAP

Sơ đồ đối lưu	Vật lý mây	Lớp biên	Viết tắt	Kí hiệu
Betts–Miller–Janjic	Lin	Yonsei University	BMJ_LIN_YSU	mp2_bl1_cu2
Kain–Fritsch loại 3	Lin	Mellor–Yamada–Janjic	KF3_LIN_MYJ	mp2_bl2_cu1
Grell–Devenyi	Lin	Mellor–Yamada–Janjic	GD_LIN_MYJ	mp2_bl2_cu9 3
Kain–Fritsch loại 3	WSM5	Mellor–Yamada–Janjic	KF3_WSM5_MYJ	mp4_bl2_cu1
Grell–Devenyi	WSM5	Mellor–Yamada–Janjic	GD_WSM5_MYJ	mp4_bl2_cu9 3
Kain–Fritsch loại 3	New Thompson	Mellor–Yamada–Janjic	KF3_THP_MYJ	mp8_bl2_cu1
Betts–Miller–Janjic	New Thompson	Mellor–Yamada–Janjic	BMJ_THP_MYJ	mp8_bl2_cu2

Bảng 3. 2. Danh sách các đợt mưa mô phỏng bằng HCM-RAP trong Luận án

STT	Ngày/ Tháng	STT	Ngày/Tháng
1	26-27/5/2019	-	-
2	10-11/06/2019	9	02-03/11/2019
3	19-20/6/2019	10	05-06/11/2019
4	18-19/7/2019	11	31/7-03/8/2020
5	26-27/7/2019	12	17-20/9/2020
6	16-17/8/2019	13	26-31/8/2021
7	20-23/9/2019	14	18-20/9/2021
8	12-13/10/2019	15	26-30/11/2021
Tổng số ngày mô phỏng		44 ngày	

Hệ thống HCM-RAP được thiết lập cập nhật nhanh từng giờ đồng hóa độ phân

hồi (ZH), tốc độ gió xuyên tâm (VR), độ phản hồi+tốc độ gió xuyên tâm (ZHVR) và phương án không đồng hóa (CTL) với hạn dự báo 1-6h. Tổng số 29.568 lần dự báo (44 ngày x 24h x 7 cấu hình kết hợp tham số hóa vật lý khác nhau x 4 phương án đồng hóa) đã được thực hiện với thời gian tính toán khoảng 7.000 giờ CPU và khối lượng tính toán, lưu trữ gần 50 TB dữ liệu.

3.2 Đánh giá lựa chọn bộ sơ đồ vật lý dự báo mưa hạn cực ngắn đối với hệ thống HCM-RAP

Luận án này đã thực hiện 29.568 mô phỏng, dự báo lượng mưa theo các ngưỡng mưa 0,1mm/h (2,4mm/ngày), 2mm/h (48mm/ngày) và 4-5mm/h (98-120mm/ngày) với các hạn 1h, 3h và 6h. Kết quả của từng phương án được trích xuất, so sánh đánh giá với số liệu mưa tích lũy từng giờ của 39 trạm quan trắc.

Các kết quả tính toán, đánh giá nhằm trả lời cho 2 trong 4 câu hỏi nghiên cứu của Luận án: (1) Đồng hóa số liệu ra-đa cập nhật nhanh cho mô hình WRF sẽ ảnh hưởng như thế nào trong việc dự báo mưa định lượng hạn cực ngắn (1-6h) cho khu vực nhỏ? (2) Tổ hợp cấu hình vật lý nào là tối ưu nhất cho mô hình HCM-RAP trong việc nâng cao độ chính xác của kết quả dự báo mưa định lượng hạn cực ngắn (1-6h) cho khu vực TP.HCM?

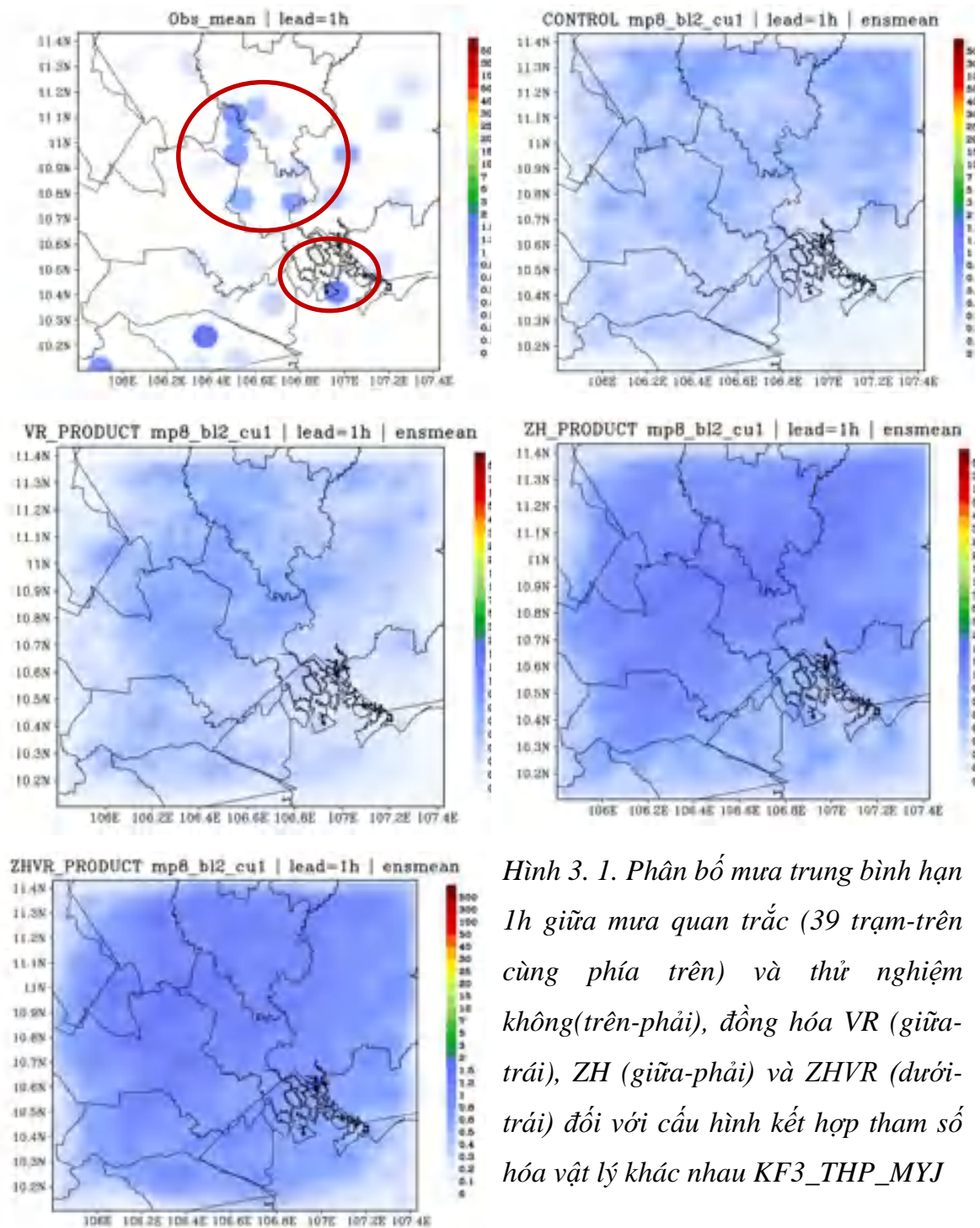
3.2.1 Phân bố mưa theo không gian của các cấu hình kết hợp tham số hóa vật lý khác nhau của hệ thống HCM-RAP

Dưới đây là phần trình bày, đánh giá khả năng dự báo mưa theo không gian theo các hạn dự báo 1-6h cho các ngưỡng mưa giờ khác nhau cho khu vực TP.HCM.

Hạn dự báo 1h

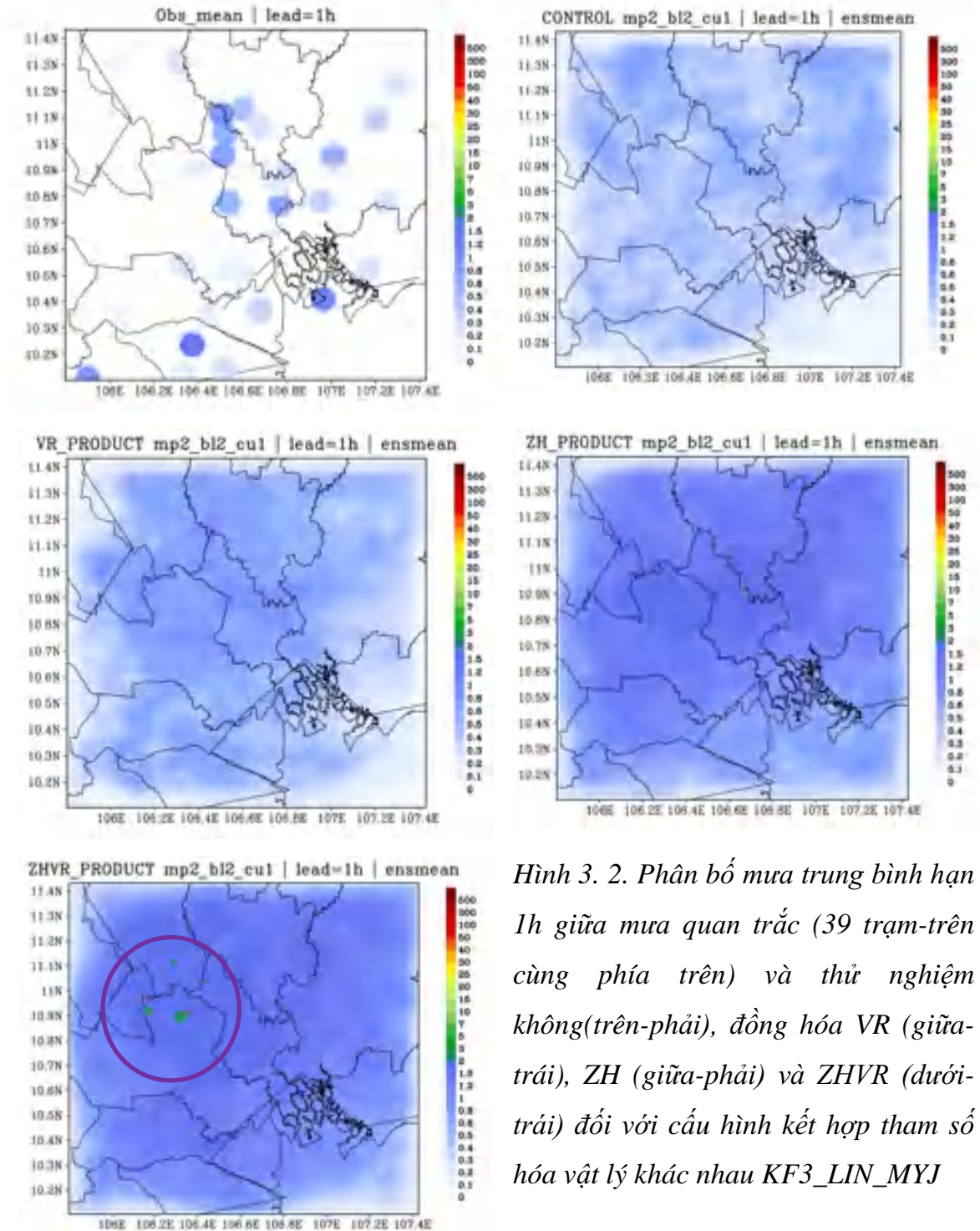
Nhóm Kain–Fritsch loại 3:

Hình 3.1 thể hiện kết quả dự báo mưa hạn 1h theo cấu hình kết hợp 3 sơ đồ tham số hóa *Kain–Fritsch loại 3 + New Thompson + Mellor–Yamada–Janjic* với 4 phương án CTL, đồng hóa VR, ZH, ZHVR. Kết quả cho thấy rằng phân bố mưa theo quan trắc của 15 đợt mưa thử nghiệm trong 3 năm 2019, 2020 và 2021 tập trung chủ yếu ở khu vực tây bắc và đông nam của TP.HCM (được khoanh tròn bằng đường viền màu đỏ).



So sánh 4 phương án thử nghiệm đồng hóa khác nhau cho thấy rằng phương án không đồng hóa có xu hướng dự báo lượng mưa gần với quan trắc hơn so với các phương án còn lại. Phương án đồng hóa ZH cho xu hướng dự báo thiên cao hơn so

với thực tế tuy nhiên lại dự báo các tâm mưa lớn tốt hơn rất nhiều so với phương án không đồng hóa CTL và phương án đồng hóa VR.



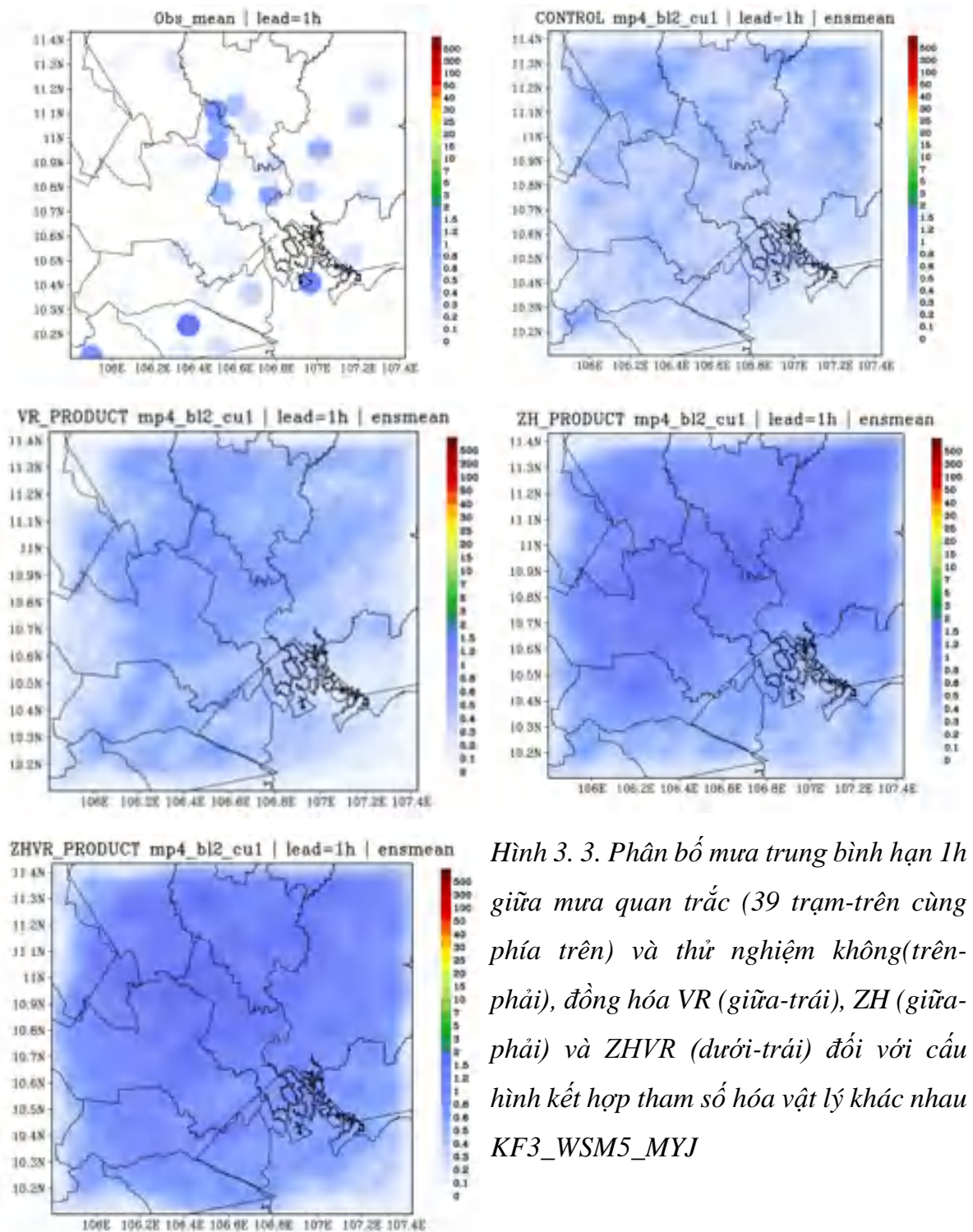
Hình 3. 2. Phân bố mưa trung bình hạn 1h giữa mưa quan trắc (39 trạm-trên cùng phía trên) và thử nghiệm không(trên-phải), đồng hóa VR (giữa-trái), ZH (giữa-phải) và ZHVR (dưới-trái) đối với cấu hình kết hợp tham số hóa vật lý khác nhau KF3_LIN_MYJ

Hình 3.2 tương tự như hình 3.1 nhưng theo cấu hình kết hợp 3 sơ đồ **Kain-Fritsch loại 3 + Lin + Mellor-Yamada-Janjic**. So sánh 4 phương án thử nghiệm

đồng hóa khác nhau thấy có những sự khác biệt đáng kể, cụ thể phương án không đồng hóa và phương án đồng hóa VR đã dự báo lượng mưa thấp hơn và không có khả năng dự báo các tâm mưa lớn. Trái lại, trong số 4 phương án, phương án kết hợp ZH thể hiện xu hướng dự báo lượng mưa cao hơn so với thực tế tuy nhiên lại dự báo tốt hơn các tâm mưa lớn, vượt trội hơn so với phương án không đồng hóa và đồng hóa VR. Đặc biệt, phương án đồng hóa tổ hợp ZHVR đã dự báo một khu vực mưa cực đoan (khoanh tròn màu tím trong Hình 3.2) cao hơn hẳn với thực tế. Phương án này có thể phục vụ dự báo viên tham khảo trong việc cảnh báo nguy cơ (phương án cực đoan) mưa lớn. Nhìn chung, từ hình 3.2 cho thấy tầm quan trọng của việc lựa chọn và kết hợp các tham số vật lý để cải thiện khả năng dự báo mưa và các hiện tượng thời tiết khác nói chung.

Hình 3.3 tương tự như hình 3.1 nhưng theo cấu hình kết hợp 3 sơ đồ ***Kain-Fritsch loại 3 + WSM5 + Mellor-Yamada-Janjic***. Kết quả cho thấy có sự tương đồng với Hình 3.1 và 3.2, tuy nhiên, có một điểm đáng chú ý liên quan đến sự tham gia của vi vật lý WSM5. Với sự tham gia của vi vật lý WSM5 lượng mưa được dự báo thấp hơn một cách đáng kể so với hai phương án sử dụng cùng cấu hình Kain-Fritsch loại 3. So sánh 4 phương án thử nghiệm đồng hóa khác nhau cho thấy rằng phương án không đồng hóa và đồng hóa VR vẫn dự báo lượng mưa thấp hơn và không có khả năng dự báo các tâm mưa lớn. Trong số 4 phương án thì phương án có sự tham gia của ZH cho xu hướng dự báo lượng mưa xấp xỉ so với thực tế.

Như trình bày ở phần trên, sơ đồ đối lưu KF dựa trên mô hình dòng ra và dòng vào có thể mô phỏng các dòng thăng và giáng của các dòng khối lượng và kết hợp quá trình nhiễu loạn bổ sung phụ thuộc vào độ ẩm tương đối. Đặc biệt trong mô hình WRF hiện nay thì sơ đồ KF có đến 3 biến thể khác nhau như sơ đồ sử dụng kiểu kích hoạt đối lưu Fritsch-Chappell (KF1), kích hoạt dựa trên sự vận chuyển thẳng đứng của độ ẩm (KF2) và quá trình nhiễu loạn bổ sung phụ thuộc vào độ ẩm tương đối liên quan đến cơ chế kích hoạt đầu tiên (KF3).



Hình 3. 3. Phân bố mưa trung bình hạn 1h giữa mưa quan trắc (39 trạm-trên cùng phía trên) và thử nghiệm không(trên-phải), đồng hóa VR (giữa-trái), ZH (giữa-phải) và ZHVR (dưới-trái) đối với cấu hình kết hợp tham số hóa vật lý khác nhau KF3_WSM5_MYJ

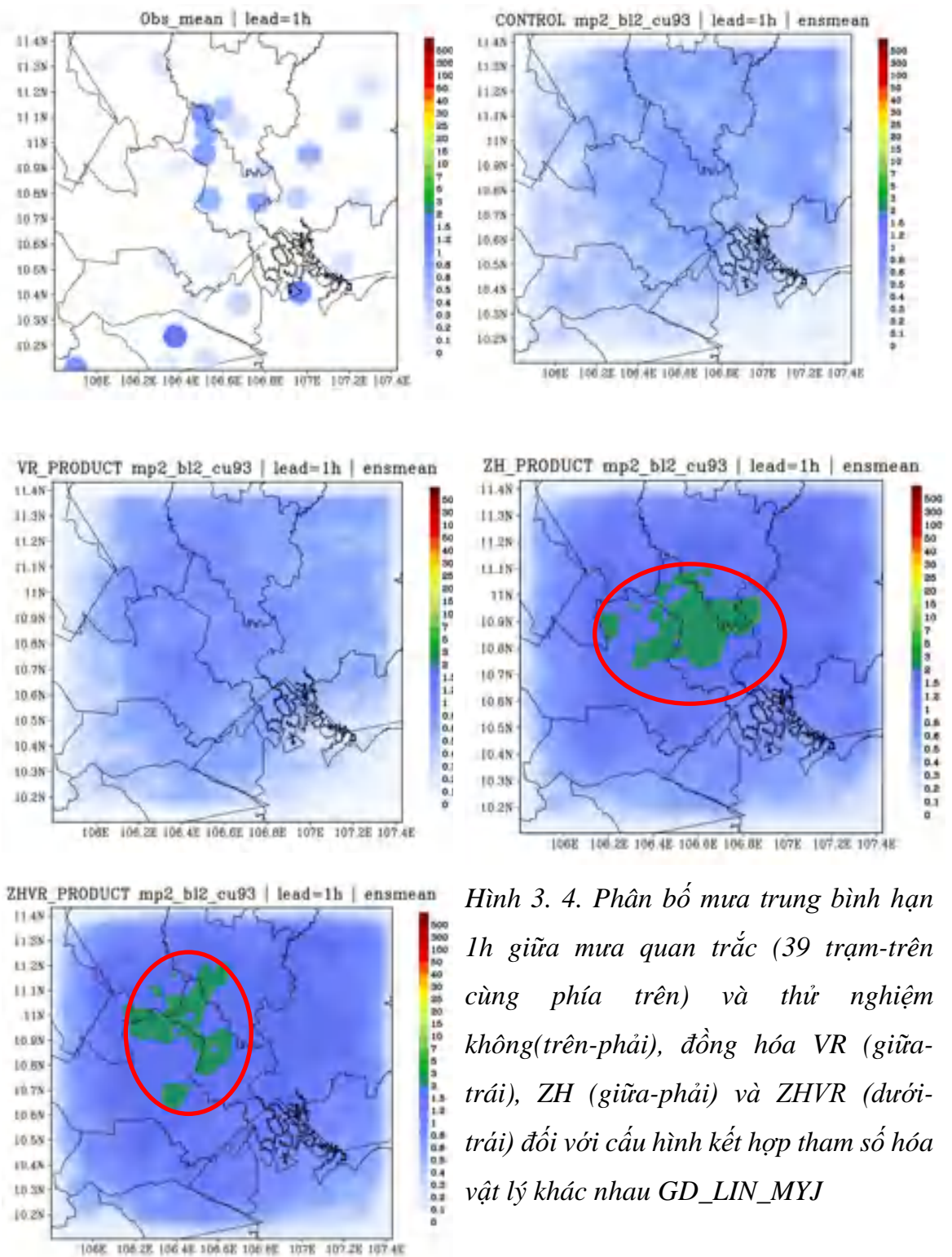
KF3 với cơ chế kích hoạt dựa trên sự vận chuyển thẳng đứng của độ ẩm quá trình nhiễu loạn bổ sung phụ thuộc vào độ ẩm tương đối nên khá nhạy và phù hợp với hình thế, cơ chế mưa lớn tại TP.HCM và Nam Bộ là chủ yếu do ảnh hưởng của gió mùa Tây Nam cùng với nhiễu động của rãnh thấp, đặc biệt mưa nhiệt đới với chu

trình ngày đêm rất rõ ràng, mưa tập trung vào chiều tối với quy mô đối lưu vài km. Cũng phù hợp với một số nghiên cứu gần đây, sơ đồ KF3 với đồng hóa cập nhật từng giờ một là một lựa chọn tốt đối với việc dự báo mưa, đặc biệt là mưa định lượng hạn cực ngắn [51, 72, 80].

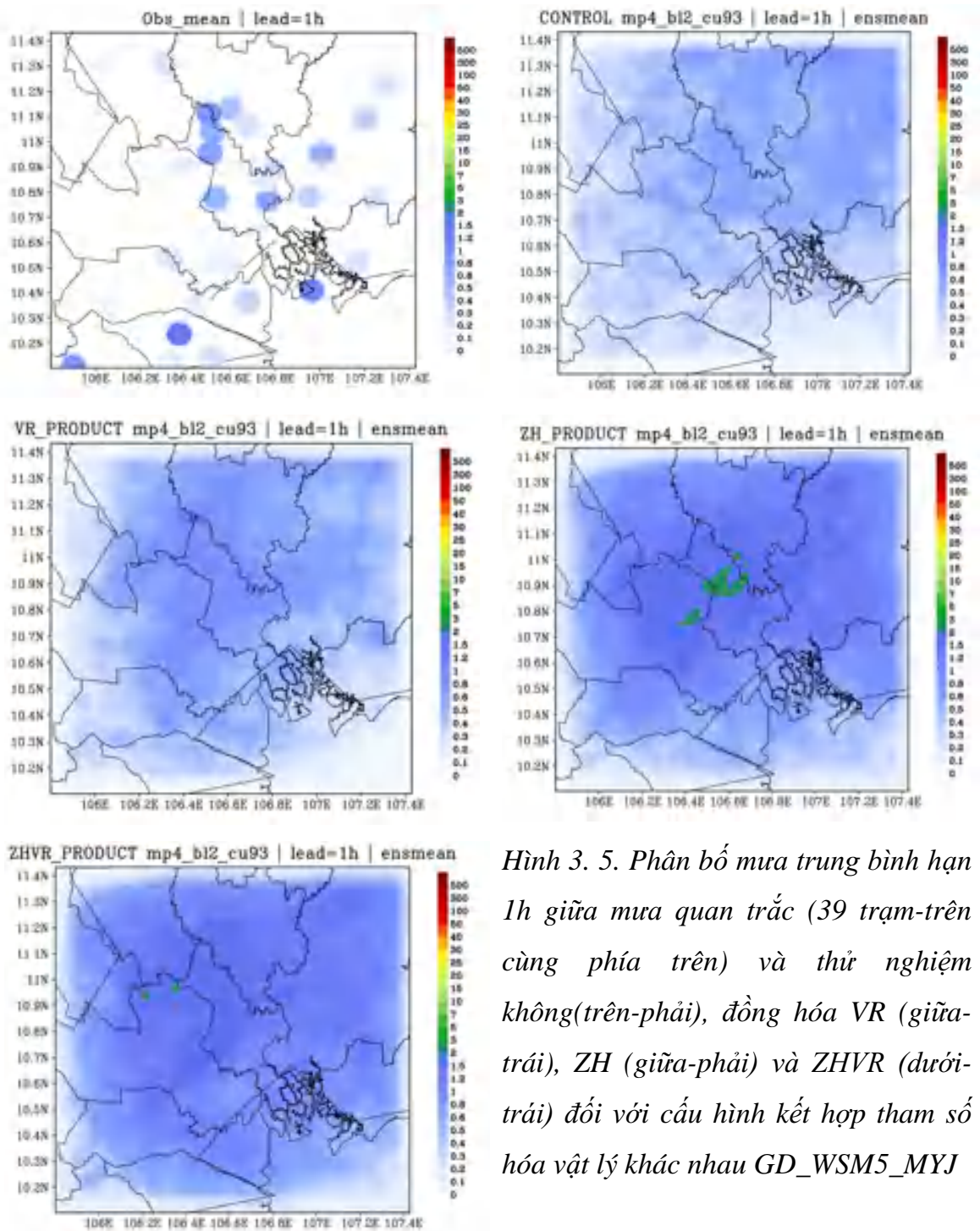
Nhóm Grell

Hình 3.4 tương tự như hình 3.1 nhưng theo kết hợp 3 sơ đồ tham số *Grell + Lin + Mellor–Yamada–Janjic*. Ở trường hợp này phương án không đồng hóa và đồng hóa VR cho lượng mưa thấp hơn và không dự báo được các tâm mưa lớn; phương án có sự có mặt của ZH cho lượng mưa thiên cao so với thực tế nhưng dự báo các tâm mưa lớn tốt hơn so với không hóa và đồng hóa VR, đặc biệt là phương án đồng hóa tổ hợp ZHVR dự báo một khu vực mưa cực đoan hơn so với thực tế (khoanh tròn đỏ trong Hình 3.4). Hình 3.5 tương tự như hình 3.4 nhưng theo cấu hình kết hợp 3 sơ đồ tham số *Grell + WSM5 + Mellor–Yamada–Janjic*. Cũng tương tự như các trường hợp thử nghiệm khác, phương án không đồng hóa và đồng hóa VR cho lượng mưa thấp hơn và không dự báo được các tâm mưa lớn gần với quan trắc, phương án ZH cho lượng mưa thiên cao so với thực tế nhưng dự báo các tâm mưa lớn tốt hơn so với không hóa và đồng hóa VR, đặc biệt là phương án đồng hóa tổ hợp ZHVR dự báo một khu vực mưa có phần thiên cao hơn khá nhiều so với thực tế.

Nhìn chung nhóm cấu hình kết hợp tham số hóa vật lý khác nhau họ Grell dự báo mưa hạn 1h thiên cao và cực đoan hơn so với thực tế khá nhiều. Điều này có thể do bản tham số Grell-Devenji là một sơ đồ đối lưu tổng hợp và gần đây đã được sử dụng trong mô hình có độ phân giải cao (Grell và Freitas 2014). Sơ đồ này sử dụng các phương trình tham chiếu để tính toán các thông số khí tượng như tốc độ gió, độ ẩm và nhiệt độ trong khí quyển, giúp mô hình có thể mô phỏng các hiện tượng thời tiết khác nhau và là sơ đồ cải tiến cũng như thường kích hoạt mưa lớn hơn bình thường và dùng vào mục đích dự báo các cực trị mưa.



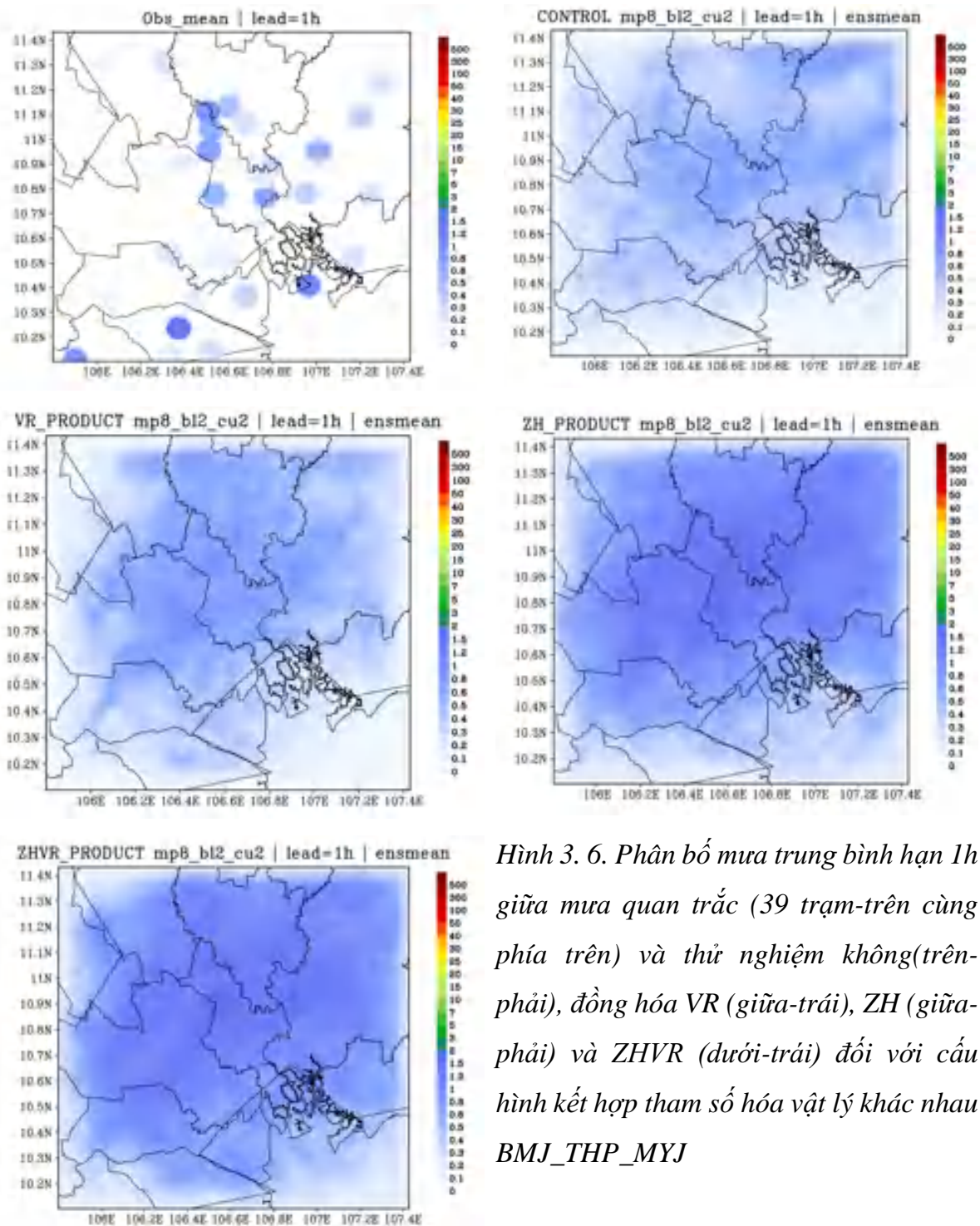
Hình 3. 4. Phân bố mưa trung bình hạn 1h giữa mưa quan trắc (39 trạm-trên cùng phía trên) và thử nghiệm không(trên-phải), đồng hóa VR (giữa-trái), ZH (giữa-phải) và ZHVR (dưới-trái) đối với cấu hình kết hợp tham số hóa vật lý khác nhau GD_LIN_MYJ



Hình 3. 5. Phân bố mưa trung bình hạn 1h giữa mưa quan trắc (39 trạm-trên cùng phía trên) và thử nghiệm không(trên-phải), đồng hóa VR (giữa-trái), ZH (giữa-phải) và ZHVR (dưới-trái) đối với cấu hình kết hợp tham số hóa vật lý khác nhau GD_WSM5_MYJ

Nhóm Betts–Miller–Janjic

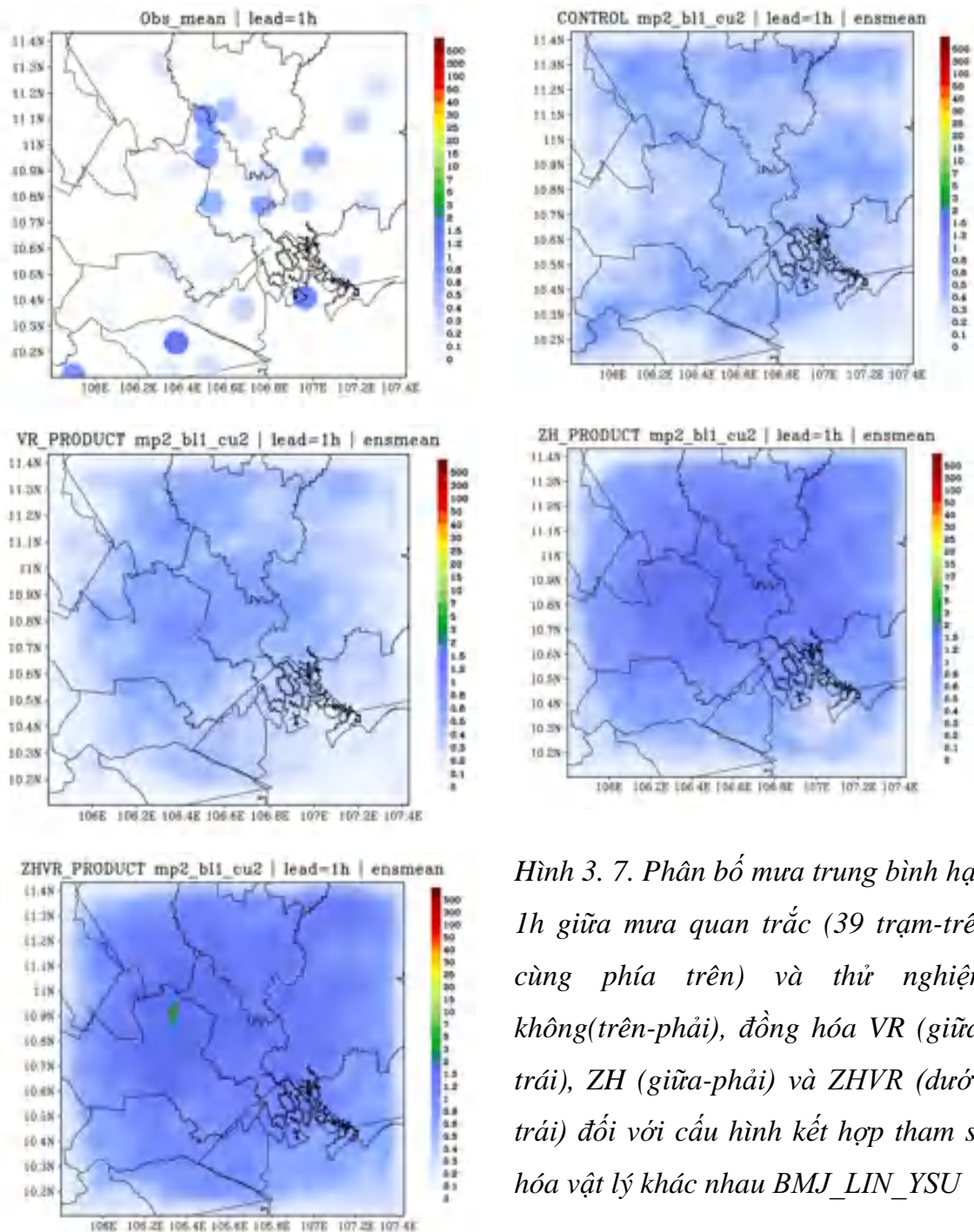
Đối với hạn 1h thì tổ hợp **Betts–Miller–Janjic + Lin + Yonsei University** và **Betts–Miller–Janjic + New Thompson + Mellor–Yamada–Janjic** trên hình 3.6, 3.7 cho thấy xu thế tương tự như nhóm Kain- Frisch 3.



Hình 3. 6. Phân bố mưa trung bình hạn 1h giữa mưa quan trắc (39 trạm-trên cùng phía trên) và thử nghiệm không(trên-phải), đồng hóa VR (giữa-trái), ZH (giữa-phải) và ZHVR (dưới-trái) đối với cấu hình kết hợp tham số hóa vật lý khác nhau BMJ_THP_MYJ

Như đã biết sơ đồ Betts-Miller-Janjic là sơ đồ tham số đối lưu có thể điều chỉnh sự bất ổn định trong môi trường bằng cách tạo ra sự đối lưu sâu. Mặc dù BMJ xem xét cả cấp độ đối lưu nông và sâu; tuy nhiên, không có dòng thẳng và giáng cũng như không dòng vào và ra của đám mây. Cũng chính vì vậy mà không thật sự tốt bằng

nhóm KF3 vì mưa lớn trên tại TP.HCM và Nam Bộ trong luận án này là chủ yếu do ảnh hưởng của gió mùa Tây Nam cùng với nhiễu động của rãnh thấp (quy mô vừa-lớn).



Hình 3. 7. Phân bố mưa trung bình hạn 1h giữa mưa quan trắc (39 trạm-trên cùng phía trên) và thử nghiệm không(trên-phải), đồng hóa VR (giữa-trái), ZH (giữa-phải) và ZHVR (dưới-trái) đối với cấu hình kết hợp tham số hóa vật lý khác nhau BMJ_LIN_YSU

Đối với 7 phương án thử nghiệm với sự tham gia của 3 nhóm sơ đồ đối lưu, bao gồm Kain-Fritsch loại 3, Grell-Devenyi và Betts-Miller-Janjic đã thu được một số

kết quả đáng chú ý. Nhóm có sự tham gia của Grell–Devenyi dự báo lượng mưa hạn 1 giờ cao hơn so với hai nhóm còn lại và có xu hướng dự báo mưa cực đoan so với thực tế. Nhóm sơ đồ Kain–Fritsch loại 3 cho thấy sự phù hợp cao nhất trong việc dự báo mưa. Đặc biệt, nhóm sơ đồ vật lý New Thompson đã cho kết quả gần nhất với thực tế, và sơ đồ lớp biên hành tinh Mellor–Yamada–Janjic đã cung cấp một phân bố mưa dự báo trong khoảng thời gian 1 giờ tốt hơn so với sơ đồ Yonsei University.

Qua các kết quả thử nghiệm cho thấy rằng sự lựa chọn và kết hợp giữa các sơ đồ đối lưu và các tham số vật lý có tác động đáng kể đến tính chính xác của dự báo mưa, và nên được xem xét kỹ lưỡng trong quá trình dự báo thời tiết và khí hậu.

Hạn dự báo 3h

Đối với hạn dự báo 3h (Hình PL-3.1-3.7) cũng cho 1 bức tranh tương tự về phân bố mưa theo không gian của 7 cấu hình kết hợp tham số hóa vật lý khác nhau như hạn dự báo 1h, tuy nhiên trong trường hợp này nhóm sơ đồ đối lưu Grell–Devenyi cho xu hướng dự báo mưa cao hơn so với hai nhóm còn lại và có xu hướng dự báo mưa có tính cực đoan so với thực tế.

Nhóm sơ đồ Kain–Fritsch loại 3 được xác định là có tính phù hợp cao nhất trong việc dự báo mưa trong điều kiện tương tự. Đặc biệt, nhóm sơ đồ đối lưu với sự kết hợp cùng sơ đồ vật lý New Thompson cho kết quả gần nhất với thực tế, trong khi sơ đồ lớp biên hành tinh Mellor–Yamada–Janjic đã cung cấp một phân bố mưa dự báo 3 giờ tốt hơn so với sơ đồ Yonsei University.

Hạn dự báo 6h

Đối với hạn dự báo 6 giờ (trong Hình PL-3.8-3.15) cũng cung cấp một cái nhìn tương tự về phân bố không gian của mưa trong 7 cấu hình kết hợp với các tham số vật lý khác nhau, tương tự như hạn dự báo 1 và 3 giờ.

Tuy nhiên, điều đáng chú ý là ở hạn 6h mô hình không dự báo được các tâm mưa lớn nằm ở phía đông của TP.HCM (trung tâm của khu vực nghiên cứu). Kết quả tổng thể cho thấy rằng trong số các cấu hình kết hợp, nhóm sử dụng sơ đồ đối lưu Kain–Fritsch loại 3 đã đưa ra dự báo phù hợp nhất. Đặc biệt, nhóm mô hình với sự tham gia của sơ đồ vật lý New Thompson đã tạo ra kết quả tiệm cận nhất với thực tế.

Sơ đồ lớp biên hành tinh Mellor–Yamada–Janjic đã cung cấp một dự báo về phân bố mưa trong hạn 6 giờ tốt hơn so với sơ đồ Yonsei University.

Tóm lại, hệ thống HCM-RAP được thiết lập cập nhật nhanh qua các trường hợp thử nghiệm, với các hạn dự báo khác nhau với 15 đợt mưa đã cho thấy trong số 4 phương án thì phương án không đồng hóa và phương án đồng hóa VR đã cho kết quả dự báo lượng mưa thấp hơn và không thể dự báo được các tâm mưa lớn. Trong số 4 phương án đồng hóa thì phương án sử dụng độ phản hồi (ZH) đã dự báo lượng mưa thiên cao hơn so với thực tế, nhưng lại dự báo các tâm mưa lớn tốt hơn so với phương án không đồng hóa và đồng hóa VR. Đặc biệt, phương án đồng hóa tổ hợp ZHVR đã dự báo một khu vực mưa thiên cao hơn đáng kể so với thực tế.

Khi xem xét 7 cấu hình kết hợp tham số hóa vật lý khác nhau cho 3 nhóm sơ đồ đối lưu, bao gồm Kain–Fritsch loại 3, Grell–Devenyi, và Betts–Miller–Janjic, kết quả cho thấy nhóm sơ đồ đối lưu Grell–Devenyi đã dự báo lượng mưa trong khoảng thời gian 1 giờ, 3 giờ, và 6 giờ với mức thiên cao hơn so với hai nhóm còn lại và thường dự báo mưa ở mức cao hơn đối với thực tế. Nhóm sơ đồ Kain–Fritsch loại 3 cho thấy sự phù hợp cao nhất trong việc dự báo mưa trong điều kiện này. Đặc biệt, khi xem xét sự tham gia của sơ đồ vật lý New Thompson, chúng ta thấy rằng nó đã cho kết quả gần nhất với thực tế, trong khi sơ đồ lớp biên hành tinh Mellor–Yamada–Janjic đã cung cấp một phân bố mưa dự báo 1 giờ tốt hơn so với sơ đồ Yonsei University.

Kết quả này cho thấy tầm quan trọng của sự lựa chọn kỹ càng giữa các sơ đồ đối lưu và sự hiệu quả của sự tham gia của các tham số vật lý trong việc cải thiện tính chính xác của dự báo mưa mưa lớn cho khu vực TP.HCM.

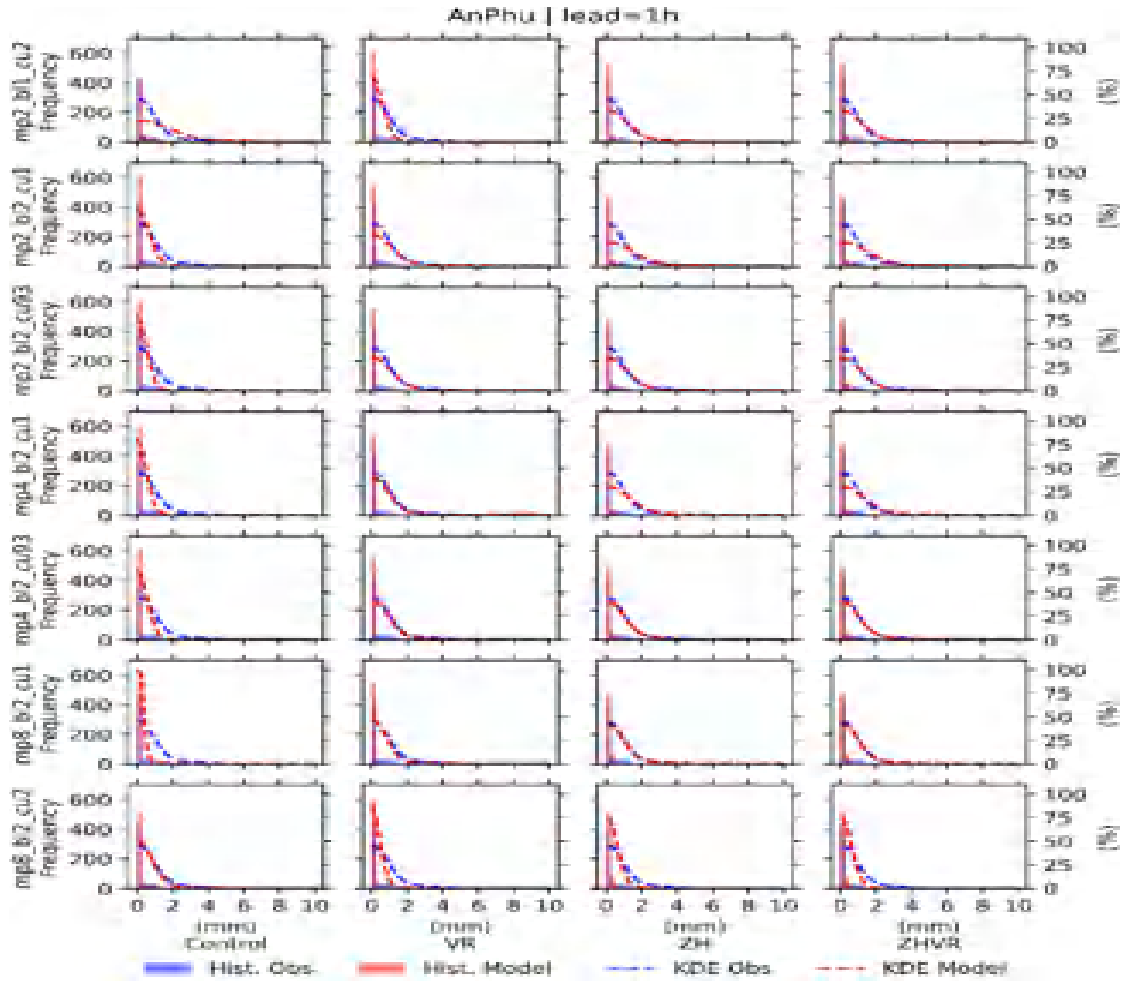
3.2.2 Phân bố tần suất mưa theo các cấu hình kết hợp tham số hóa của hệ thống HCM-RAP

Hạn dự báo 1h

Để đánh giá vai trò, phân bố tần suất mưa quan trắc và dự báo các kết hợp vật lý khác nhau tại các hạn dự báo, nghiên cứu sinh sử dụng biểu đồ tần suất (histogram) và ước tính mật độ hạt nhân (Kernel Density Estimation – KDE) quan trắc và dự báo

tại 39 trạm quan trắc như nêu trong Chương 2.

Cụ thể trong luận án này thì trục hoành là các ngưỡng mưa giờ (mm/h) từ trong khoảng 0-25mm với mỗi bin là 0.2 (bước nhảy), trục tung bên trái thể hiện tần suất xuất hiện của các phân bố mưa cho các tổ hợp vật lý và trục tung bên phải phản ánh tỉ lệ % tương ứng.



Hình 3. 8. Biểu đồ tần suất giữa mưa quan trắc (cột màu xanh navy nhạt- Hist.Obs, mưa dự báo (cột màu đỏ- Hist. Model, tần suất KDE quan trắc (nét đứt xanh- KDE Obs, dự báo (nét đứt đỏ-KDE Model) với thử nghiệm không đồng hóa (bên trái), đồng hóa VR (trái-giữa), ZH (phải-giữa) và ZHVR (phải) đối với các cấu hình kết hợp tham số hóa vật lý khác nhau tại trạm An Phú đối với mưa hạn 1h

Hình 3.8 (trạm An Phú) và PL-Hình 3.15 (39 trạm quan trắc) biểu diễn biểu đồ tần suất -histogram đối với mưa hạn 1h giữa mưa quan trắc (cột màu xanh), mưa dự báo (cột màu đỏ), KDE-histogram quan trắc (nét đứt xanh), KDE-histogram quan trắc

(nét đứt xanh) tại vị trí trạm quan trắc với thử nghiệm không đồng hóa (bên trái), đồng hóa VR (trái-giữa), ZH (phải-giữa) và ZHVR (phải) đối với các cấu hình kết hợp các sơ đồ tham số hóa khác nhau.

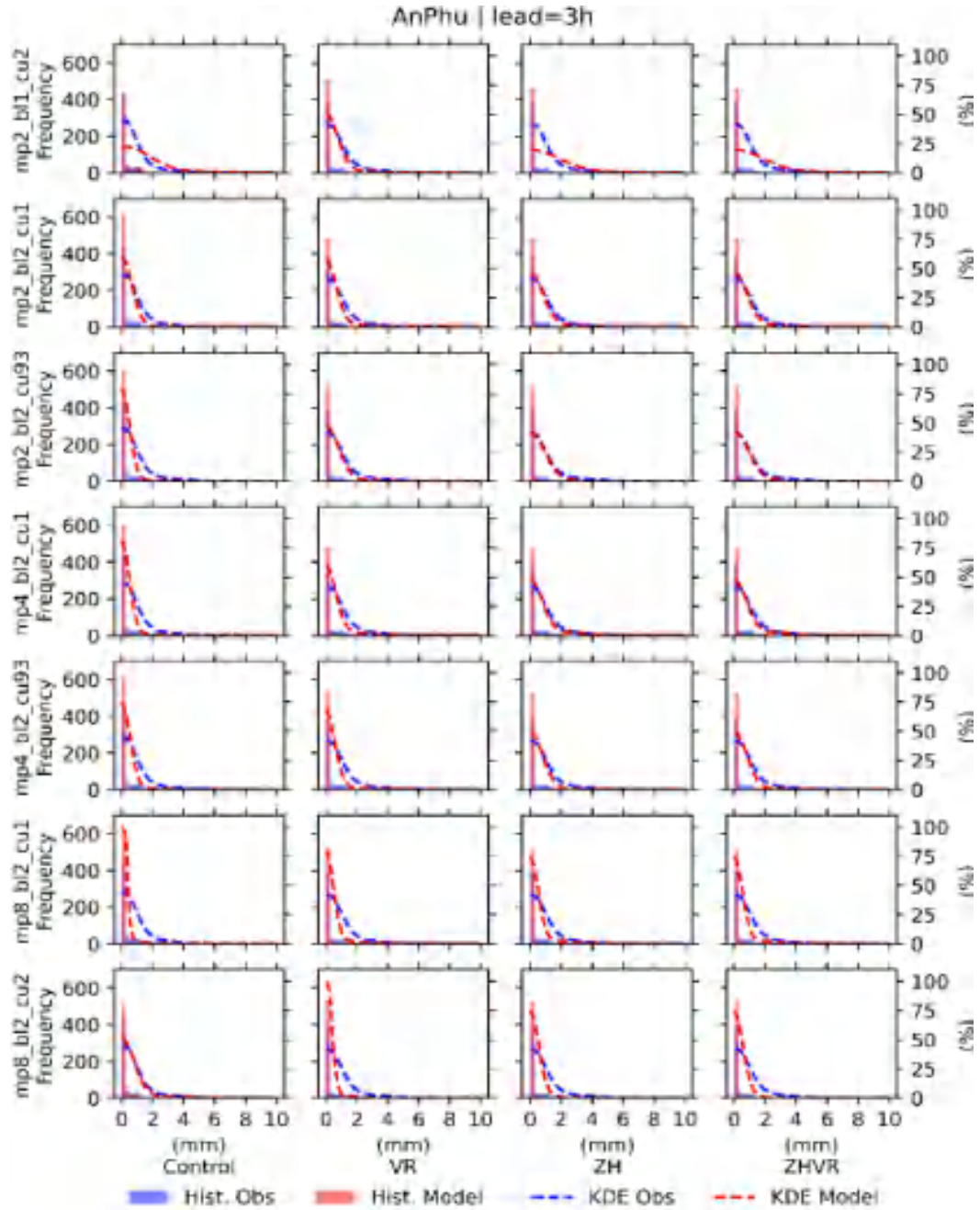
Từ hình 3.8 và PL-Hình 3.15. ta thấy rằng mưa giờ phân bố tại các trạm chủ yếu trong ngưỡng có mưa 0.1mm/h và dưới 1mm/h lên đến hơn 90% đối với phương án CTL và VR. Các ngưỡng lớn hơn như 2mm, 4mm/h (48mm/ngày, 96mm/ngày), phương án ZH và ZHVR cho thấy dự báo hạn 1h tần suất KDE (đường đứt màu đỏ) có đa phần cao hơn KDE quan trắc và mở rộng sang đến ngưỡng 3 và 4mm/h trong khi đó CTL và VR chỉ nằm ngưỡng nhỏ hơn 1mm/h. Điều này cho thấy ZH, ZHVR cải thiện kỹ năng dự báo đối với các ngưỡng mưa vừa, mưa to và rất to so với phương án CTL và VR. Theo KDE-histogram mô hình thì phân bố trong phương án ZH, ZHVR phản ánh được phân bố thực tế mưa lớn theo giờ so với quan trắc của các trạm trong miền tính so với CTL và VR. KDE-histogram của mô hình ngưỡng mưa to 2mm/h có thể chiếm đến 25-30% ở 1 số trạm và rất sát với KDE quan trắc, trong khi đó KDE-histogram mô hình khá xa và dốc so với KDE-histogram quan trắc trong phương án CTL và VR tại đa phần các trạm

Hạn dự báo 3 h

Hình 3. 9 và PL-Hình 3.16 tương tự như hình 3.8 và PL-Hình 3.15 nhưng đối với hạn 3h. Từ hình 3.9 và PL-Hình 3.16 chúng ta có thể nhận thấy rằng mưa giờ phân bố tại các trạm chủ yếu nằm trong khoảng có mưa từ 0.1 mm/h và dưới 1 mm/h, chiếm hơn 90% tỷ lệ trên tổng số quan sát. Điều này thể hiện rõ rằng việc áp dụng đồng hóa ZH và ZHVR đã cải thiện hiệu suất dự báo đối với các mức ngưỡng mưa nhỏ, mưa vừa và mưa lớn so với phương pháp CTL và VR.

Dựa trên KDE-histogram của mô hình, chúng ta có thể thấy rằng phân bố trong phương án ZH và ZHVR tương thích với phân bố thực tế của mưa lớn theo giờ, so sánh với dữ liệu quan trắc từ các trạm trong khu vực nghiên cứu, trong khi phương pháp CTL và VR lại không thể thể hiện chính xác điều này. Tuy nhiên, KDE-histogram của mô hình cho thấy sự thiên cao khá nhiều so với thực tế ở mức ngưỡng mưa to (2 mm/h) tại hầu hết các trạm quan trắc, và điều này cũng tương tự cho cả 7

cấu hình kết hợp tham số hóa khác nhau.

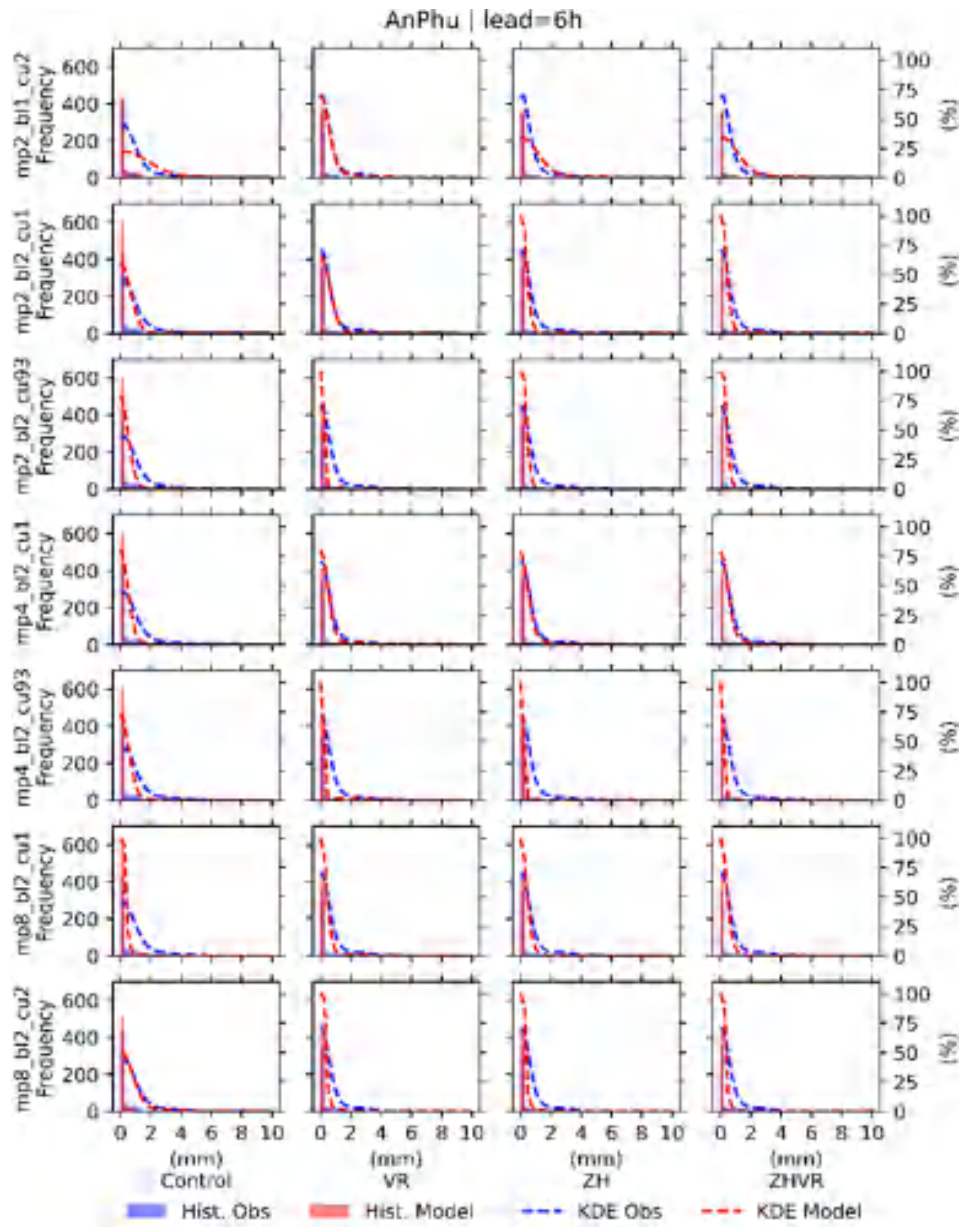


Hình 3. 9. Biểu đồ tần suất giữa mưa quan trắc (cột màu xanh navy nhạt- Hist.Obs, mưa dự báo (cột màu đỏ- Hist. Model), tần suất KDE quan trắc (nét đứt xanh- KDE Obs) và dự báo (nét đứt đỏ-KDE Model) với thử nghiệm không đồng hóa (bên trái), đồng hóa VR (trái-giữa), ZH (phải-giữa) và ZHVR (phải) đối với các cấu hình kết hợp tham số hóa vật lý khác nhau tại trạm An Phú đối với mưa hạn 3h

Hạn dự báo 6 h

Tương tự hạn 1h và 3h, với hạn 6h như trong Hình 3. 10, thấy rằng mưa giờ phân bố tại các trạm chủ yếu trong ngưỡng có mưa 0.1mm/h và dưới 1mm/h lên đến hơn 90% tương tự như hạn 1h, chỉ ra rằng đồng hóa ZH, ZHVR cải thiện kỹ năng dự báo đối với các ngưỡng mưa vừa, mưa to đến rất to so với phương CTL và VR, tuy nhiên cũng rất kém tại hạn 6h. KDE-histogram mô hình trong phương án ZH, ZHVR phản ánh được phân bố thực tế mưa lớn theo giờ so với quan trắc của các trạm trong miền tính so với CTL và VR nhưng với mưa to 2mm/h gần như KDE-histogram của mô hình rất xa với KDE-histogram của quan trắc cho hầu hết các trạm ở cả 7 cấu hình kết hợp tham số hóa khác nhau.

Thông qua biểu đồ tần suất-histogram đối với mưa hạn 1, 3, 6h giữa mưa quan trắc và mưa dự báo và KDE-histogram quan trắc và KDE-histogram quan trắc tại vị trí trạm quan trắc với thử nghiệm không đồng hóa, đồng hóa VR, ZH và ZHVR đối với các cấu hình kết hợp tham số hóa khác nhau thấy rằng mưa giờ phân bố tại các trạm chủ yếu trong ngưỡng có mưa 0.1mm/h và dưới 1mm/h lên đến hơn 90% đối với phương án CTL và VR. Các ngưỡng lớn hơn như 2mm, 4mm/h (48mm/ngày, 96mm/ngày), phương án ZH và ZHVR cho thấy dự báo hạn 1, 3, 6h tần suất KDE-histogram đa phần cao hơn KDE quan trắc và mở rộng sang đến ngưỡng 3 và 4mm/h trong khi đó CTL và VR chỉ nằm ngưỡng nhỏ hơn 1mm/h. Điều này cho thấy đồng ZH, ZHVR cải thiện kỹ năng dự báo đối với các ngưỡng mưa vừa, mưa to, rất to so với phương CTL và VR. Theo KDE mô hình thì phân bố trong phương án ZH, ZHVR phản ánh được phân bố thực tế mưa lớn theo giờ so với quan trắc của các trạm trong miền tính so với CTL và VR. KDE của mô hình ngưỡng mưa to 2mm/h có thể chiếm đến 25-30% ở 1 số trạm và rất sát với KDE quan trắc, trong khi đó KDE mô hình khá xa và dốc so với KDE quan trắc trong phương án CTL và VR tại đa phần các trạm.



Hình 3. 10. Biểu đồ tần suất giữa mưa quan trắc (cột màu xanh navy nhạt- *Hist.Obs*), mưa dự báo (cột màu đỏ- *Hist. Model*), tần suất KDE quan trắc (nét đứt xanh- *KDE Obs*) và dự báo (nét đứt đỏ-*KDE Model*) với thử nghiệm không đồng hóa (bên trái), đồng hóa VR (trái-giữa), ZH (phải-giữa) và ZHVR (phải) đối với các cấu hình kết hợp tham số hóa vật lý khác nhau tại trạm An Phú đối với mưa hạn 6h

Nhóm tổ hợp có tham gia của KF3, BMJ, sơ đồ vật lý New Thompson và sơ đồ lớp biên MYJ cho thấy tần suất phân bố theo các ngưỡng mưa dự báo sát nhất với quan trắc và cũng có kỹ năng hơn với những phương án còn lại ở ngưỡng mưa to và

rất to. Trong khi đó nhóm có sự có mặt của Grell thì dự báo thiên cao hơn rất nhiều so với quan trắc ở các hạn và các trạm thông qua KDE-histogram dự báo trải rộng sang các ngưỡng 4-5mm/h và khá xa so với KDE quan trắc.

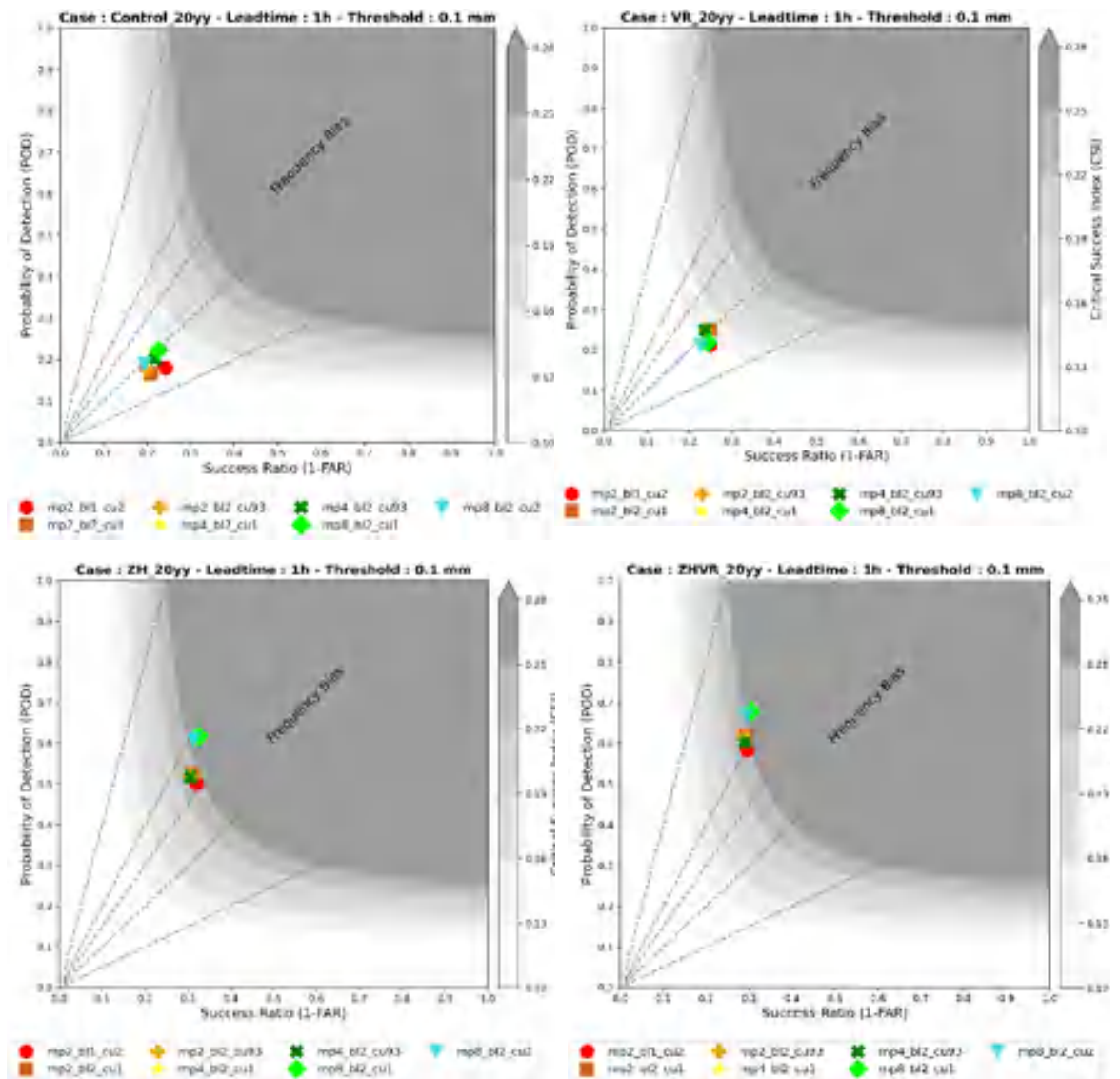
3.2.3 Đánh giá kỹ năng dự báo của các cấu hình kết hợp tham số hóa cho hệ thống HCM-RAP theo các hạn dự báo

Lượng mưa quan trắc từng giờ của 39 trạm đối với 15 đợt mưa được so sánh đánh giá với 4 phương án chạy đồng hóa khác nhau cho 7 cấu hình kết hợp tham số hóa của hệ thống HCM-RAP thông qua giản đồ hiệu suất tích hợp các chỉ số FBI, FAR, POD, CSI

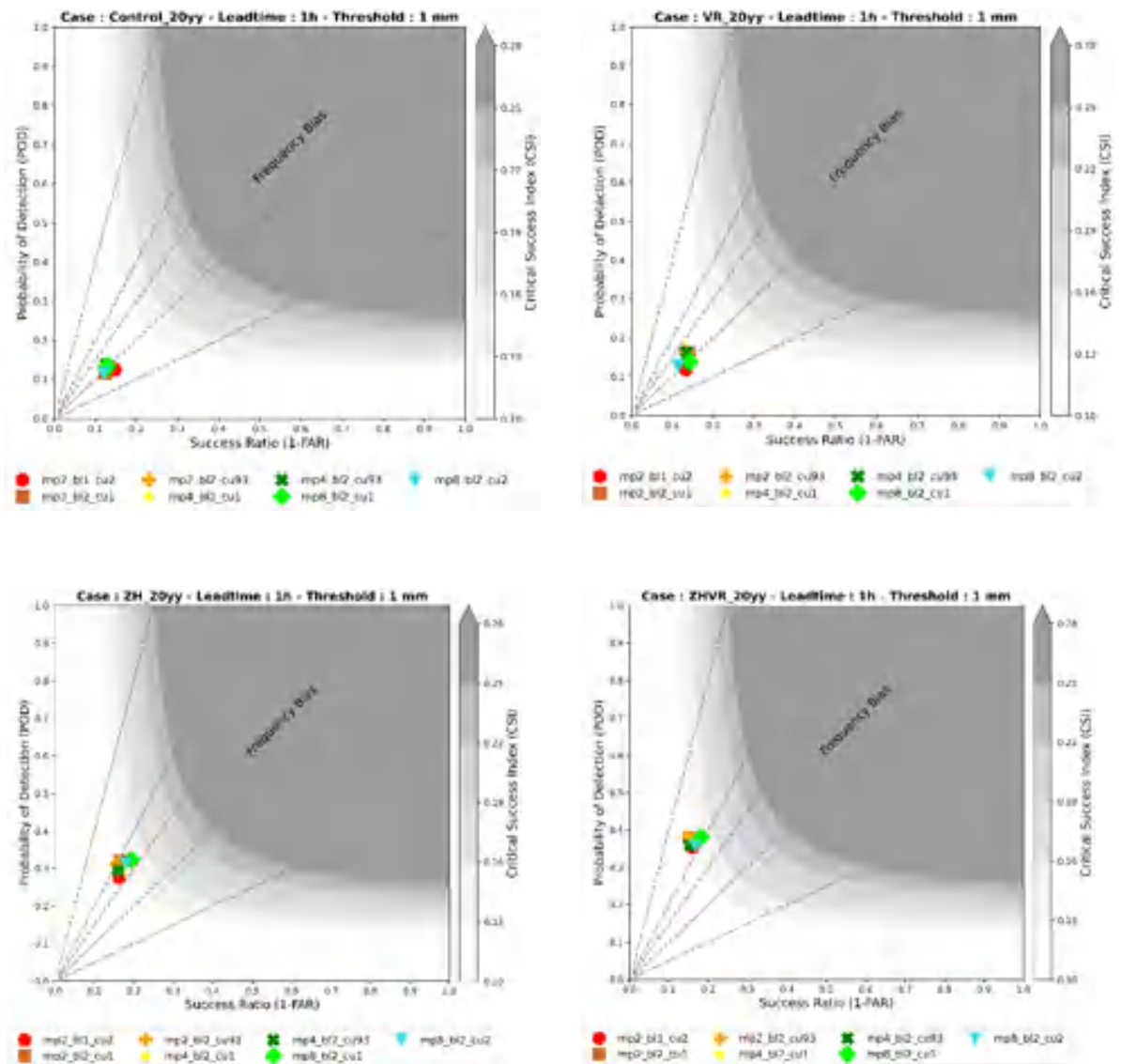
3.2.3.1 Hạn dự báo 1h

Hình 3.11-3.14 cho thấy với hạn dự báo 1h, ở ngưỡng có mưa phương án đồng hóa tổ hợp ZHVR cho kết quả dự báo tốt nhất với điểm số POD khoảng 0,7, 1-FAR ~0,3 và CSI ~0,25, sau đó đến phương án đồng hóa ZH với các điểm số kém hơn không đáng kể. Kỹ năng dự báo các ngưỡng mưa vừa, mưa to và rất to của hai phương án ZH và ZHVR giảm nhưng vẫn có những kỹ năng hơn hẳn hai phương án còn lại và vẫn có tính dự báo được trong thực tế. Với hạn 1h thì 2 cấu hình kết hợp sơ đồ tham số hóa **Kain-Fritsch loại 3 + New Thompson + Mellor-Yamada-Janjic; Betts-Miller-Janjic + New Thompson + Mellor-Yamada-Janjic** (KF3_THP_MYJ-mp8_bl2_cu1; BMJ_THP_MYJ-mp8_bl2_cu2) cho thấy có kỹ năng dự báo tốt hơn các cấu hình kết hợp sơ đồ tham số hóa còn lại.

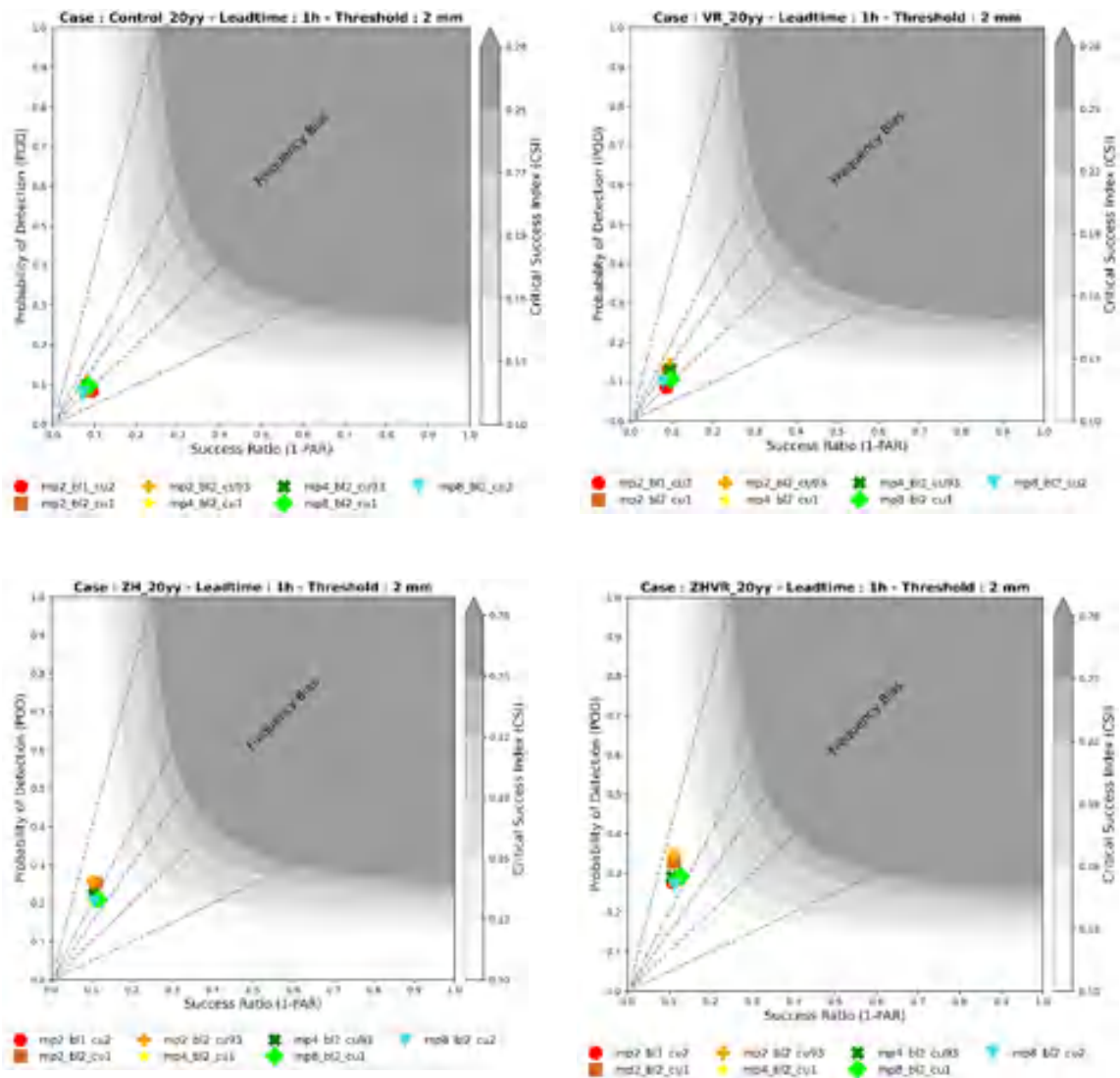
Phương án đồng hóa VR cho thấy kỹ năng dự báo thấp hơn hẳn so với hai phương án trên ở ngưỡng có mưa, kỹ năng dự báo chỉ bằng khoảng một nửa so với hai phương án còn lại; phương án không đồng hóa CTL cho kỹ năng dự báo kém nhất. Hai phương án VR và CTL cũng cho thấy không có tổ hợp nào nổi trội hơn trong 7 cấu hình kết hợp sơ đồ tham số hóa, đối với các ngưỡng mưa vừa trở lên kỹ năng dự báo gần như không có (CSI nhỏ hơn 0,1, POD nhỏ hơn 0,2 và FAR ~1,0).



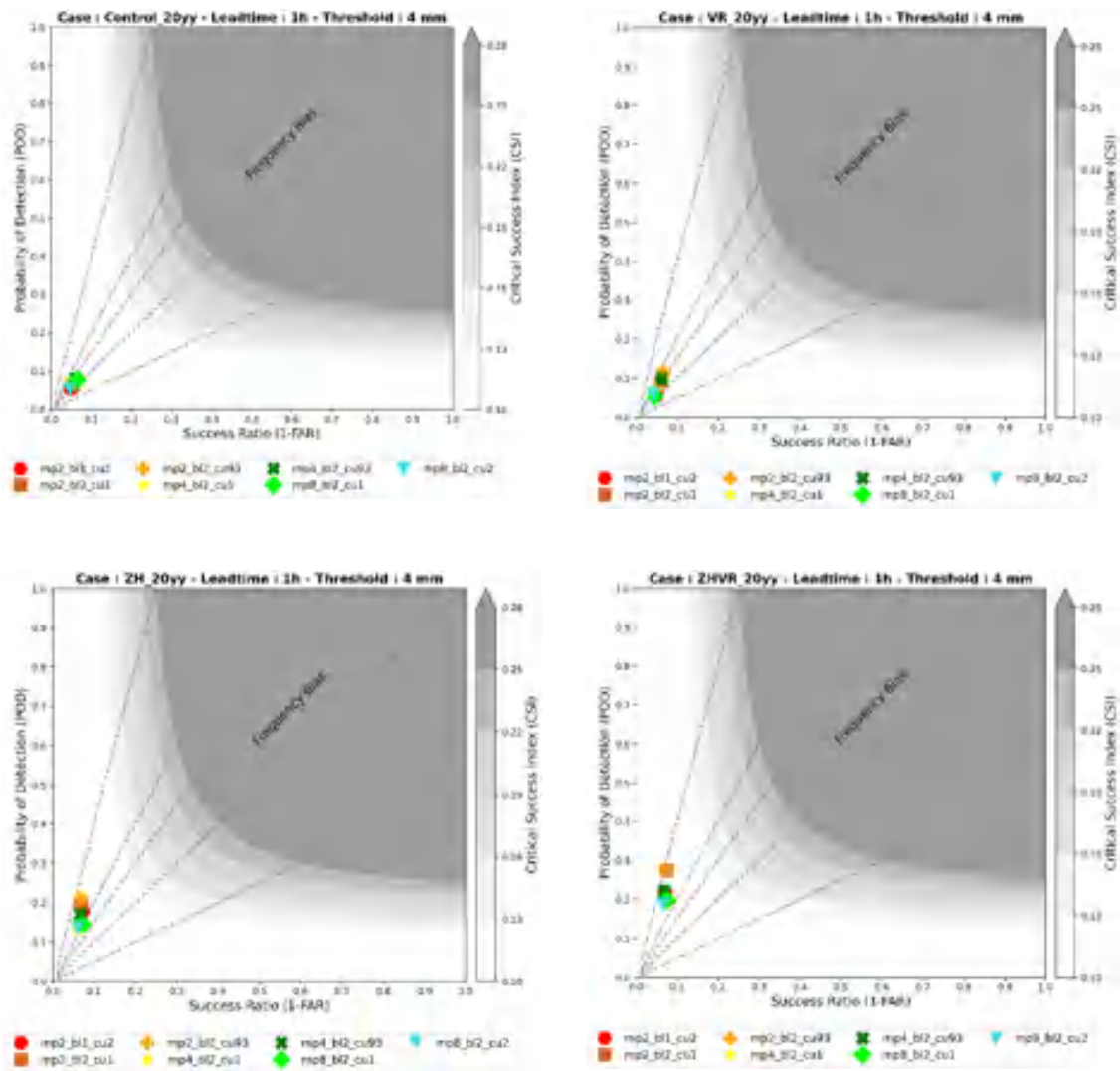
Hình 3. 11. Giảm độ hiệu suất đối với trường hợp không đồng hóa (trái trên), đồng hóa VR (phải trên), ZH (trái dưới) và đồng hóa kết hợp ZHVR (phải dưới) dự báo mưa tích lũy 1 h của 7 cấu hình kết hợp tham số hóa vật lý khác nhau với các hạn dự báo 1 h và ngưỡng mưa 0.1mm/h (2,4mm/ngày ~có mưa)



Hình 3. 12. Giảm đồ hiệu suất đối với trường hợp không đồng hóa (trái trên), đồng hóa VR (phải trên), ZH (trái dưới) và đồng hóa kết hợp ZHVR (phải dưới) dự báo mưa tích lũy 1h của 7 cấu hình kết hợp sơ đồ tham số với hạn dự báo 1h và ngưỡng mưa 1mm/h (24mm/ngày ~mưa vừa)



Hình 3. 13. Giảm độ hiệu suất đối với trường hợp không đồng hóa (trái trên), đồng hóa VR (phải trên), ZH (trái dưới) và đồng hóa kết hợp ZHVR (phải dưới) dự báo mưa tích lũy 1h của 7 cấu hình kết hợp sơ đồ tham số với hạn dự báo 1h và ngưỡng mưa 2mm/h (48mm/ngày ~mưa to)



Hình 3. 14. Giản đồ hiệu suất đối với trường hợp không đồng hóa (trái trên), đồng hóa VR (phải trên), ZH (trái dưới) và đồng hóa kết hợp ZHVR (phải dưới) dự báo mưa tích lũy 1h của 7 cấu hình kết hợp sơ đồ tham số với hạn dự báo 1h và ngưỡng mưa 4mm/h (96mm/ngày ~mưa rất to)

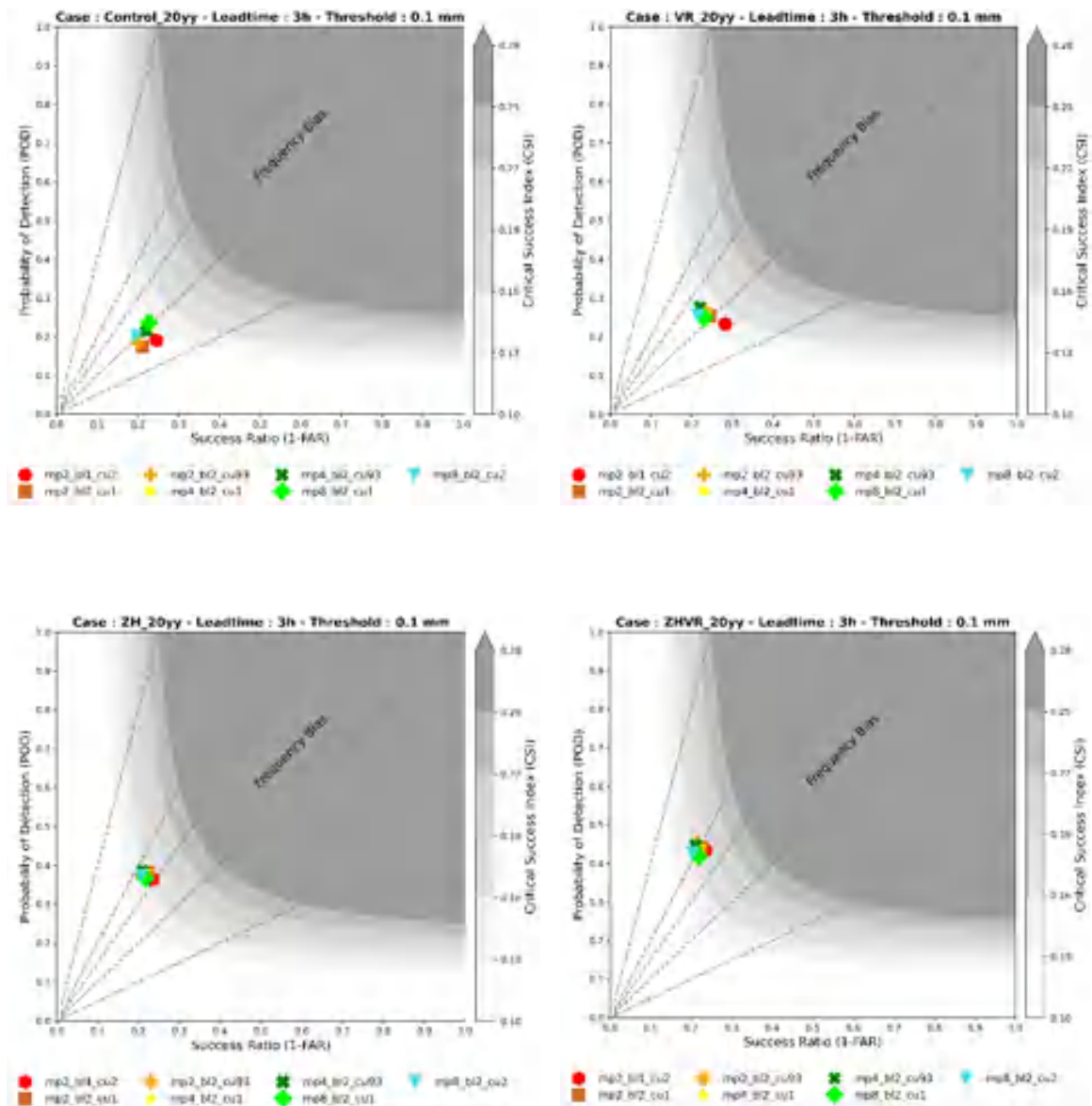
Như đã nói ở trên, các đợt mưa lớn tại TP. HCM và Nam Bộ chủ yếu do ảnh hưởng của gió mùa Tây Nam cùng với nhiễu động của rãnh thấp, mưa với chu trình ngày đêm rõ ràng, tập trung vào chiều tối với quy mô đối lưu vài km. Sơ đồ vi vật lý mây New Thompson là một trong những sơ đồ được sử dụng trong mô hình WRF mô tả quá trình tương tác giữa mây và khí quyển phục vụ dự báo mưa. Các nghiên cứu đã chỉ ra việc cập nhật dữ liệu 1 giờ cho mô hình WRF tốt hơn khá nhiều so với 3 giờ

và 6 giờ trong trường hợp sử dụng các sơ đồ New Thompson không chỉ cho vùng nhiệt đới, ngoại nhiệt đới mà đối với các xoáy quy mô vừa (bão, ATNĐ), kết hợp với sơ đồ KF3 cho đối lưu [80] và lớp biên hành tinh Mellor-Yamada-Janjic [51, 72, 80]

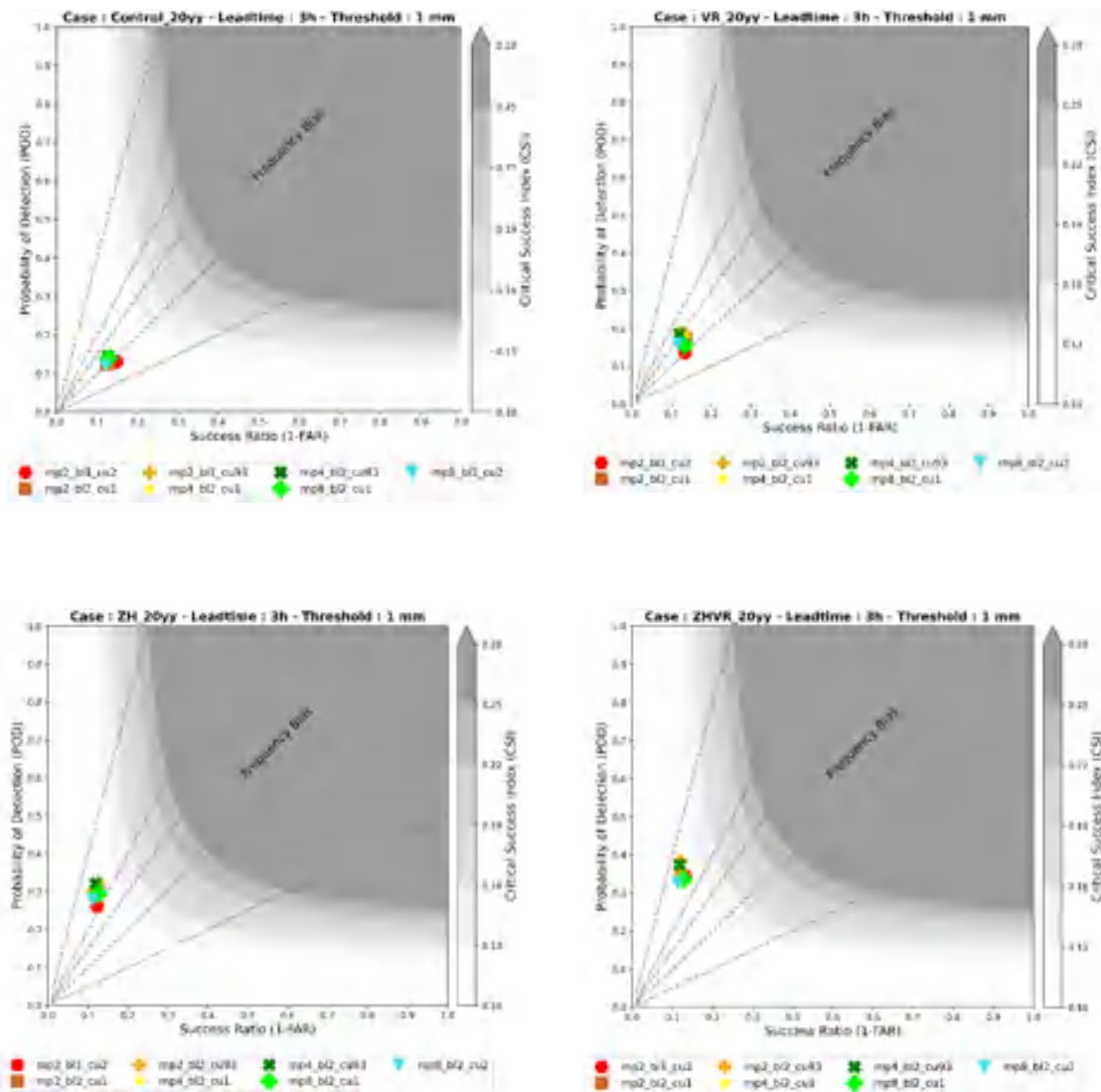
Đối với hạn dự báo 1h thì hệ thống HCM-RAP cho kỹ năng dự báo rất tốt so với dự báo ngưỡng có mưa, khá tốt với ngưỡng mưa vừa và không được tốt đối với mưa to và rất to. Tuy kỹ năng dự báo của hai phương án ZH và tổ hợp giảm đi nhanh nhưng vẫn có những kỹ năng nhất định và nhỉnh hơn hai phương án không đồng hóa và đồng hóa VR. Cụ thể tại hạn 1h này thì thấy rằng 2 cấu hình kết hợp sơ đồ tham số **Kain-Fritsch loại 3 + New Thompson + Mellor-Yamada-Janjic; Betts-Miller-Janjic + New Thompson + Mellor-Yamada-Janjic** cho thấy có kỹ năng hơn so với các trường hợp kết hợp cấu hình còn lại. Các sự kết hợp này cũng rất phù hợp với các nhận định về hiệu quả của việc cập nhật dữ liệu 1 giờ tốt hơn 3 giờ, 6 giờ trong dự báo mưa hạn cực ngắn, đặc biệt khi đồng hóa có sự tham gia của số liệu phản hồi và gió xuyên tâm ra-đà.

3.2.3.2 Hạn dự báo 3h

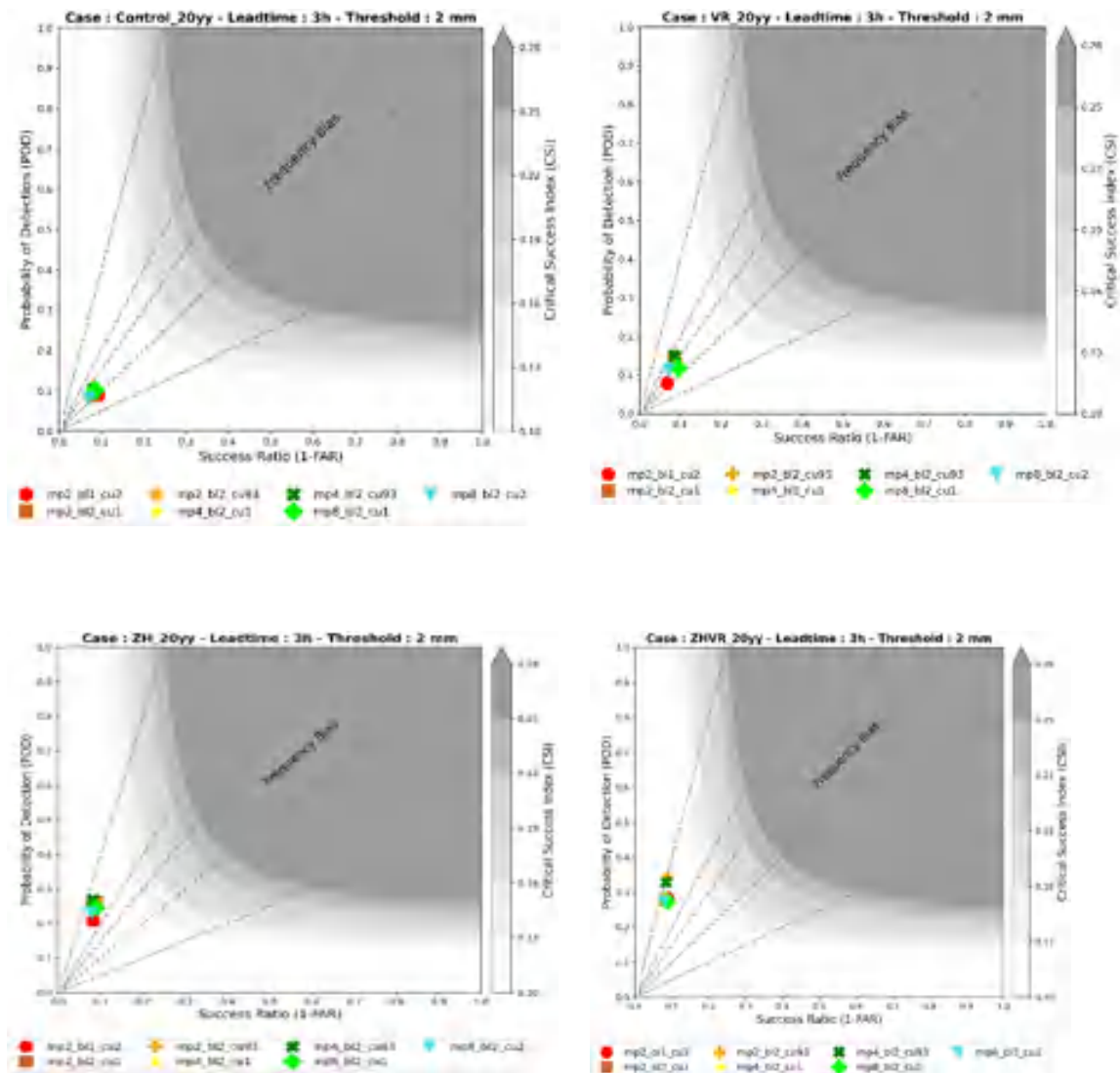
Tương tự đối với hạn 1h, Hình 3.15-3.18 cũng cho xu thế tương tự về kỹ năng dự báo của 4 phương án thử nghiệm đối với 7 cấu hình kết hợp sơ đồ tham số, tuy nhiên điểm kỹ năng thấp hơn so với hạn 1h. Cụ thể, phương án đồng hóa ZHVR cho kết quả dự báo tốt nhất với điểm số POD khoảng 0,45, 1-FAR ~0,2 và CSI ~0,20, sau đó là phương án ZH với các điểm số kém hơn không đáng kể. Ở các ngưỡng mưa vừa, mưa to, rất to kỹ năng dự báo của hai phương án ZH và ZHVR giảm đi nhanh nhưng vẫn có kỹ năng nhất định. Phương án đồng hóa VR thì kỹ năng dự báo thấp hơn hẳn so với hai phương án trên ở ngưỡng có mưa, kỹ năng dự báo chỉ bằng khoảng một nửa so với hai phương án còn lại. Tương tự, đối với phương án không đồng hóa, cho kỹ năng dự báo kém nhất. Hai phương án VR và CTL cũng cho thấy không có tổ hợp nào nổi trội hơn trong 7 cấu hình kết hợp. Đối với các ngưỡng mưa vừa trở lên, kỹ năng dự báo gần như không có (CSI nhỏ hơn 0,1, POD nhỏ hơn 0,2 và FAR ~0,8-0,9).



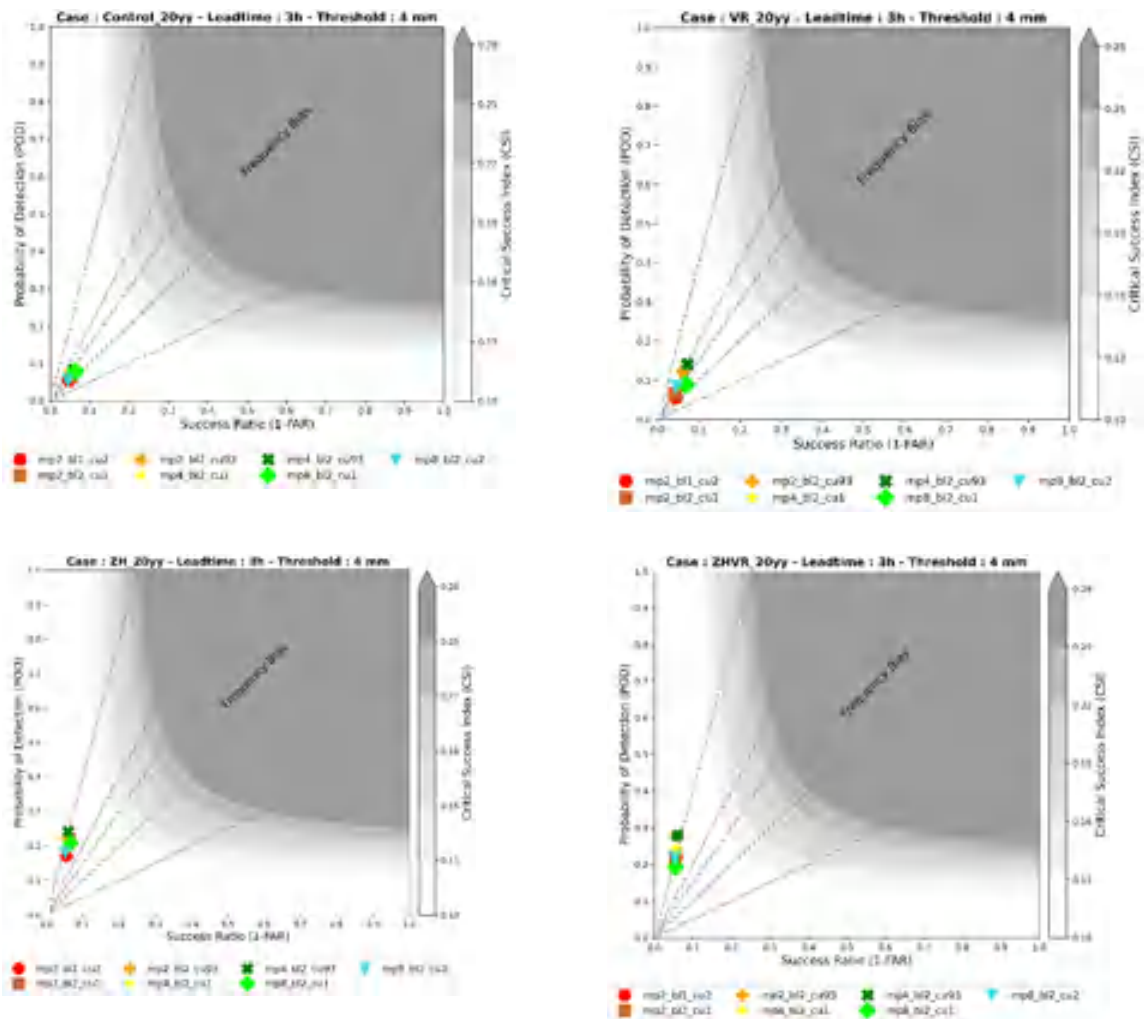
Hình 3. 15. Giảm độ hiệu suất đối với trường hợp không đồng hóa (trái trên), đồng hóa VR (phải trên), ZH (trái dưới) và đồng hóa kết hợp ZHVR (phải dưới) dự báo mưa tích lũy 1h của 7 cấu hình kết hợp sơ đồ tham số với hạn dự báo 3h và ngưỡng mưa 0.1mm/h (2,4mm/ngày ~có mưa)



Hình 3. 16. Giảm đồ hiệu suất đối với trường hợp không đồng hóa (trái trên), đồng hóa VR (phải trên), ZH (trái dưới) và đồng hóa kết hợp ZHVR (phải dưới) dự báo mưa tích lũy 1h của 7 cấu hình kết hợp sơ đồ tham số với hạn dự báo 3h và ngưỡng mưa 1mm/h (24mm/ngày ~mưa vừa)



Hình 3. 17. Giảm độ hiệu suất đối với trường hợp không đồng hóa (trái trên), đồng hóa VR (phải trên), ZH (trái dưới) và đồng hóa kết hợp ZHVR (phải dưới) dự báo mưa tích lũy 1h của 7 cấu hình kết hợp sơ đồ tham số với hạn dự báo 3h và ngưỡng mưa 2mm/h (48mm/ngày ~mưa to)

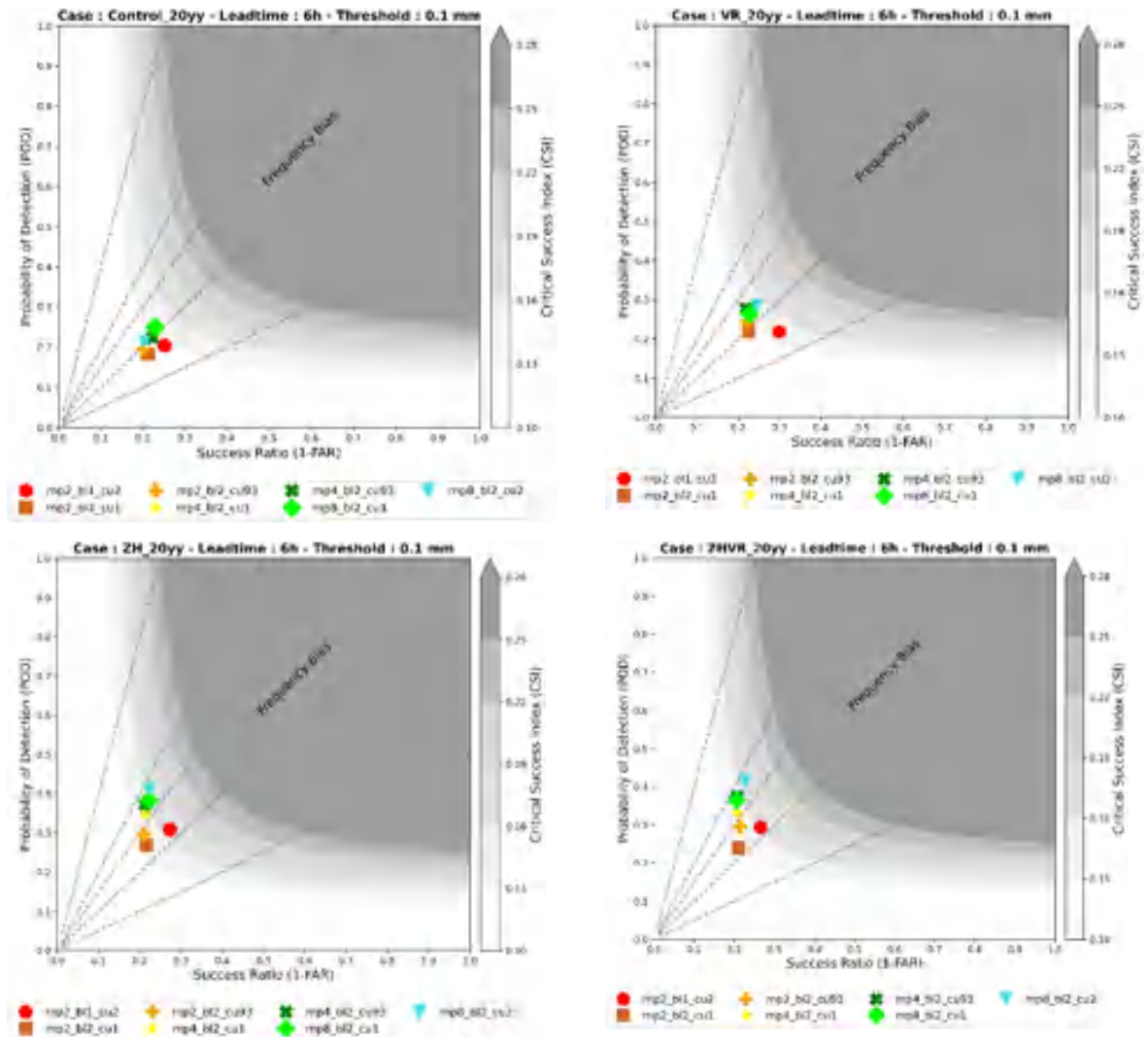


Hình 3. 18. Giảm đồ hiệu suất đối với trường hợp không đồng hóa (trái trên), đồng hóa VR (phải trên), ZH (trái dưới) và đồng hóa kết hợp ZHVR (phải dưới) dự báo mưa tích lũy 1h của 7 cấu hình kết hợp sơ đồ tham số với hạn dự báo 3h và ngưỡng mưa 4mm/h (96mm/ngày ~mưa rất to)

Đối với hạn 3h, kết quả không có nhiều sai khác giữa các trường hợp kết hợp cấu hình, tuy nhiên vẫn cùng xu thế như hạn 1h với kết quả đồng hóa ZHVR và ZH tốt hơn so VR và CTL. Cấu hình kết hợp sơ đồ **Betts–Miller–Janjic + New Thompson + Mellor–Yamada–Janjic** cho thấy có kỹ năng hơn các cấu hình kết hợp còn lại, kết hợp **Kain–Fritsch loại 3 + New Thompson + Mellor–Yamada–Janjic** ngang bằng với các sự kết hợp khác.

3.2.3.3 Hạn dự báo 6h

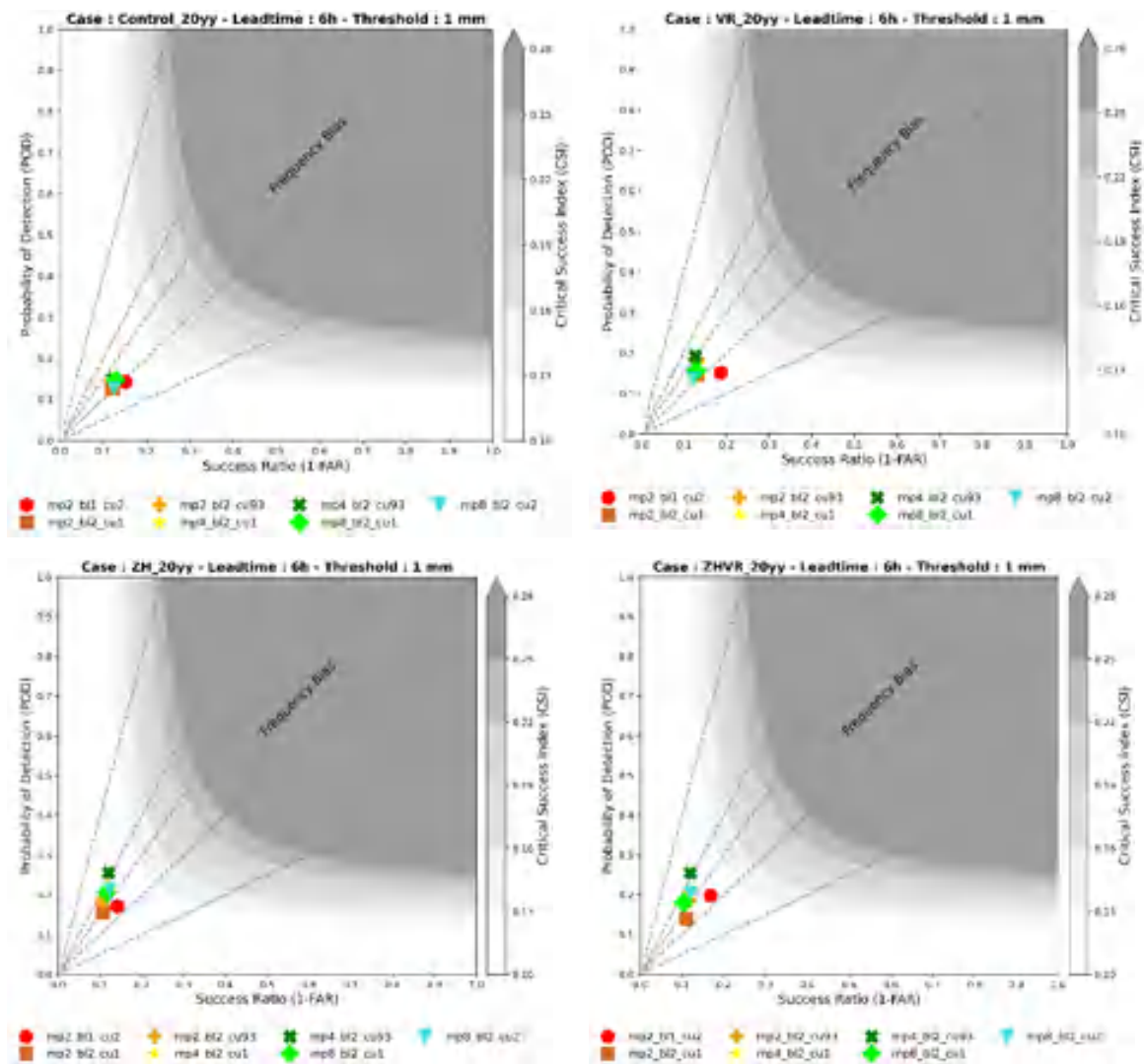
Tương tự như đối với hạn 1h và 3h Hình 3.19, 3.22, hạn 6h cũng cho xu thế tương tự về kỹ năng dự báo của 4 phương án thử nghiệm đối với 7 cấu hình kết hợp sơ đồ tham số, tuy nhiên điểm kỹ năng có thấp hơn hẳn so với hạn 1h, 3h.



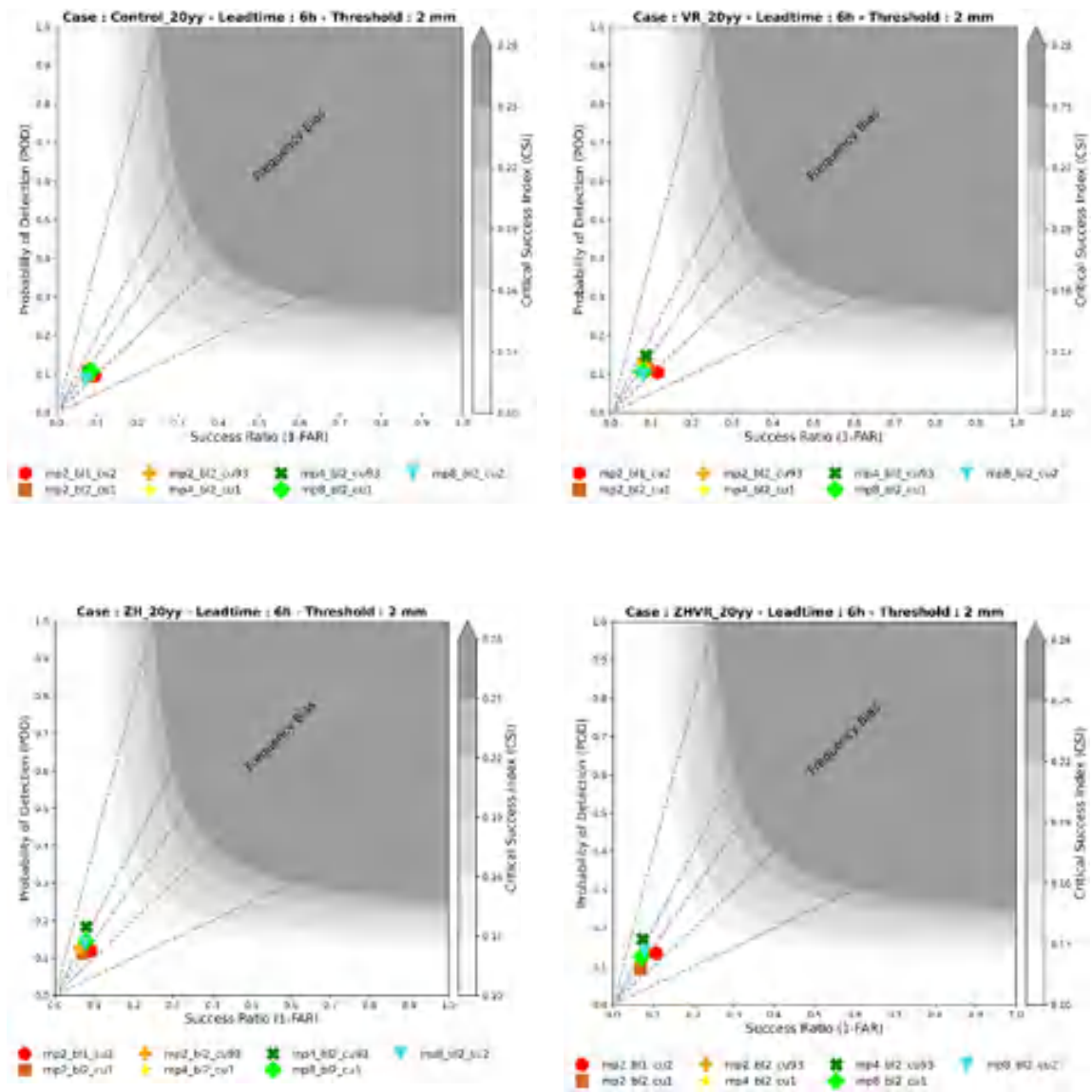
Hình 3. 19. Giảm đồ hiệu suất đối với trường hợp không đồng hóa (trái trên), đồng hóa VR (phải trên), ZH (trái dưới) và đồng hóa kết hợp ZHVR (phải dưới) dự báo mưa tích lũy 1h của 7 cấu hình kết hợp sơ đồ tham số với hạn dự báo 6h và ngưỡng mưa 0.1mm/h (2,4mm/ngày ~có mưa)

Cụ thể, phương án đồng hóa tổ hợp ZHVR cho kết quả dự báo tốt nhất với điểm số POD khoảng 0,4, 1-FAR ~0,2 và CSI ~0,15, sau đó đến phương án ZH với các điểm số kém hơn không đáng kể. Các ngưỡng mưa vừa, mưa to và rất to, kỹ năng dự

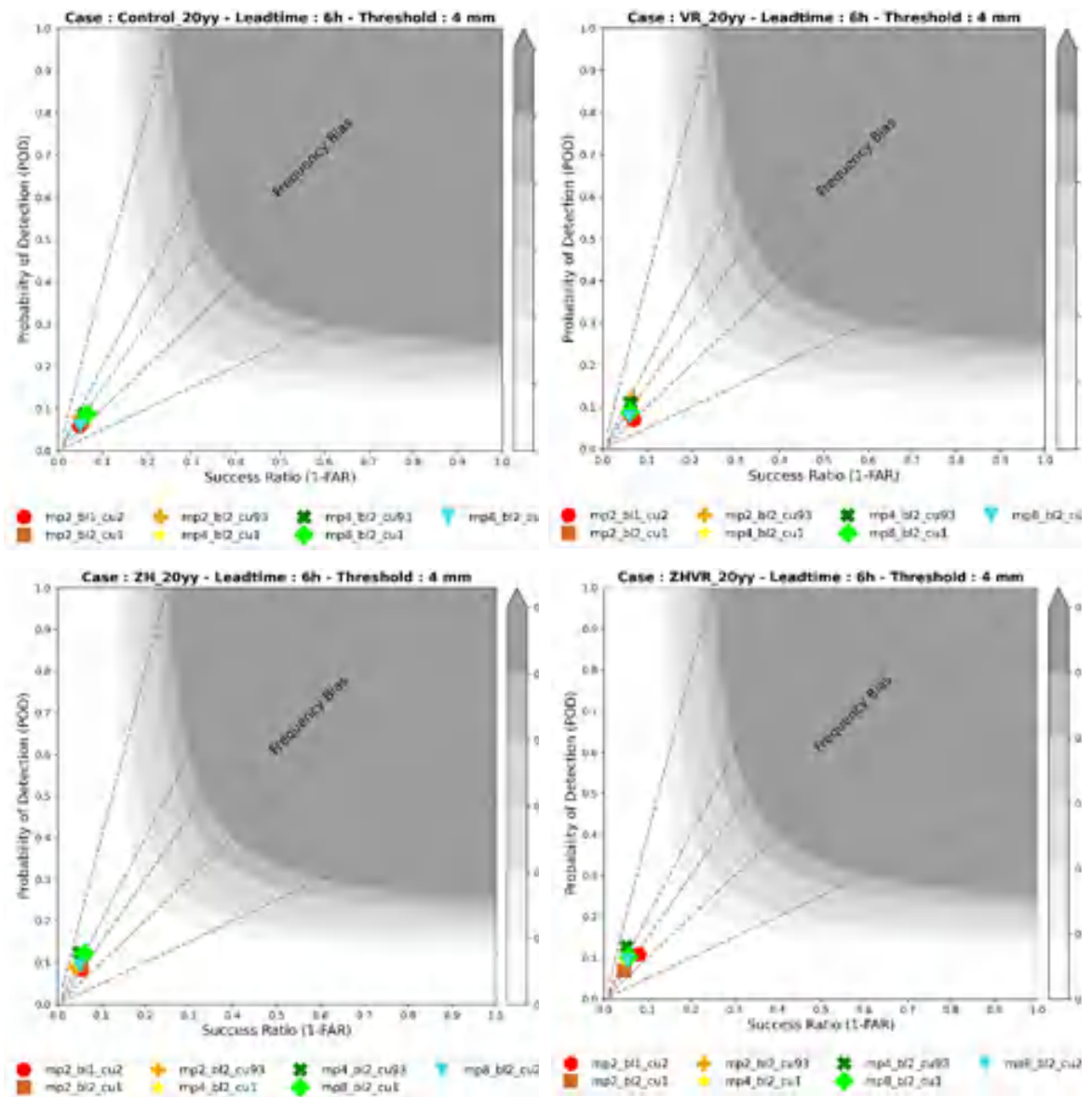
báo của hai phương án ZH và tổ hợp giảm nhưng vẫn có những kỹ năng nhất định. Tuy nhiên phương án đồng hóa VR thì kỹ năng dự báo thấp hơn hẳn so với hai phương án trên ở ngưỡng có mưa, kỹ năng dự báo chỉ bằng khoảng một nửa so với hai phương án còn lại. Phương án không đồng hóa cho kỹ năng dự báo kém nhất. Hai phương án VR và CTL cũng cho thấy không có sự nổi trội trong 7 cấu hình kết hợp. Đối với các ngưỡng mưa vừa trở lên kỹ năng dự báo gần như không có (CSI nhỏ hơn 0.1, POD nhỏ hơn 0.2 và FAR ~0.8-0.9).



Hình 3. 20. Giảm đồ hiệu suất đối với trường hợp không đồng hóa (trái trên), đồng hóa VR (phải trên), ZH (trái dưới) và đồng hóa kết hợp ZHVR (phải dưới) dự báo mưa tích lũy 1h của 7 cấu hình kết hợp sơ đồ tham số với hạn dự báo 6h và ngưỡng mưa 1mm/h (24mm/ngày ~mưa vừa)



Hình 3. 21. Giảm độ hiệu suất đối với trường hợp không đồng hóa (trái trên), đồng hóa VR (phải trên), ZH (trái dưới) và đồng hóa kết hợp ZHVR (phải dưới) dự báo mưa tích lũy 1h của 7 cấu hình kết hợp sơ đồ tham số với hạn dự báo 6h và ngưỡng mưa 2mm/h (48mm/ngày ~mưa to)



Hình 3. 22. Giảm độ hiệu suất đối với trường hợp không đồng hóa (trái trên), đồng hóa VR (phải trên), ZH (trái dưới) và đồng hóa kết hợp ZHVR (phải dưới) dự báo mưa tích lũy 1h của 7 cấu hình kết hợp sơ đồ tham số với hạn dự báo 6h và ngưỡng mưa 4mm/h (96mm/ngày ~mưa rất to)

Đối với hạn dự báo 6h thì hệ thống HCM-RAP cho kỹ năng dự báo rất tốt so với dự báo ngưỡng có mưa, khá tốt với ngưỡng mưa vừa và không được tốt đối với mưa to và rất to. Kết quả cho thấy rằng 2 cấu hình kết hợp **Kain–Fritsch loại 3 + New Thompson + Mellor–Yamada–Janjic; Betts–Miller–Janjic + New Thompson + Mellor–Yamada–Janjic** cho kỹ năng dự báo tốt hơn các cấu hình kết hợp còn lại.

3.2.4 Lựa chọn cấu hình kết hợp sơ đồ tham số hóa phù hợp cho hệ thống HCM-RAP trong dự báo hạn mưa định lượng hạn cực ngắn

Theo như phân tích tại Mục 3.2.1, kết quả thử nghiệm với 7 cấu hình kết hợp đa vật lý khác nhau trong HCM-RAP: Kain–Fritsch loại 3 + Lin + Mellor–Yamada–Janjic; Grell–Devenyi + Lin + Mellor–Yamada–Janjic; Kain–Fritsch loại 3 + WSM5 + Mellor–Yamada–Janjic; Grell–Devenyi + WSM5 + Mellor–Yamada–Janjic; Kain–Fritsch loại 3 + New Thompson + Mellor–Yamada–Janjic; Betts–Miller–Janjic + New Thompson + Mellor–Yamada–Janjic nhằm cập nhật nhanh dữ liệu ra-đa dự báo mưa định lượng hạn cực ngắn (0-6h) cho thấy rằng: Phương án đồng hóa ZHVR cho kết quả dự báo tốt nhất, sau đó đến phương án ZH với các điểm số kém hơn ZHVR không đáng kể. Các ngưỡng mưa vừa, mưa to, rất to kỹ năng dự báo của hai phương án ZH và ZHVR giảm đi nhanh nhưng vẫn có những kỹ năng nhất định. Tuy nhiên phương án đồng hóa VR thì kỹ năng dự báo thấp hơn hẳn so với hai phương án trên ở ngưỡng có mưa, kỹ năng dự báo chỉ bằng khoảng một nửa so với hai phương án còn lại. Phương án không đồng hóa cho kỹ năng dự báo kém nhất. Hai phương án VR và CTL cũng cho thấy không có sự nổi trội nào trong số 7 cấu hình kết hợp, đối với các ngưỡng mưa vừa trở lên kỹ năng dự báo gần như không có. Trong đó 2 cấu hình kết hợp **Kain–Fritsch loại 3 + New Thompson + Mellor–Yamada–Janjic; Betts–Miller–Janjic + New Thompson + Mellor–Yamada** với đồng hóa tổ hợp ZHVR và ZH cho thấy có kỹ năng tốt hơn các cấu hình kết hợp còn lại.

Kết quả này đã trả lời được 2 câu hỏi nghiên cứu đầu tiên là: (1) Đồng hóa số liệu độ phân hồi và tốc độ gió xuyên tâm ra-đa cập nhật HCM-RAP cải thiện rõ rệt việc dự báo định lượng mưa hạn cực ngắn (1-6h) cho khu vực nhỏ như TP.HCM; (2) Cấu hình kết hợp tham số hóa **Kain–Fritsch loại 3 + New Thompson + Mellor–Yamada–Janjic và Betts–Miller–Janjic + New Thompson + Mellor–Yamada** là hai cấu hình kết hợp tối ưu nhất cho hệ thống HCM-RAP trong việc nâng cao độ chính xác dự báo mưa hạn cực ngắn (1-6h) cho khu vực TP.HCM so với không đồng hóa.

Đồng thời kết quả này cũng cho thấy sự hoàn thành mục tiêu thứ nhất của Luận án, đó là xác định bộ tham số tối ưu cho hệ thống đồng hóa ra-đa cập nhật nhanh cho hệ thống HCM-RAP trong việc cải thiện chất lượng dự báo mưa định lượng hạn cực ngắn (1-6h) khu vực TP.HCM.

Các kết quả này cũng chính là một trong những đóng góp mới của Luận án, đó là *xác định được bộ tham số hoá vật lý phù hợp cho hệ thống HCM-RAP ứng dụng trong dự báo định lượng hạn cực ngắn (1-6h) cho khu vực TP.HCM theo phương pháp đồng hóa cập nhật nhanh từng giờ ra-đa cho mô hình WRF.*

Tiểu kết Chương 3

Trong Chương 3, Nghiên cứu sinh đã xây dựng, thử nghiệm hệ thống đồng hóa cập nhật nhanh HCM-RAP dự báo mưa định lượng hạn cực ngắn(1-6h) cho khu vực TP.HCM. Số liệu ra-đa được xử lý và đồng hóa số (độ phản hồi, tốc độ gió xuyên tâm) từng giờ với tần suất quan trắc ra-đa 10 phút với 7 cấu hình kết hợp sơ đồ tham số hóa vật lý khác nhau theo 4 phương đồng hóa CTL, VR, ZH, ZHVR cho 15 đợt mưa trong 3 năm 2019-2021.

Đã phân tích, đánh giá kỹ năng dự báo của các trường hợp kết hợp cấu hình khác nhau cho hệ thống HCM-RAP theo phân bố không gian và tần suất các ngưỡng mưa theo ở từng hạn dự báo. Đã xác định được bộ tham số vật lý phù hợp cho hệ thống HCM-RAP ứng dụng trong dự báo định lượng hạn cực ngắn (1-6h) cho khu vực TP.HCM theo phương pháp đồng hóa cập nhật nhanh từng giờ ra-đa từ 7 cấu hình kết hợp: Kain-Fritsch loại 3 + New Thompson + Mellor-Yamada-Janjic và Betts-Miller-Janjic + New Thompson + Mellor-Yamada.

CHƯƠNG 4. VAI TRÒ CỦA ĐỒNG HÓA SỐ LIỆU RA-ĐA TRONG DỰ BÁO MƯA ĐỊNH LƯỢNG HẠN CỰC NGẮN CHO KHU VỰC THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH

Trong Chương 3 ở trên đã trả lời được hai câu hỏi nghiên cứu đầu tiên và mục tiêu thứ nhất cũng như đóng góp mới số 1 của Luận án. Mục 4.1 này sẽ tiếp tục trả lời cho hai câu hỏi nghiên cứu còn lại: (3) Đóng góp và vai trò từng thành phần của số liệu ra-đa, gồm: độ phản hồi và tốc độ gió xuyên tâm khi đồng hóa cập nhật nhanh đến kỹ năng dự báo đối với dự báo hạn cực ngắn và các ngưỡng mưa khác nhau như thế nào? (4) Đồng hóa số liệu ra-đa cập nhật nhanh cho mô hình WRF có thể cải thiện chất lượng dự báo mưa định lượng hạn cực ngắn (1-6h) cho khu vực TP.HCM?

Mục 4.1 này cũng đồng thời giúp hoàn thành mục tiêu thứ 2 là việc cải thiện chất lượng dự báo và xác định được mức độ đóng góp cụ thể của độ phản hồi, tốc độ gió xuyên tâm đến độ chính xác của dự báo mưa tại các hạn dự báo 1h, 3h, 6h và các ngưỡng mưa khác nhau cho khu vực TP.HCM trên cơ sở đồng hóa số liệu số liệu ra-đa cập nhật nhanh cho mô hình WRF.

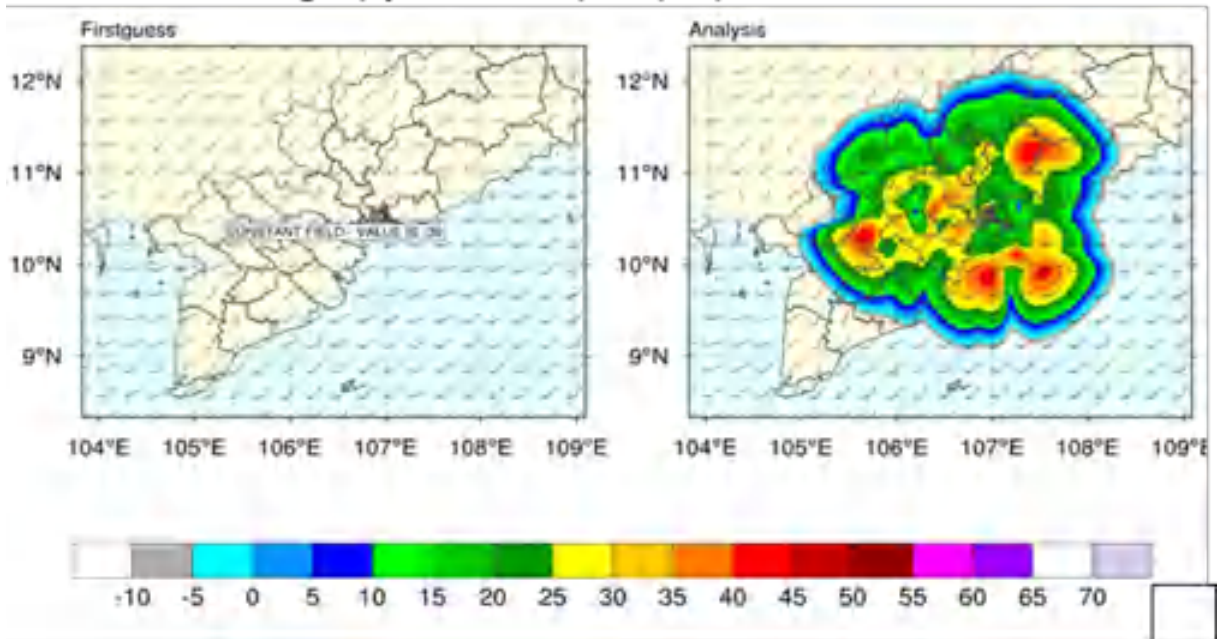
Trong Chương 4 này 2 phương án vật lý tốt nhất được lựa chọn ở mục 3.2.4 sẽ được sử dụng trong phân tích đánh giá.

4.1 Vai trò và ảnh hưởng số liệu ra-đa trong đồng hóa cập nhật nhanh cho mô hình WRF dự báo mưa hạn cực ngắn khu vực TP.HCM

4.1.1 So sánh trường ban đầu giữa đồng hóa và không đồng hóa cập nhật nhanh

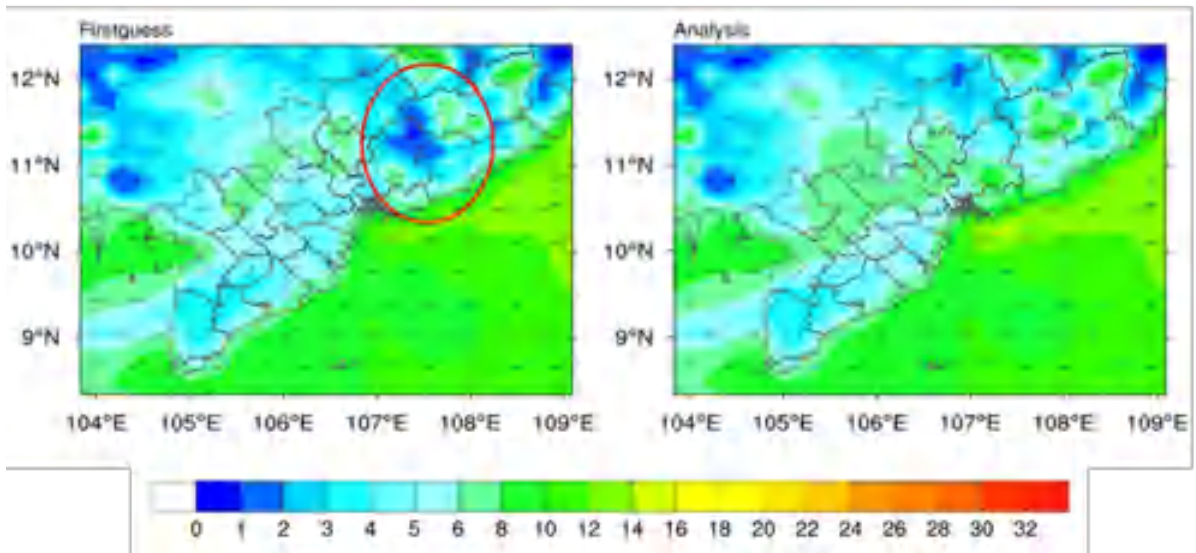
Hình 4.1 so sánh sự sai khác độ phản hồi giữa đồng hóa độ phản hồi ZH (phải) với không đồng hóa (trái) tại thời điểm ban đầu 2019090400Z đối với miền 1. Kết quả cho thấy tại thời điểm ban đầu không đồng hóa, độ phản hồi cực đại là mặc định của mô hình (-30 Dbz), trong khi đó đồng hóa ZH cho thấy số liệu độ phản hồi làm thay đổi rõ rệt (đạt tối đa có thể lên đến 35-40 Dbz trường độ phản hồi). Do vậy, trường ban đầu thay đổi sẽ làm thay đổi kết quả dự báo mưa trong thời gian tích phân sau đó, ảnh hưởng đến chất lượng dự báo mưa hạn ngắn, thực tế là được cải thiện hơn hẳn so với không đồng hóa, cụ thể được trình bày trong tiếp theo 4.1.2.

Trường độ phản hồi cực đại tại thời điểm ban đầu



Hình 4. 1. So sánh sự sai khác độ phản hồi giữa đồng hóa độ phản hồi ZH (phải) với không đồng hóa (trái) tại thời điểm ban đầu 2019090400Z đối với miền 1

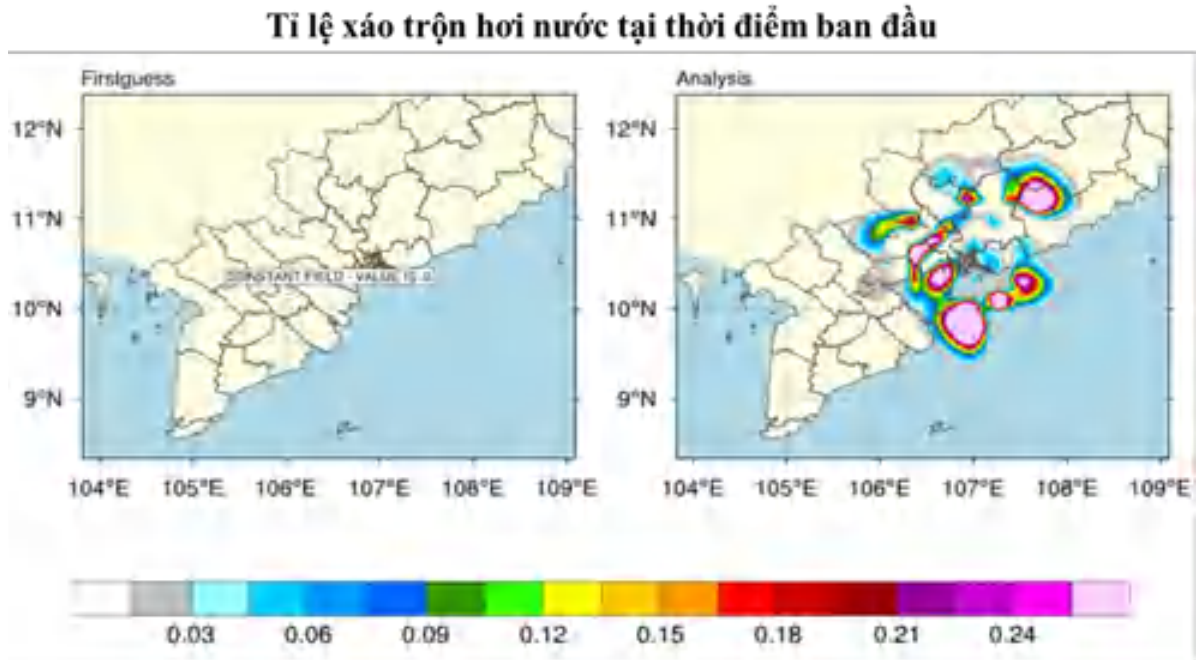
Trường gió đại tại thời điểm ban đầu



Hình 4. 2. So sánh sự sai khác tốc độ gió (đổ màu), hướng gió (cán gió) mực 10m giữa đồng hóa gió xuyên tâm VR (phải) với không đồng hóa (trái) tại thời điểm ban đầu 2019090400Z đối với miền 1

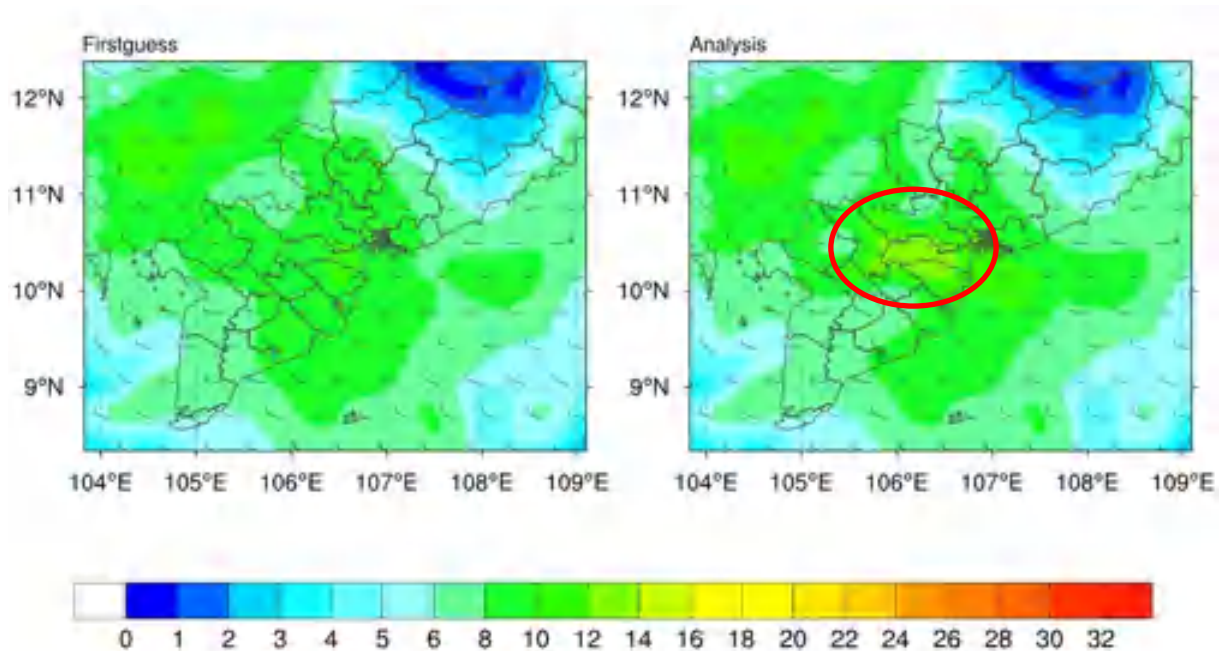
Tương tự như hình 4.1, Hình 4.2, so với không đồng hóa, trường gió tại thời điểm ban đầu có đồng hóa gió xuyên tâm thay đổi rõ rệt, tốc độ gió bề mặt mạnh hơn

hẳn trong vùng bán kính quét gió đốp-lơ. Cụ thể, tại khu vực vòng tròn khoanh đỏ khi không đồng hóa gió bề mặt đạt 1-2m/s, khi có đồng hóa đã cải thiện đạt 5-6m/s.



Hình 4. 3. So sánh sự sai khác tỉ lệ xáo trộn hơi nước (g/kg) giữa đồng hóa kết hợp độ phản hồi, gió xuyên tâm ZHVR (phải) với không đồng hóa (trái) tại thời điểm ban đầu 2019090400Z đối với miền 1

Đối với phương án đồng hóa cả độ phản hồi và gió xuyên tâm, kết quả không chỉ thay đổi trường độ phản hồi và trường gió tại thời điểm ban đầu như trình bày ở trên mà tỉ lệ xáo trộn hơi nước (hình 4.3) và gió ở các mực độ cao cũng khác nhau (hình 4.4). Hình 4.3 thấy đồng hóa cả hai yếu tố, mà đóng góp chính từ độ phản hồi đã làm thay đổi tỉ lệ xáo trộn hơi nước, đạt trên 0,2 g/kg trong khi không đồng hóa tại điểm ban đầu bằng không. Hình 4.4 cho thấy gió thay đổi ở tất cả các mực độ cao khi có sự đóng góp của gió xuyên tâm, đạt 14-16 m/s tại mực độ cao thứ 25 của mô hình trong khi không đồng hóa đạt khoảng 8-10m/s tại thời điểm ban đầu. Như vậy, khi đồng hóa trường ban đầu thay đổi sẽ làm thay đổi kết quả dự báo mưa trong thời gian tích phân sau đó, ảnh hưởng đến chất lượng dự báo mưa hạn ngắn, thực tế là được cải thiện hơn hẳn so với không đồng hóa.

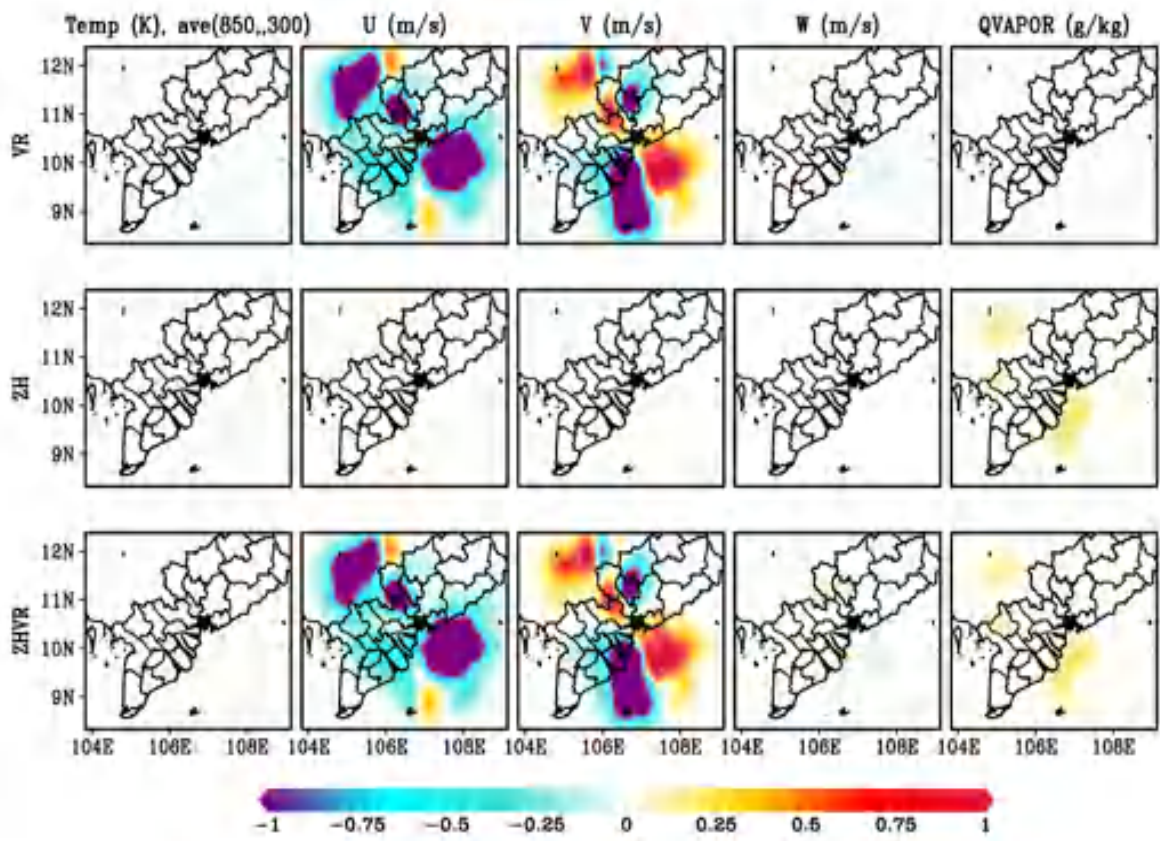


Hình 4. 4. So sánh sự sai khác tốc độ gió (đổ màu), hướng gió (cán gió) mực thứ 25 trong mô hình giữa đồng hóa gió xuyên tâm VR (phải) với không đồng hóa (trái) tại thời điểm ban đầu 2019090400Z đối với miền 1

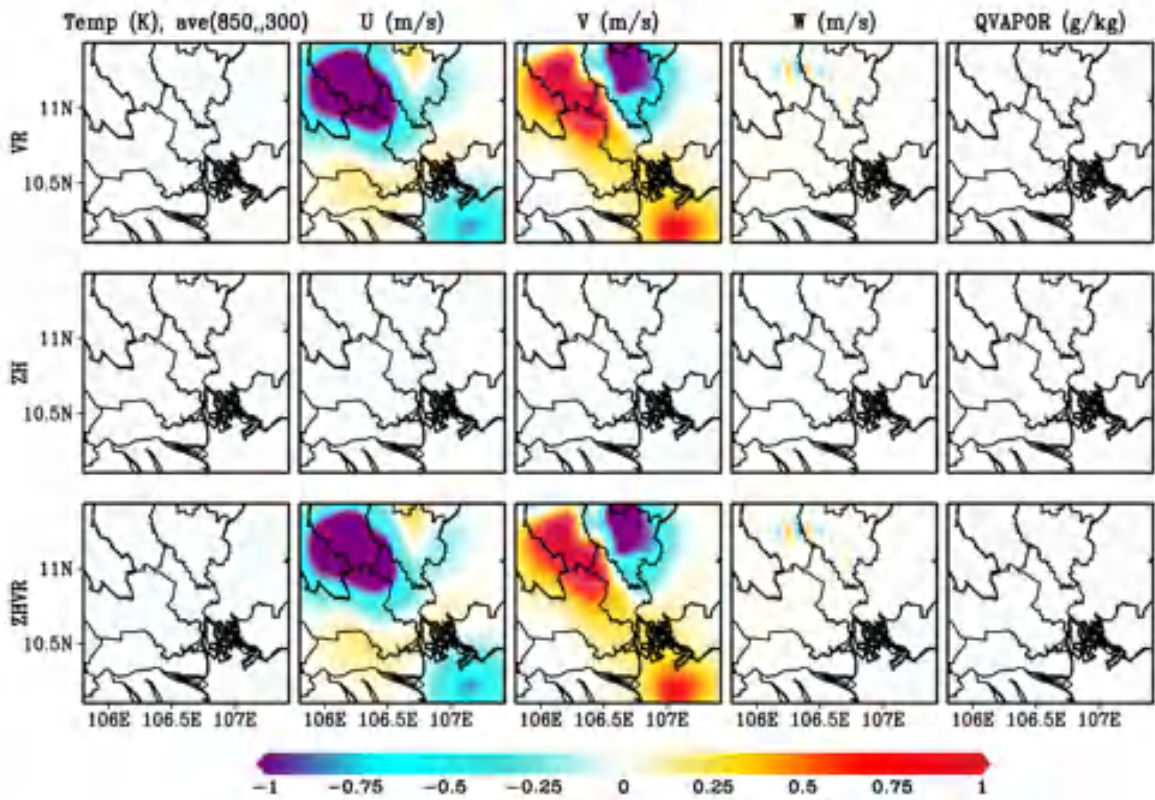
Hình 4.5, 4.6 so sánh trường nhiệt độ (trái), gió (giữa), hơi nước (phải) tại thời điểm ban đầu giữa không đồng hóa và đồng hóa VR (trên cùng), ZH (giữa) và ZHVR (dưới cùng) tại thời điểm ban đầu đối của cả 2 miền tính mô hình. Kết quả cho thấy tại thời điểm ban đầu, độ phản hồi và tốc độ gió xuyên tâm có ảnh hưởng rõ rệt, không chỉ thay đổi trường độ phản hồi, trường gió mà còn thay đổi cả trường khí tượng khác như nhiệt độ, tổng lượng nước trong khí quyển (thông qua các biến QRain, Qvapor, Qice).

Gia số của các trường được tính trung bình các mực từ 850mb đến 300mb bao gồm nhiệt độ, tốc độ gió kinh vĩ hướng, thẳng đứng và tỷ lệ hơi nước. Nhìn chung, sự thay đổi rõ rệt hơn cả của trường phân tích nằm ở khu vực phía bắc và nam của TP.HCM (tốc độ gió kinh vĩ hướng chênh lệch hơn 1m/s). Đối với biến tỷ lệ xáo trộn hơi nước, trong trường hợp đồng hóa độ phản hồi, có sự thay đổi lan rộng hơn về phía tây bắc và đông nam của TP.HCM. Sự thay đổi của các trường phân tích có thể do vị trí có số liệu quan trắc được đồng hóa, kết hợp với bán kính ảnh hưởng được xác định bởi thuật toán đồng hóa 3DVar. Hình 4.5 cho thấy tồn tại khu vực có sự tăng cục bộ

rất rõ về gió kinh hướng và vĩ hướng, với khoảng cách vài chục km so với trạm ra-đa Nhà Bè trong miền tính 2 và cả miền tính 1. Trong trường hợp này thấy rằng khu vực gần tâm ra-đa, dữ liệu quan trắc của ra-đa không được mô hình WRF “tiêu hóa” và bị loại ra khi xây dựng lại trường ban đầu bằng phương thức đồng hóa 3DVAR.

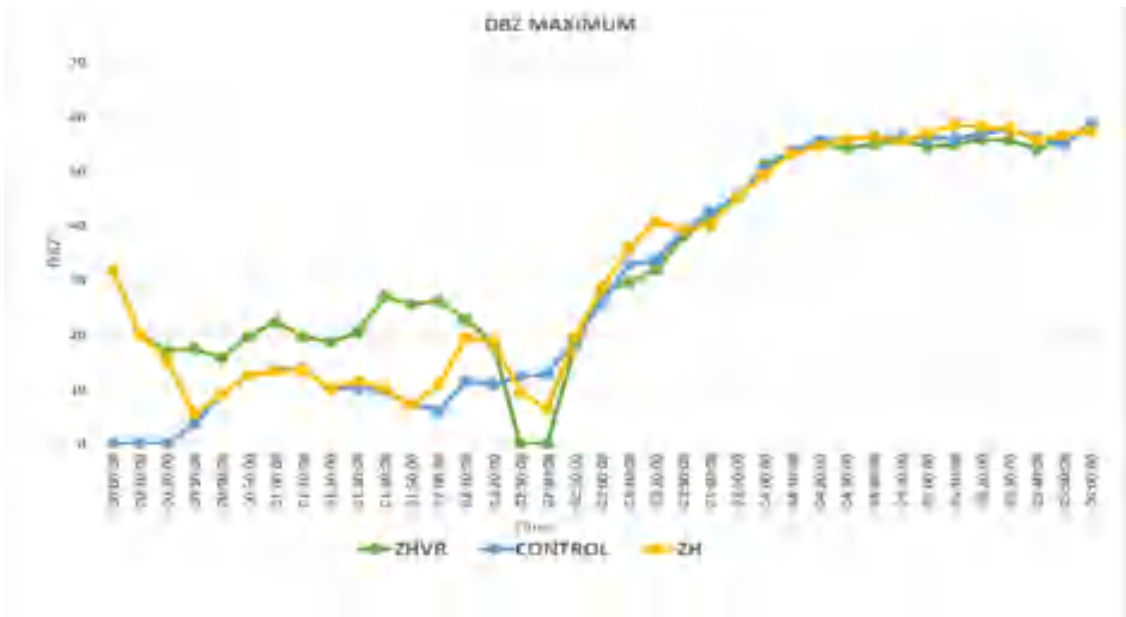


Hình 4. 5. So sánh trường nhiệt độ (trái), gió (giữa), hơi nước (phải) tại thời điểm ban đầu giữa đồng hóa VR (trên cùng), ZH (giữa) và ZHVR (dưới cùng) với không đồng hóa tại thời điểm ban đầu đối với miền 1



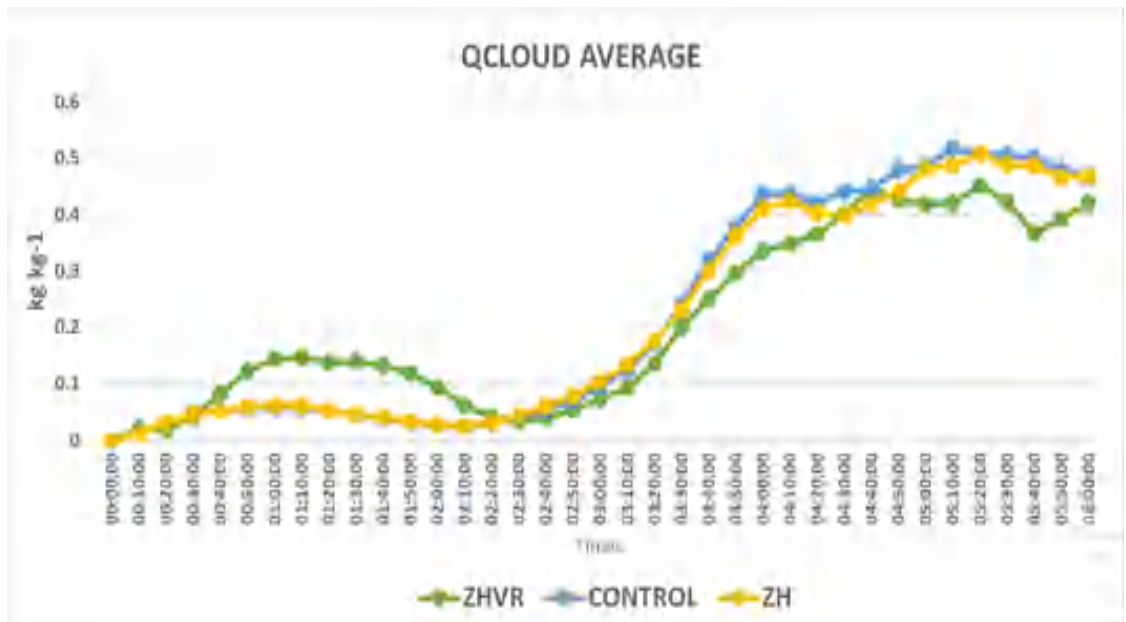
Hình 4. 6. So sánh trường nhiệt độ (trái), gió (giữa), xáo trộn hơi nước (phải) tại thời điểm ban đầu giữa đồng hóa VR (trên cùng), ZH (giữa) và ZHVR (dưới cùng) với không đồng hóa tại thời điểm ban đầu đối với miền 2

Để thấy rõ hơn về các quá trình này, nghiên cứu sinh tiến hành hiển thị biến trình độ phản hồi từ thời điểm ban đầu, thời điểm bắt đầu 00 giờ 00 phút đến 06 giờ 00 phút với bước nhảy 10 phút một bằng tần số quét của ra-đa. Kết quả của trường hợp mô phỏng độ phản hồi vô tuyến cực đại MDBZ (Hình 4.7) cho thấy phương án đồng hóa ZH và ZHVR cho thấy vai trò rõ rệt và có sự khác biệt rất lớn so trong 30 phút đầu, trong khi đó phương án CTL thì MDBZ bằng không. Sau 30 phút thấy rằng ZHVR mô phỏng cao hơn hẳn CTL, đạt trên 20 DBZ trong khi đó ZH và CTL khoảng 10 DBZ. Vai trò của đồng hóa ZH, ZHVR thể hiện vai trò rất mạnh đối với MDBZ trong 2h đầu và từ khoảng giờ thứ 3 trở đi thì vai trò của ZH và ZHVR tiệm cận tới phương án CTL.



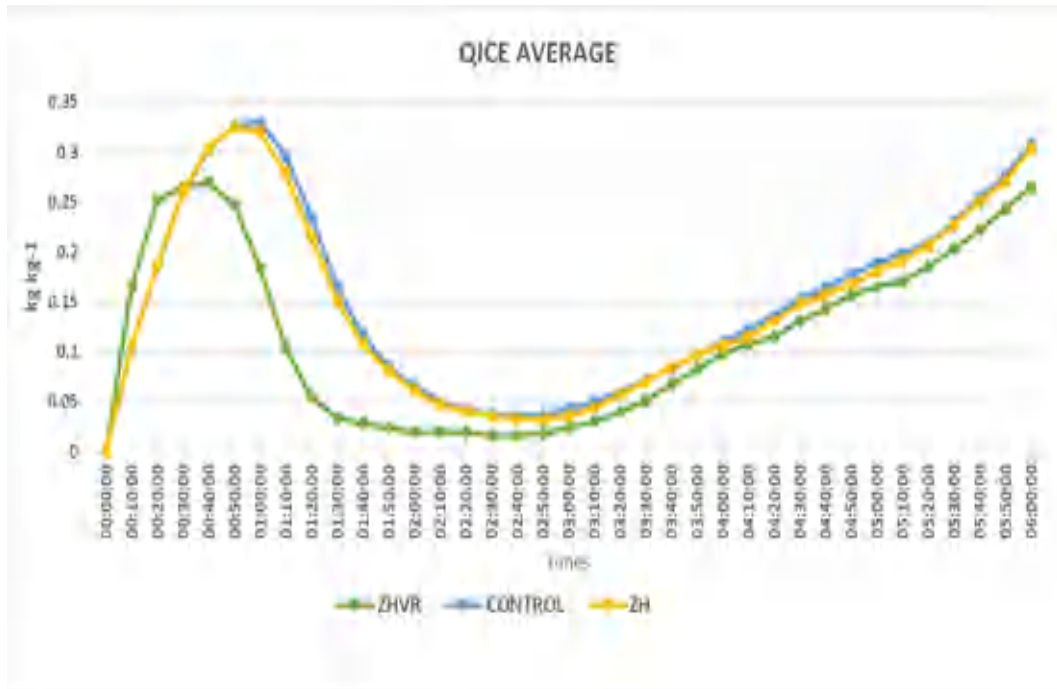
Hình 4. 7. Biến trình MDBZ theo thời gian từ 00h 00 phút đến 06h 00 phút với bước thời gian 10 phút

Tương tự đối với Qcloud (Hình 4.8), Qcloud là biến mà CTL và ZH ít thay đổi so với phương án ZHVR. ZHVR mô phỏng Qcloud gấp hơn 2 lần so với CTL và sự khác biệt này kéo dài đến khoảng 2h. Từ sau 2h đến 6h thì Qcloud của các phương án là tương đương nhau và tăng dần theo thời gian tích phân.



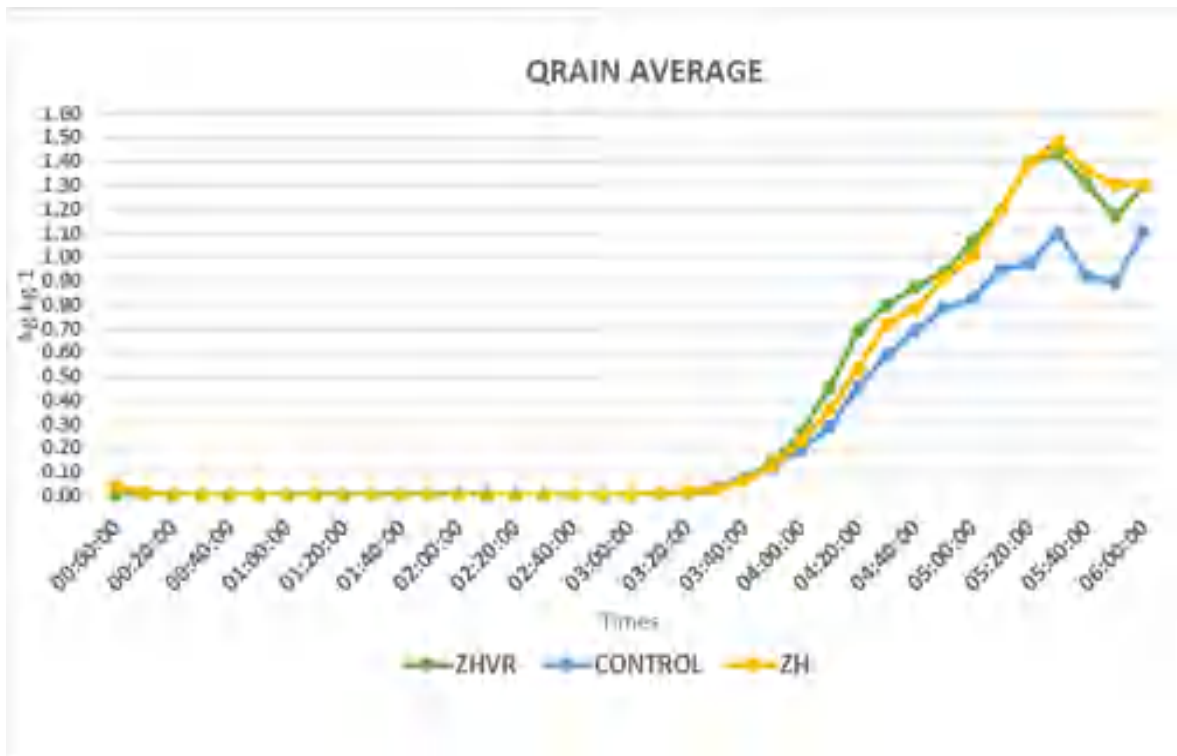
Hình 4. 8. Biến trình QCLOUD theo thời gian từ 00h 00 phút đến 06h 00 phút với bước thời gian 10 phút

Hình 4.9 cho thấy Qice của ZHVR trong 2h đầu nhỏ hơn hẳn ZH và CTL, điều này có thể tạm kết luận rằng ZHVR đã làm thay đổi trường khí tượng thông qua 3DVAR và cụ thể là Qice. Tỷ lệ xáo trộn hơi nước ở thể băng của ZHVR thấp hơn so với CTL. Xu hướng này được giữ trong khoảng 2h đầu và giảm dần trong giờ thứ 3-4 và tăng dần trở lại từ giờ thứ 5-6.



Hình 4. 9. Biến trình $MDBZ$, $QRAIN$, $QICE$, $QCLOUD$ theo thời gian từ 00h 00 phút đến 06h 00 phút với bước thời gian 10 phút

Đối với Qrain (Hình 4.10), trong quá trình mô phỏng QRAIN, QICE, QCLOUD theo th QICEan: chưa thấy Qrain hình thành trong khoảng 3h đầu, đây là thời gian tích lũy Qrain cân bằng và thích ứng của mô hình (“spins up”) sau khi tạo mây trước sau đó đến tạo mưa. Sau 3h thì Qrain bắt đầu tăng dần và phương án ZHVR và ZH cho tăng nhanh hơn CTL từ khoảng giờ thứ 4 trở đi đến giờ thứ 6, đặc biệt ZHVR cho Qrain tăng nhanh hơn mạnh hơn CTL ở giai đoạn 4-5h sau mô phỏng.



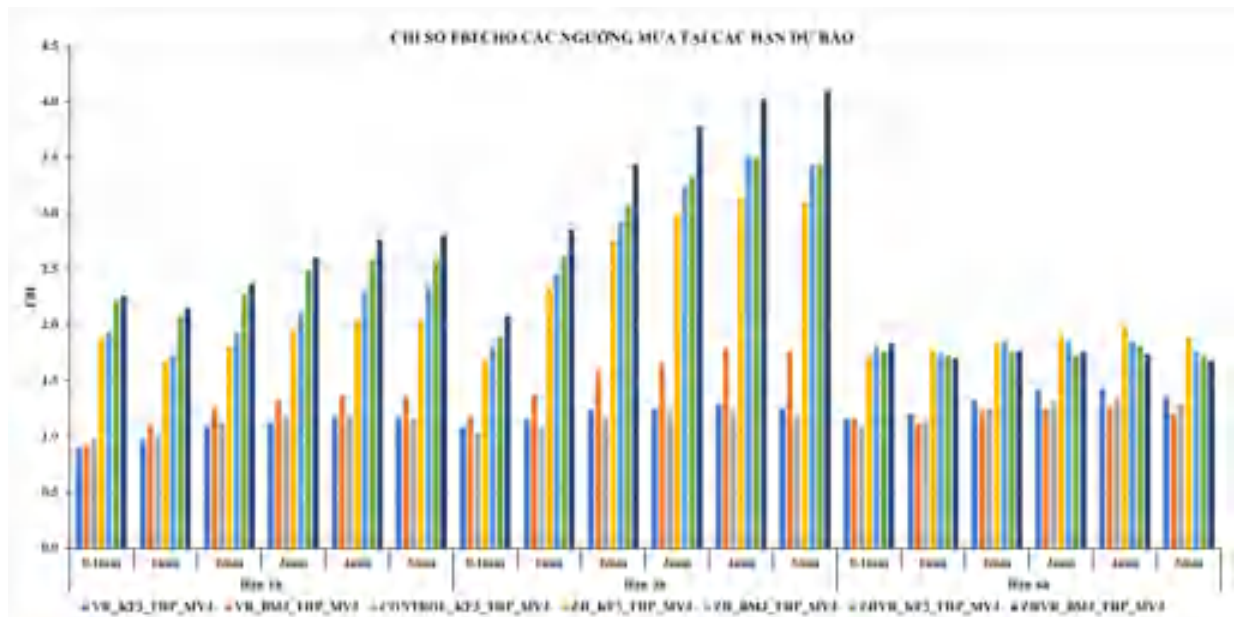
Hình 4. 10. Biến trình QRAIN theo thời gian từ 00h 00 phút đến 06h 00 phút với bước thời gian 10 phút

Từ các kết quả trên có thể thấy, đồng hóa số liệu ra-đa ZHVR và ZH có tác động mạnh mẽ chủ yếu ở 2h đầu của mô hình. Hay nói cách khác, vai trò của việc đưa số liệu ra-đa vào hệ thống mô hình HCM-RAP có tác dụng trong 2h đầu. Do đó việc đồng hóa cập nhật số liệu ra-đa cho HCM-RAP thực hiện tốt nhất với tần suất đưa vào ít nhất là cách nhau 2h và 1h là tối ưu nhất. Kết quả này cũng phù hợp với các nghiên cứu hiệu quả giữa việc cập nhật dữ liệu 1 giờ tốt hơn hẳn so với 3 giờ và 6 giờ cho mô hình dự báo thời tiết WRF với các chế độ nhập liệu khác nhau, đặc biệt là số liệu ra-đa đối với việc dự báo mưa, mưa định lượng hạn cực ngắn (Chen, F., & Dudhia, J. (2001); Liu, Y., Liu, Y., & Fu, Y. (2020); Wang, X., Li, H., Li, J., Li, X., Li, Y., & Yu, W. (2020); Chen, Y., Zhang, Y., & Chen, F. (2021)) [22, 26, 50, 75].

4.1.2 Vai trò và ảnh hưởng số liệu ra-đa trong đồng hóa cập nhật nhanh

Trong phần này, sẽ so sánh, đánh giá kết quả dự báo với số liệu quan trắc theo các ngưỡng mưa 0,1mm/h, 1, 2, 3, 4, 5mm/h và các hạn dự báo 1, 3, 6h phục vụ cho việc đánh giá vai trò và ảnh hưởng số liệu ra-đa trong đồng hóa cập nhật nhanh

Kết quả trong hình 4.11 và PL-Bảng 4.1-4.3 biểu diễn điểm số FBI của phương án không đồng hóa (CTL) theo các hạn dự báo từ 1-6h, các ngưỡng mưa từ có mưa đến mưa vừa, mưa to, mưa rất to. Phương án này dự báo thiên thấp hơn cho đến xấp xỉ so với quan trắc thông qua điểm số FBI, FBI tăng theo các ngưỡng và hạn dự báo (FBI xung quanh 1). Phương án đồng hóa VR cho thấy rằng phương án này giống như phương án CTL, cơ bản dự báo thiên thấp hơn cho đến xấp xỉ lượng mưa quan trắc ngưỡng có mưa 0,1mm/h (2,4mm/ngày), 1mm/h (24h/ngày), 2mm/h (48mm/ngày) và 4-5mm/h (98-120mm/ngày) ở các hạn 1h, 3h và 6h.

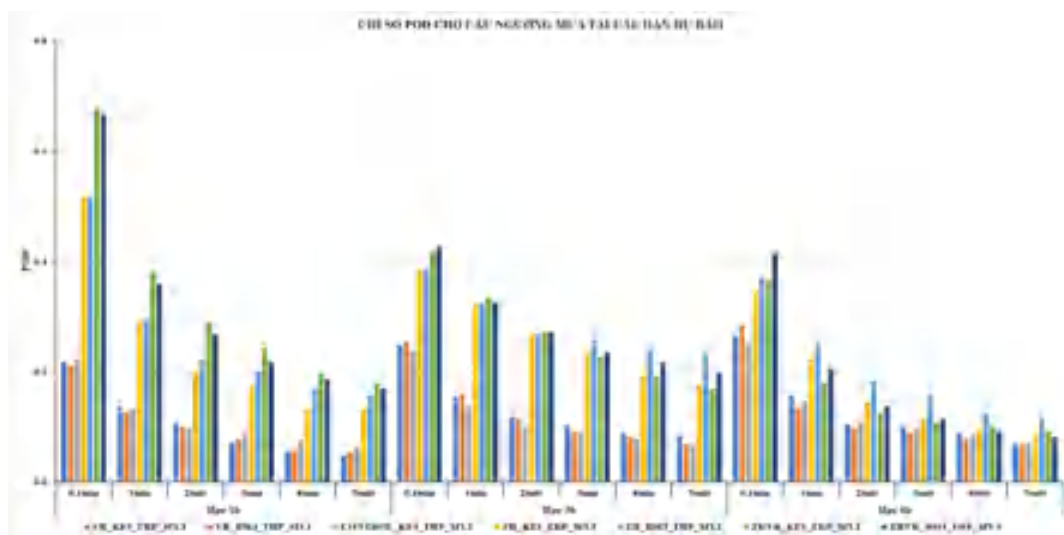


Hình 4. 11. Chỉ số đánh giá FBI của 2 phương án vật lý tốt nhất với đồng hóa VR (cột 1 và 2 từ trái sang), 1 phương án vật lý tốt nhất CTL (cột màu vàng) và 2 phương án ZH (cột 4, 5 từ trái sang), 2 phương án ZHVR (cột 6, 7 từ trái sang) dự báo mưa tích lũy 1h với các hạn dự báo 1,3,6h tương ứng các ngưỡng mưa có mưa, 24, 48, 72, 96, 120mm/ngày)

Thấy rằng phương án đồng hóa ZH và ZHVR dự báo thiên cao hơn khoảng 2 lần so với quan trắc thông qua điểm số FBI cho tất cả các ngưỡng ở các hạn 1h, 3h và 6h. Nhìn chung hệ thống HCM-RAP có đồng hóa và không đồng hóa ra-đa đều từ xấp xỉ cho đến thiên cao hơn so với quan trắc trong các đợt mưa lớn.

Khả năng phát hiện vùng mưa thông qua chỉ số POD cho thấy phương án CTL và VR đều dự báo rất thấp xung quanh giá trị 0,2-0,3 đối với ngưỡng có mưa và gần như bằng không ở các ngưỡng mưa còn lại (từ Hình 4.12 và PL Bảng 4.1-4.3). Trong khi đó phương án đồng hóa ZH cải thiện đáng kể kỹ năng dự báo mưa hạn cực ngắn, cụ thể chỉ số POD khoảng 0,6 hạn 1h với ngưỡng có mưa, giảm dần còn 0,4 ở hạn 3h và 0,35 ở hạn 6h. Các ngưỡng mưa ở các hạn dự báo còn lại có giảm hơn so với hạn 1h và ở ngưỡng có mưa nhưng cao hơn rất nhiều so với phương án không đồng hóa và đồng hóa VR. Đặc biệt phương án đồng hóa ZHVR cải thiện hơn đồng hóa ZH và đạt POD cao nhất trong 4 phương án, ở hạn 1h với ngưỡng có mưa điểm số POD đạt ~0,7, giảm dần xuống 0,4 ở hạn 3h và 6h.

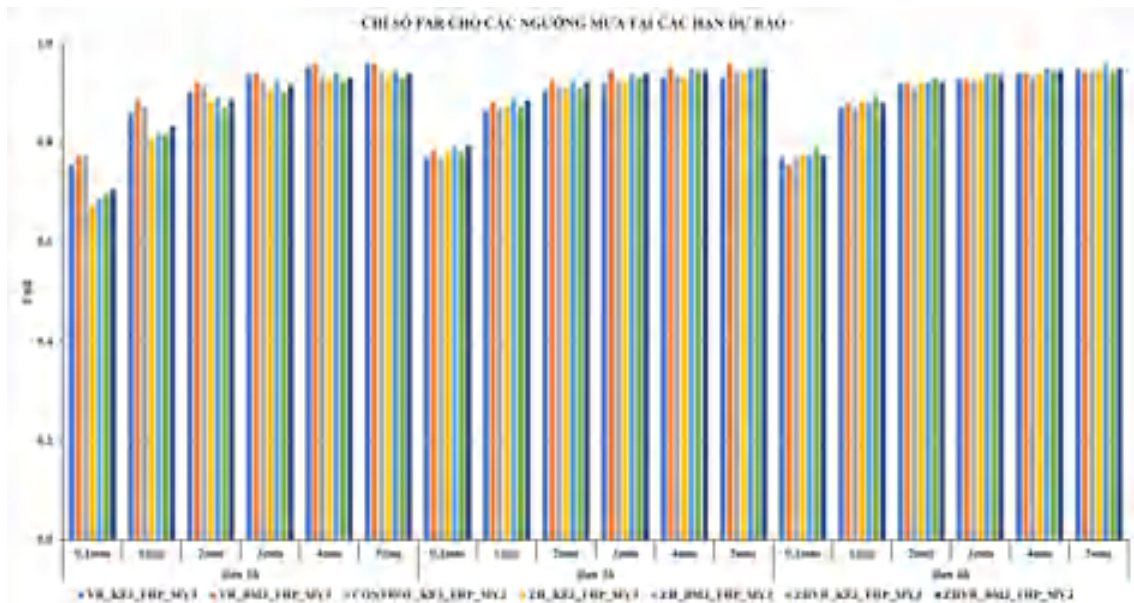
Nhìn chung thông qua điểm số POD cho thấy đồng hóa tổ hợp ZHVR của HCM-RAP phát hiện vùng mưa khá tốt với ngưỡng có mưa và giảm dần ở các ngưỡng mưa lớn hơn ở các hạn 1, 3, 6h.



Hình 4. 12. Chỉ số đánh giá POD của 2 phương án vật lý tốt nhất với đồng hóa VR (cột 1 và 2 từ trái sang), 1 phương án vật lý tốt nhất CTL (cột màu vàng) và 2 phương án ZH (cột 4, 5 từ trái sang), 2 phương án ZHVR (cột 6, 7 từ trái sang) dự

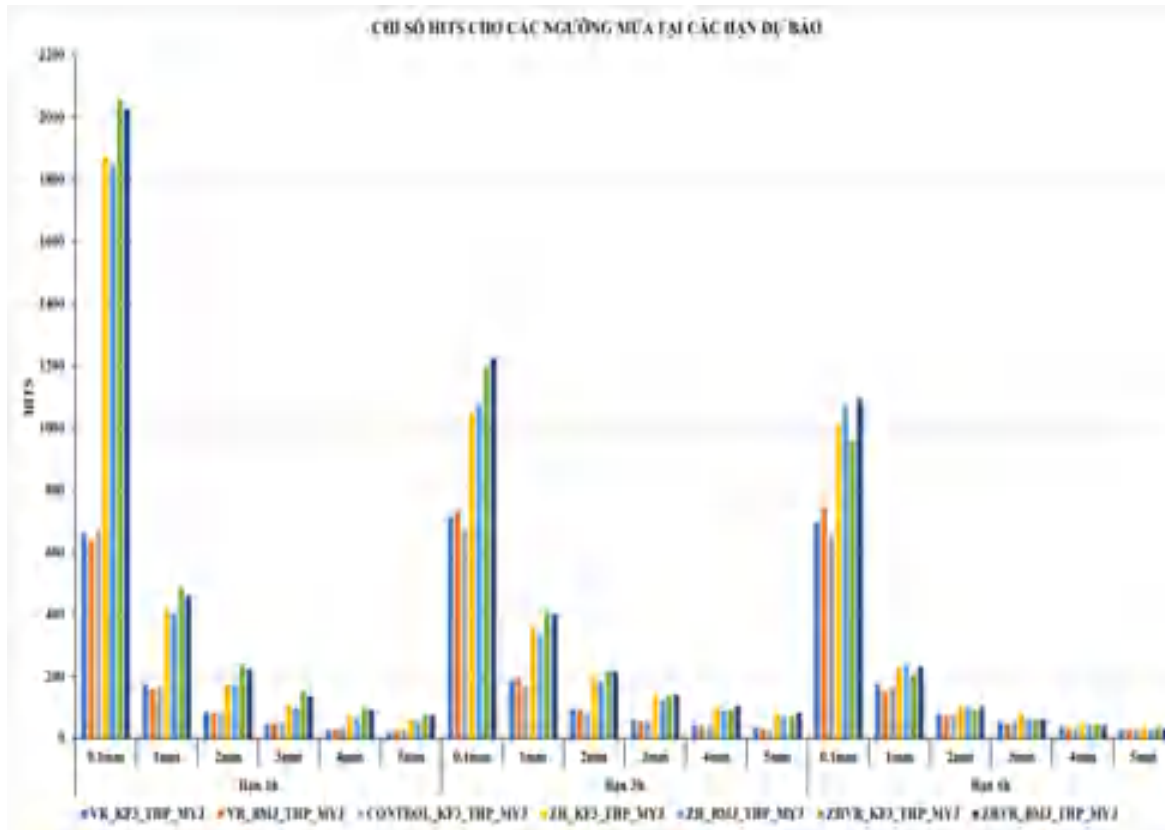
báo mưa tích lũy 1h ở các hạn dự báo 1,3, 6h tương ứng các ngưỡng mưa có mưa, 24, 48, 72, 96, 120mm/ngày)

Tuy nhiên chỉ số FAR của cả 4 phương án (Hình 4.13, PL- Bảng 4.3-4.4) khá cao từ khoảng 0,75 đối với CTL và VR với ngưỡng có mưa, và giảm dần còn khoảng 0,65 với ZH và ZHVR. Các hạn khác và ngưỡng khác FAR của cả 4 phương án khá cao khoảng dao động từ 0,8-0,9. Điều này có thể đến từ việc xác định tỉ lệ CN quá cao so với H, M, F (Hình 4.14-4.17) vì trường hợp trong Luận án đánh giá theo mưa từng giờ nên cả đợt mưa kéo dài 48-72h thì số giờ không mưa rất nhiều. Cụ thể CN của ngưỡng có mưa dao động từ 17000 (ZH-ZHVR) đến 20000 (CTL và VR), cao hơn với hạn mưa khác và ngưỡng mưa lớn hơn, trong khi đó tỉ lệ điểm số H (số lần dự báo trúng) của 2 phương án ZH và tổ hợp ZHVR khoảng 2000 (bằng 1/20 so với CN). H của ZHVR cao gần gấp 3 lần 2 phương án CTL và đồng hóa VR. Phương án đồng hóa tổ hợp cải thiện hơn đồng hóa ZH nhưng không nhiều và cải thiện độ chính hơn hẳn 2 phương án trước không đồng hóa và đồng hóa VR. Điểm số F của ZH và ZHVR cao hơn CTL và VR, điều này được thể hiện thông qua điểm số FBI. ZH và ZHVR luôn dự báo mưa to hơn so với CTL, VR và quan trắc.



Hình 4. 13. Chỉ số đánh giá FAR của 2 phương án vật lý tốt nhất với đồng hóa VR (cột 1 và 2 từ trái sang), 1 phương án vật lý tốt nhất CTL (cột màu vàng) và 2 phương án ZH (cột 4, 5 từ trái sang), 2 phương án ZHVR (cột 6, 7 từ trái sang) dự

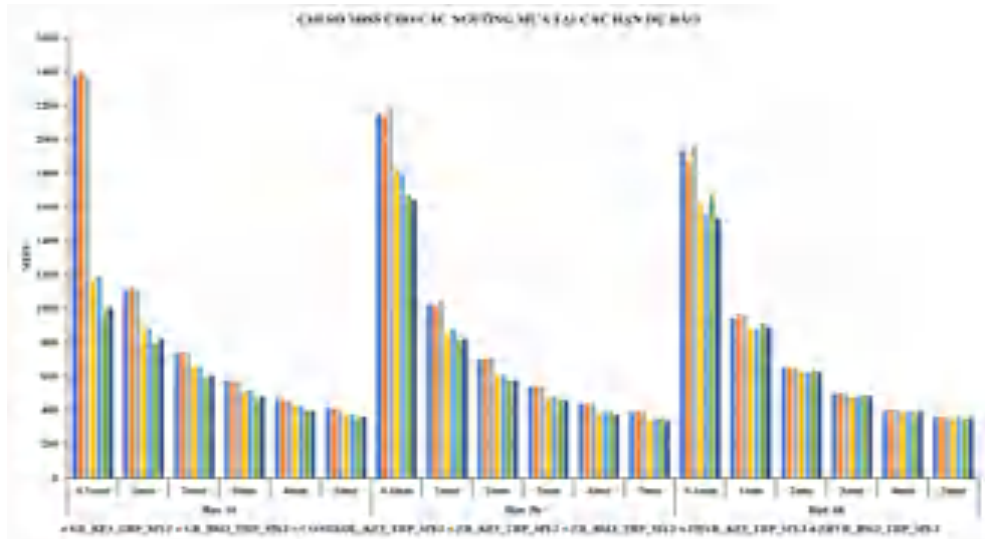
báo mưa tích lũy 1h ở các hạn dự báo 1, 3, 6h tương ứng các ngưỡng mưa có mưa, 24, 48, 72, 96, 120mm/ngày)



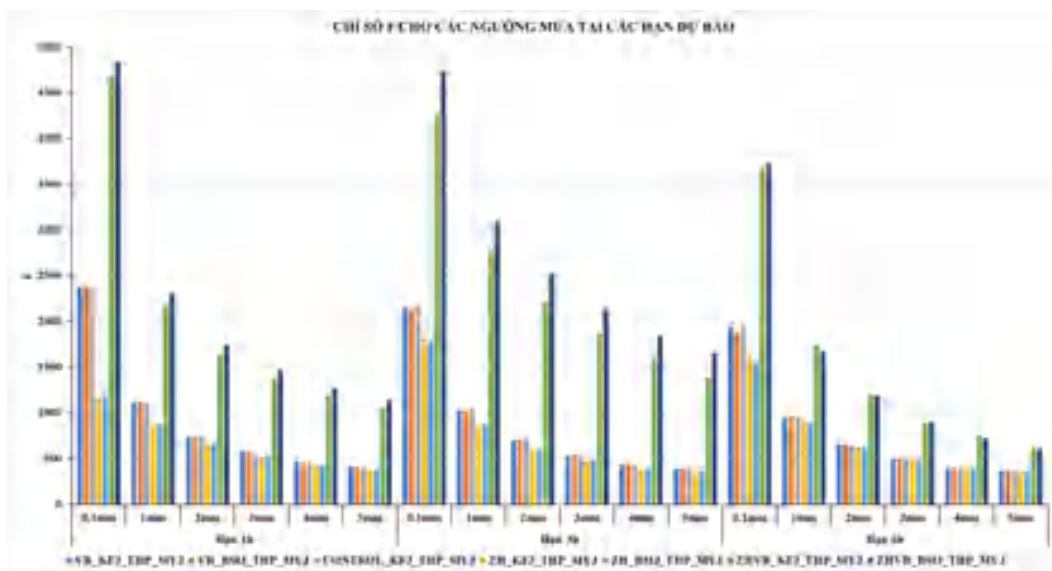
Hình 4. 14. Chỉ số H của 2 phương án vật lý tốt nhất với đồng hóa VR (cột 1 và 2 từ trái sang), 1 phương án vật lý tốt nhất CTL (cột màu vàng) và 2 phương án ZH (cột 4, 5 từ trái sang), 2 phương án ZHVR (cột 6, 7 từ trái sang) dự báo mưa tích lũy 1h ở các hạn dự báo 1,3, 6h tương ứng các ngưỡng mưa có mưa, 24, 48, 72, 96, 120mm/ngày)

Hình 4.15 và PL-Bảng 4.1-4.3 cho thấy HCM-RAP dự báo chỉ số thành công CSI của hai phương án này cũng rất thấp, nhỏ hơn 0,15 (15%) với các hạn ở ngưỡng có mưa và không có kỹ năng ở các ngưỡng mưa còn lại. Trong khi đó chỉ số thành công CSI của ZH và ZHVR cao hơn hẳn so với 2 phương án trước và đạt khoảng gần 0,3 ở có mưa hạn 1h và ~0,17 ở hạn 3 và 6h. Các ngưỡng mưa còn lại cũng cho thấy kỹ năng hơn hẳn 2 phương án trước và tính trung bình **gấp 1.5-2 lần** so với hai phương án trước. Từ chỉ số CSI cũng chỉ ra rằng phương án ZHVR là phương án

cho kỹ năng dự báo mưa cao nhất, có thể đạt gần 30%, **gấp khoảng 2 lần** so với phương án CTL.

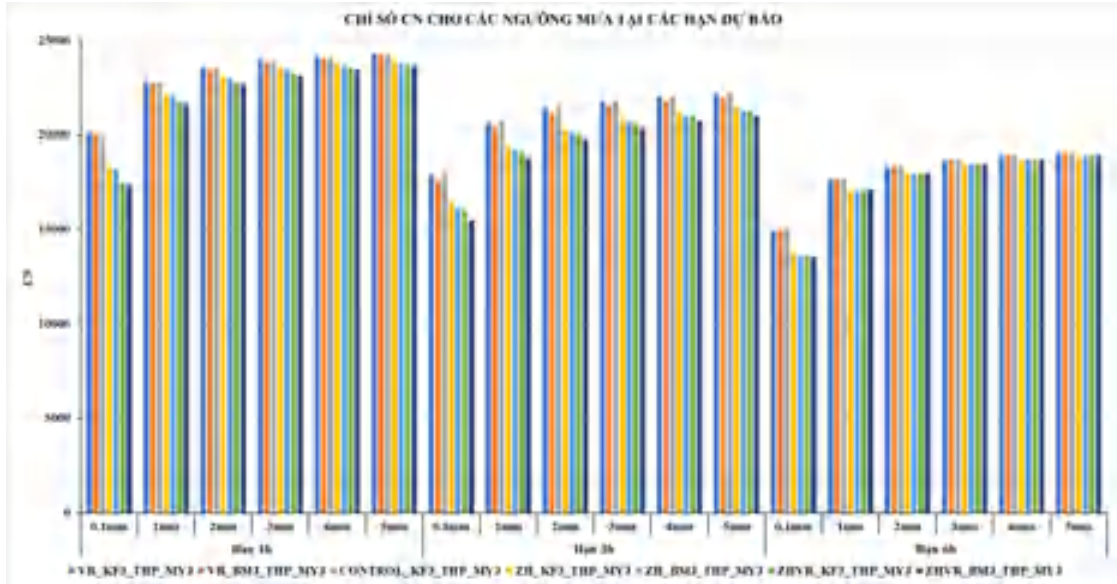


Hình 4. 15. Chỉ số Miss của 2 phương án vật lý tốt nhất với đồng hóa VR (cột 1 và 2 từ trái sang), 1 phương án vật lý tốt nhất CTL (cột màu vàng) và 2 phương án ZH (cột 4, 5 từ trái sang), 2 phương án ZHVR (cột 6, 7 từ trái sang) dự báo mưa tích lũy 1h ở các hạn dự báo 1,3, 6h tương ứng các ngưỡng mưa có mưa, 24, 48, 72, 96, 120mm/ngày)

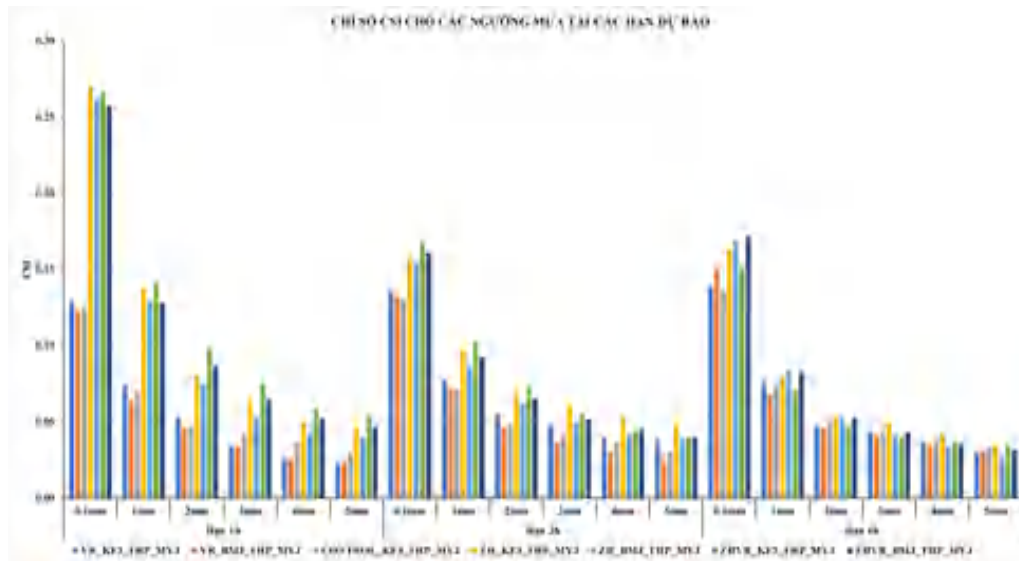


Hình 4. 16. Chỉ số False của 2 phương án vật lý tốt nhất với đồng hóa VR (cột 1 và 2 từ trái sang), 1 phương án vật lý tốt nhất CTL (cột màu vàng) và 2 phương

án ZH (cột 4, 5 từ trái sang), 2 phương án ZHVR (cột 6, 7 từ trái sang) dự báo mưa tích lũy 1h ở các hạn dự báo 1,3, 6h tương ứng các ngưỡng mưa có mưa, 24, 48, 72, 96, 120mm/ngày)



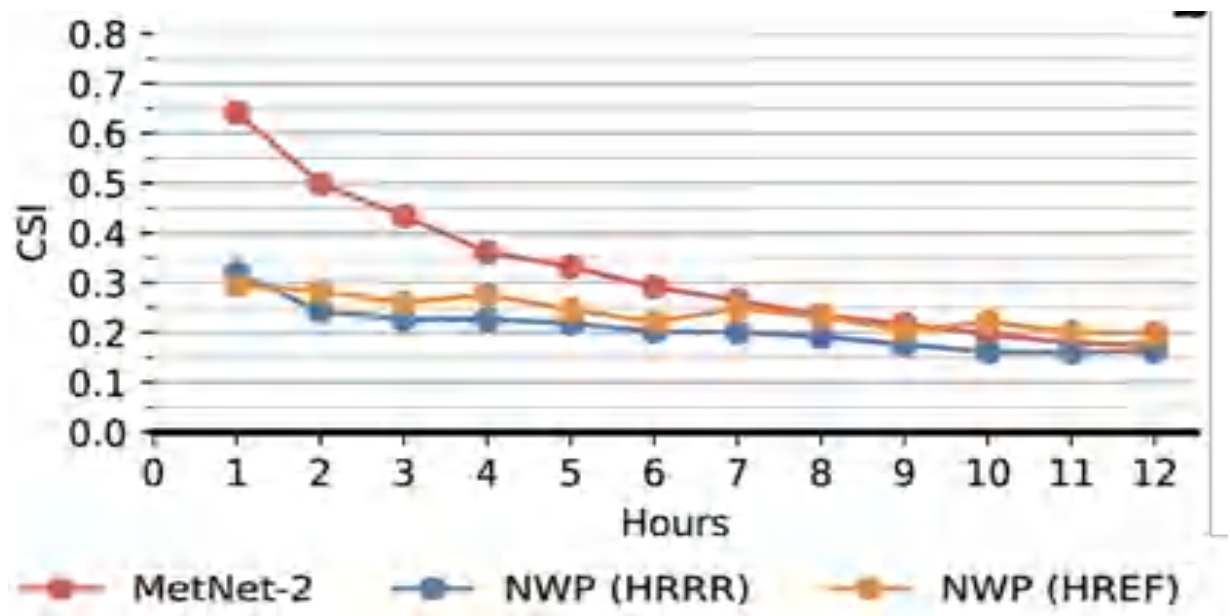
Hình 4. 17. Chỉ số H, F, M, CN của 2 phương án vật lý tốt nhất với đồng hóa VR (cột 1 và 2 từ trái sang), 1 phương án vật lý tốt nhất CTL (cột màu vàng) và 2 phương án ZH (cột 4, 5 từ trái sang), 2 phương án ZHVR (cột 6, 7 từ trái sang) dự báo mưa tích lũy 1h ở các hạn dự báo 1,3, 6h tương ứng các ngưỡng mưa có mưa, 24, 48, 72, 96, 120mm/ngày)



Hình 4. 18. Chỉ số đánh giá CSI của 2 phương án vật lý tốt nhất với đồng hóa VR (cột 1 và 2 từ trái sang), 1 phương án vật lý tốt nhất CTL (cột màu vàng) và 2

phương án ZH (cột 4, 5 từ trái sang), 2 phương án ZHVR (cột 6, 7 từ trái sang) dự báo mưa tích lũy 1h ở các hạn dự báo 1,3, 6h tương ứng các ngưỡng mưa có mưa, 24, 48, 72, 96, 120mm/ngày)

Chỉ số CSI của HCM-RAP đối với ZHVR bằng khoảng 1/3 so với chỉ số CSI của hệ thống HRRR/RAP V4 cũng như hệ thống HREF (Hình 4.19) của cơ quan dự báo Quốc gia Hoa Kỳ. CSI của HRRR và HREF của Hoa Kỳ khoảng 0,3-0,32 hạn 1h và giảm rất chậm đối với hạn 3 và 6h (tương ứng 0,25 và 0,21) đối với ngưỡng mưa 2mm/h (48mm/ngày-mưa to) trong khi đó phương án CTL và VR chỉ bằng khoảng 1/6 so với CSI của Hoa Kỳ.



Hình 4. 19. Chỉ số đánh giá CSI của hệ thống học máy MetNet-2, HRRR và HREF với ngưỡng 2mm/h theo các hạn từ 1 đến 12h

Hiện nay, Trung tâm Dự báo KTTV Quốc gia cung cấp các bản tin dự báo hạn cực ngắn và cảnh báo nguy cơ mưa lớn, tuy nhiên chưa có đánh giá cụ thể cho toàn bộ Việt Nam và các khu vực, đặc biệt khu vực nhỏ như TP.HCM theo các ngưỡng. Do vậy trong Luận án này sẽ không so sánh với cơ quan nghiệp vụ của Việt Nam.

Tổng kết lại cho thấy phương án CTL, đồng hóa tốc độ gió xuyên tâm VR không có nhiều khác biệt đối với các hạn dự báo từ 1-6h và các ngưỡng mưa từ có mưa đến mưa vừa, mưa to, mưa rất to. Cả hai phương án này dự báo thấp hơn cho đến xấp xỉ so với quan trắc, khả năng phát hiện vùng mưa rất thấp với ngưỡng có mưa và gần

như không phát hiện được các ngưỡng mưa còn lại. Chỉ số thành công CSI của hai phương án này cũng rất thấp, nhỏ hơn 0,15 (15%) ở ngưỡng có mưa và không có kỹ năng ở các ngưỡng mưa còn lại. Phương án ZH và ZHVR cho thấy cải thiện đáng kể kỹ năng dự báo mưa hạn cực ngắn, cụ thể chỉ số POD khoảng 0,6 hạn 1h với ngưỡng có mưa, giảm dần còn 0,4 ở hạn 3h và 0,35 ở hạn 6h. Các ngưỡng mưa và hạn dự báo còn lại có giảm hơn so với hạn 1h và ngưỡng có mưa nhưng cao hơn rất nhiều so với phương án không đồng hóa và đồng hóa VR. Tuy nhiên điểm số FBI của hai phương án này lớn hơn 2 phương án trên và cho dự báo thiên cao hơn hẳn so với quan trắc theo các ngưỡng và các hạn. Đặc biệt, chỉ số thành công CSI của ZHVR và ZH cao hơn hẳn so với 2 phương án trước và đạt khoảng gần 0,3 ở có mưa hạn 1h và ~0,17 ở hạn 3 và 6h. Các ngưỡng mưa còn lại cũng cho thấy kỹ năng hơn hẳn 2 phương án trước và tính trung bình gấp 1.5-2 lần so với hai phương án không đồng hóa. Cũng từ điểm số CSI và các điểm số khác cho thấy mức độ đóng góp chủ đạo của độ phản hồi so với tốc độ gió xuyên tâm đến độ chính xác của dự báo mưa tại các hạn dự báo 1h, 3h, 6h cho khu vực TP.HCM.

Kết quả ngày cũng phù hợp với các nghiên cứu gần đây, thấy rằng đồng hóa độ phản hồi có vai trò quan trọng và đóng góp lớn hơn so với đồng hóa tốc độ gió xuyên tâm trong dự báo mưa và đặc biệt mưa định lượng hạn cực ngắn (Wu, D., Hu, X. M., Wang, J., & Chen, X. (2019); Tong, M., Xue, M., & Gao, J. (2015); Liu, C., Liu, Y., Han, W., & Ma, X. (2017) [48, 69, 77]

Trong Mục 4.1 này trả lời được 2 hỏi nghiên cứu còn lại là: (3) Đóng góp và vai trò từng thành phần của số liệu ra-đa như sau độ phản hồi có vai trò quyết định và ảnh hưởng nhiều nhất so với tốc độ gió xuyên tâm khi đồng hóa cập nhật nhanh đối với dự báo hạn cực ngắn và các ngưỡng mưa khác nhau cho khu vực TP.HCM; (4) Đồng hóa số liệu ra-đa cập nhật độ phản hồi kết hợp với tốc độ gió xuyên tâm cho mô hình WRF có thể cải thiện khoảng 2 lần so với với không đồng hóa. HCM-RAP có điểm số thành công bằng khoảng một nửa so với hệ thống dự báo HRRR/RAPv5 và HREF của Hoa Kỳ với ngưỡng mưa to (2mm/h).

Đồng thời mục này cũng giúp hoàn thành được mục tiêu thứ hai của Luận án là:

Cải thiện chất lượng dự báo và xác định được mức độ đóng góp cụ thể của độ phản hồi, tốc độ gió xuyên tâm đến độ chính xác của dự báo mưa tại các hạn dự báo 1h, 3h, 6h và các ngưỡng mưa khác nhau cho khu vực TP.HCM trên cơ sở đồng hóa số liệu số liệu ra-đa cập nhật nhanh cho mô hình WRF.

Các kết quả tính toán này cũng chính là một trong những đóng góp mới của Luận án, đó là xác định được mức độ đóng góp cụ thể của độ phản hồi, tốc độ gió xuyên tâm đến độ chính xác của dự báo mưa tại các hạn dự báo 1h, 3h, 6h với các ngưỡng mưa khác nhau. Kết quả chỉ ra độ phản hồi có vai trò, ảnh hưởng lớn nhất trong việc cải thiện kỹ năng dự báo mưa hạn cực ngắn so với không đồng hóa cho khu vực TP.HCM và nâng cao được độ chính xác khoảng 2 lần của dự báo mưa hạn cực ngắn cho khu vực này so với không đồng hóa.

4.2 So sánh ngoại suy ra-đa và dự báo của HCM-RAP

Trong mục này phương án vật lý tốt nhất được lựa chọn ở mục 3.2.4 **Kain-Fritsch loại 3 + New Thompson + Mellor-Yamada-Janjic** được sử dụng cho các phân tích đánh giá nhận xét chi tiết cụ thể so với ngoại suy mưa ra-đa

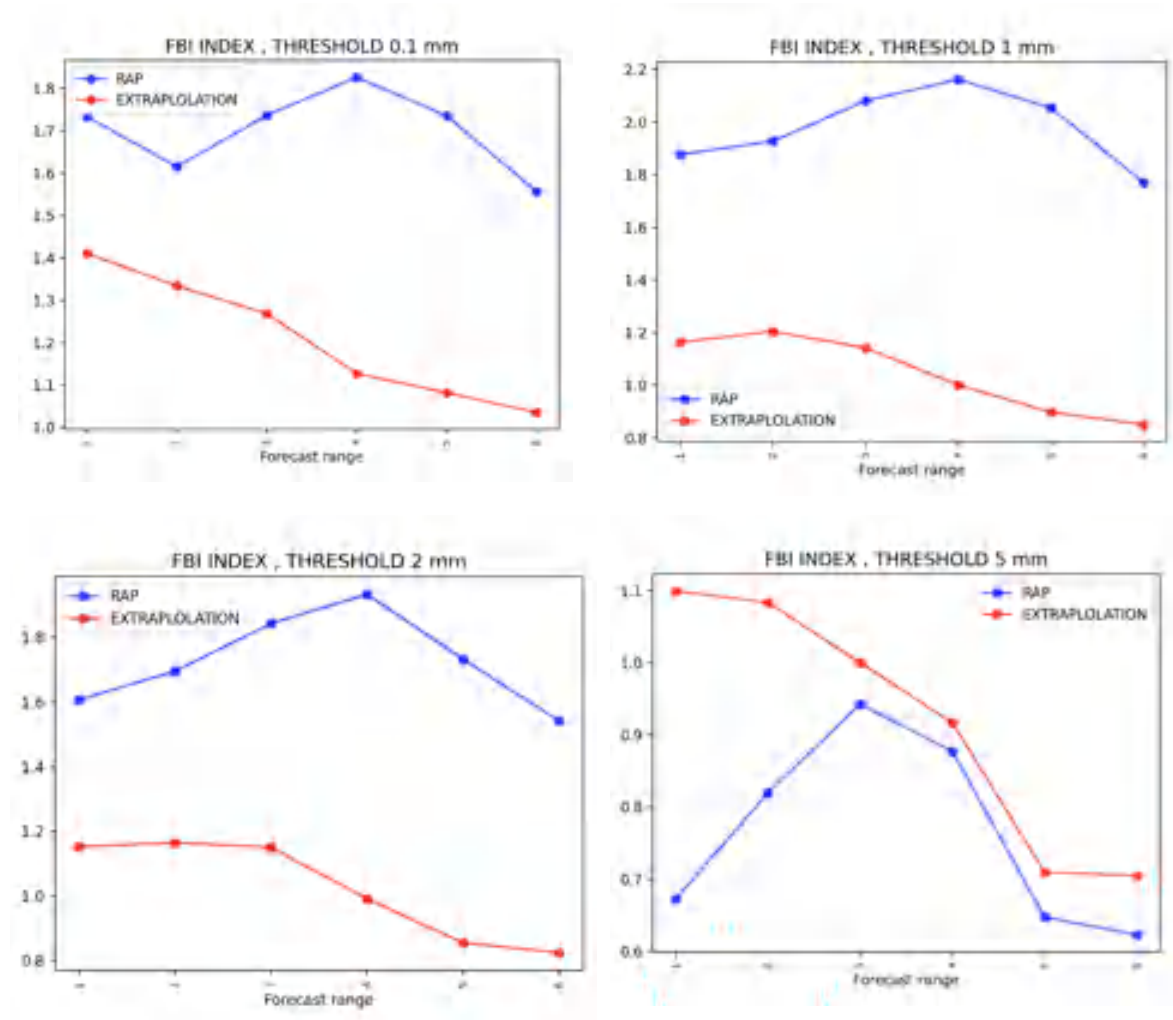
Mục này của luận án với mục tiêu là trả lời cho câu hỏi nghiên cứu “Đồng hóa số liệu ra-đa cập nhật nhanh cho mô hình WRF có thể nâng cao độ chính xác so với ngoại suy ra-đa dự báo mưa định lượng hạn cực ngắn(1-6h) cho khu vực TP.HCM?”

Để so sánh kỹ năng dự báo giữa HCM-RAP và ngoại suy ra-đa, Nghiên cứu sinh so sánh giữa dự báo HCM-RAP và ngoại suy mưa ra-đa Nhà Bè đối với các ngưỡng có mưa, 1, 2, 5 mm/h cho 15 đợt mưa trong 3 năm 2019, 2020 và 2021 thông qua các chỉ số FBI, FAR, POD và CSI.

Chỉ số dự báo FBI

Hình 4.20 cho thấy chỉ số FBI của ngoại suy ra-đa và HCM-RAP đều lớn hơn so với thực tế ($FBI > 1$) đối với ngưỡng có mưa, 1, 2mm/h và dự báo vùng mưa lớn hơn khá nhiều so với ra-đa và thực tế. Tuy nhiên đối với ngưỡng mưa 5mm/h thì HCM-RAP cho điểm số FBI gần 1, vùng mưa rất to sát hơn so với thực tế trong khi đó ra-đa dự báo vùng mưa rất to nhỏ hơn rất nhiều so với thực tế. Trong thực tế dự

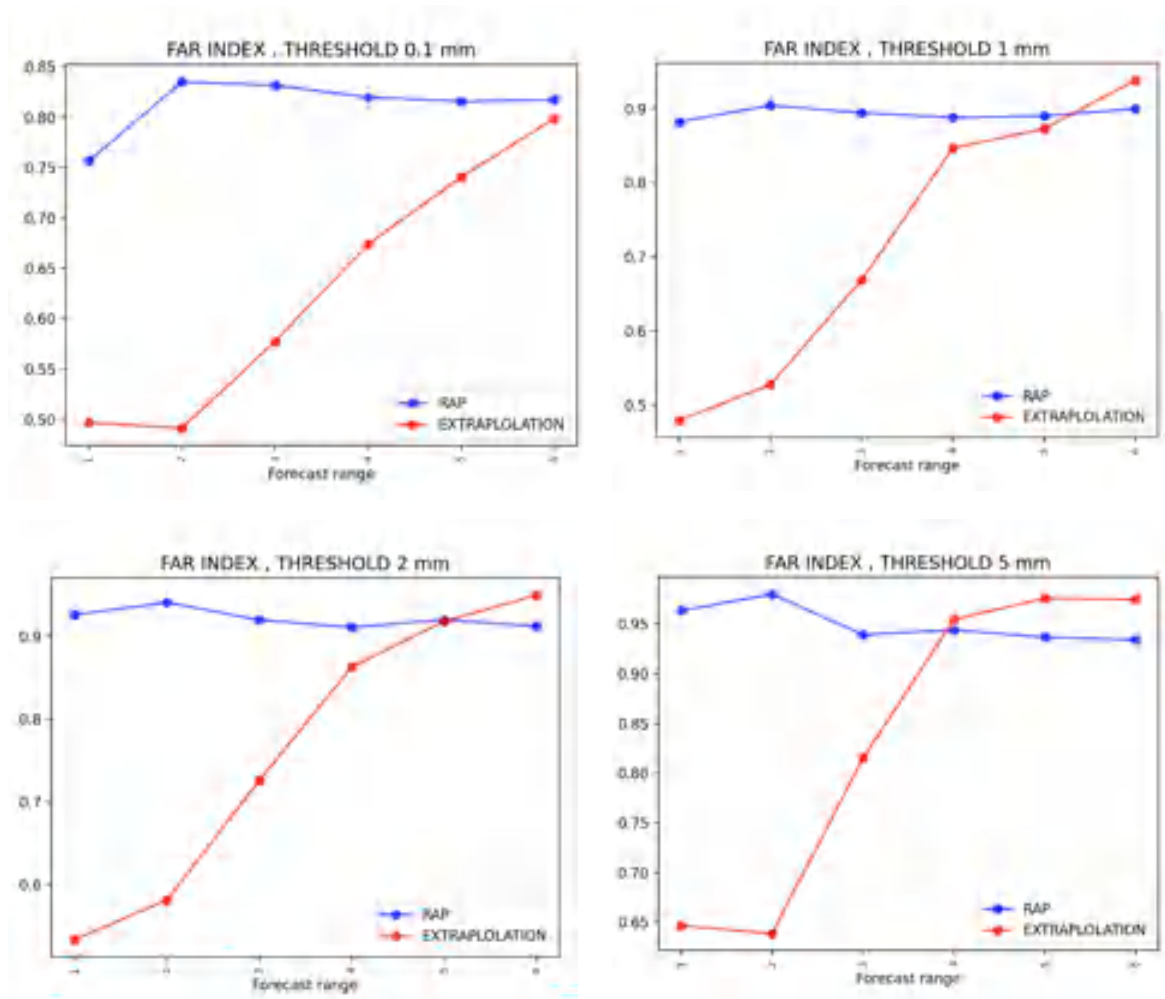
báo vùng mưa nhỏ, vừa và to thì ngoại suy ra-đa tốt hơn so với HCM-RAP nhưng với ngưỡng mưa lớn thì HCM-RAP lại cho thấy ưu thế của mình.



Hình 4. 20. Chỉ số đánh giá FBI của hệ thống HCM-RAP và ngoại suy ra-đa Nhà Bè với ngưỡng 0,1; 1; 2 và 5mm/h theo các hạn từ 1 đến 6h

Chỉ số dự báo FAR

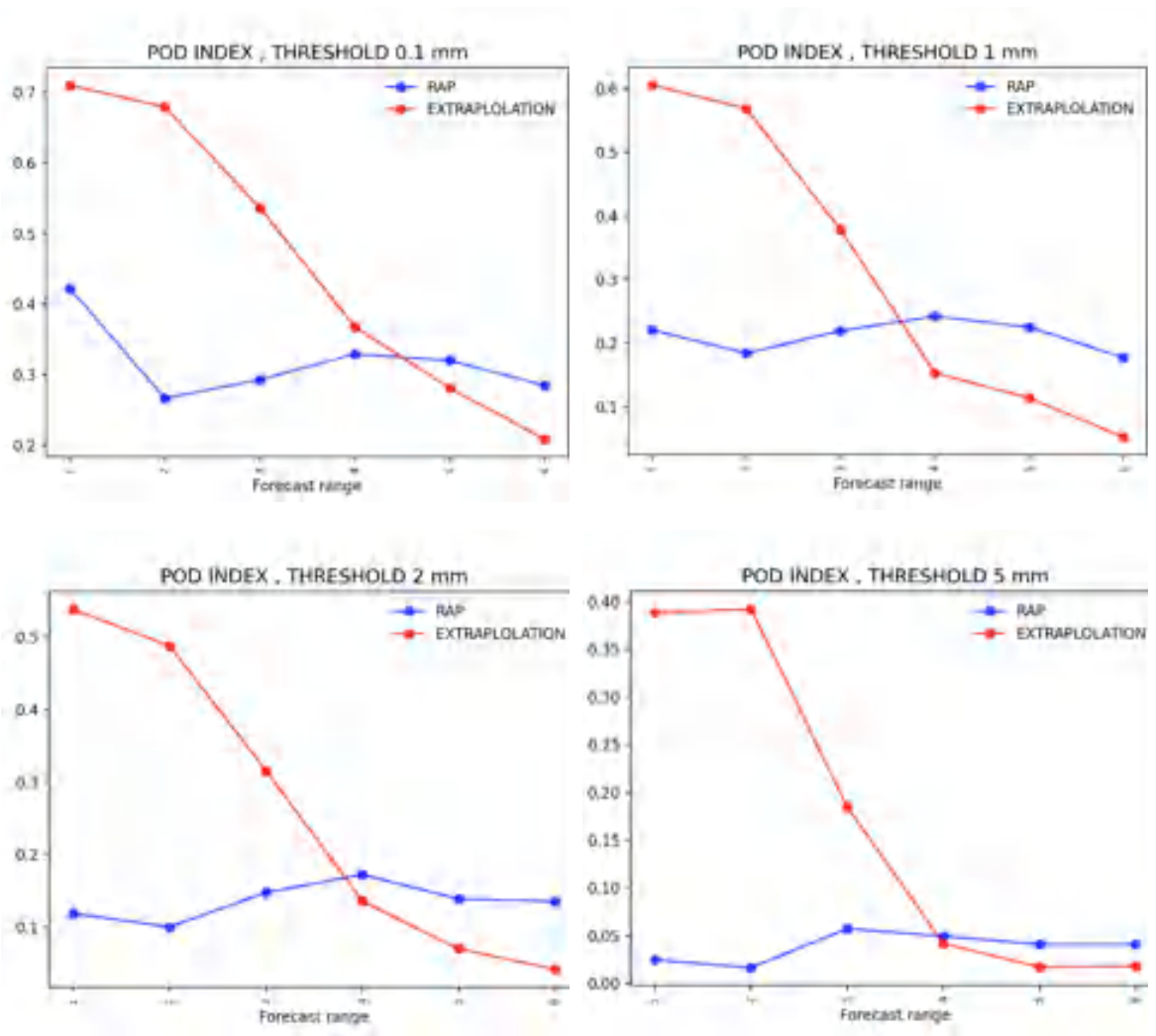
Hình 4.21 cho thấy chỉ số FAR của HCM-RAP đều khá cao so với ngoại suy ra-đa đối với tất cả ngưỡng có mưa trong khoảng 4h đầu. Đối với hạn từ 4-6h thì HCM-RAP cho điểm số FAR nhỉnh hơn ngoại suy ra-đa, đặc biệt ngưỡng mưa to và rất to.



Hình 4. 21. Chỉ số đánh giá FAR của hệ thống HCM-RAP và ngoại suy ra-đa Nhà Bè với ngưỡng 0,1; 1; 2 và 5mm/h theo các hạn từ 1 đến 6h

Chỉ số POD

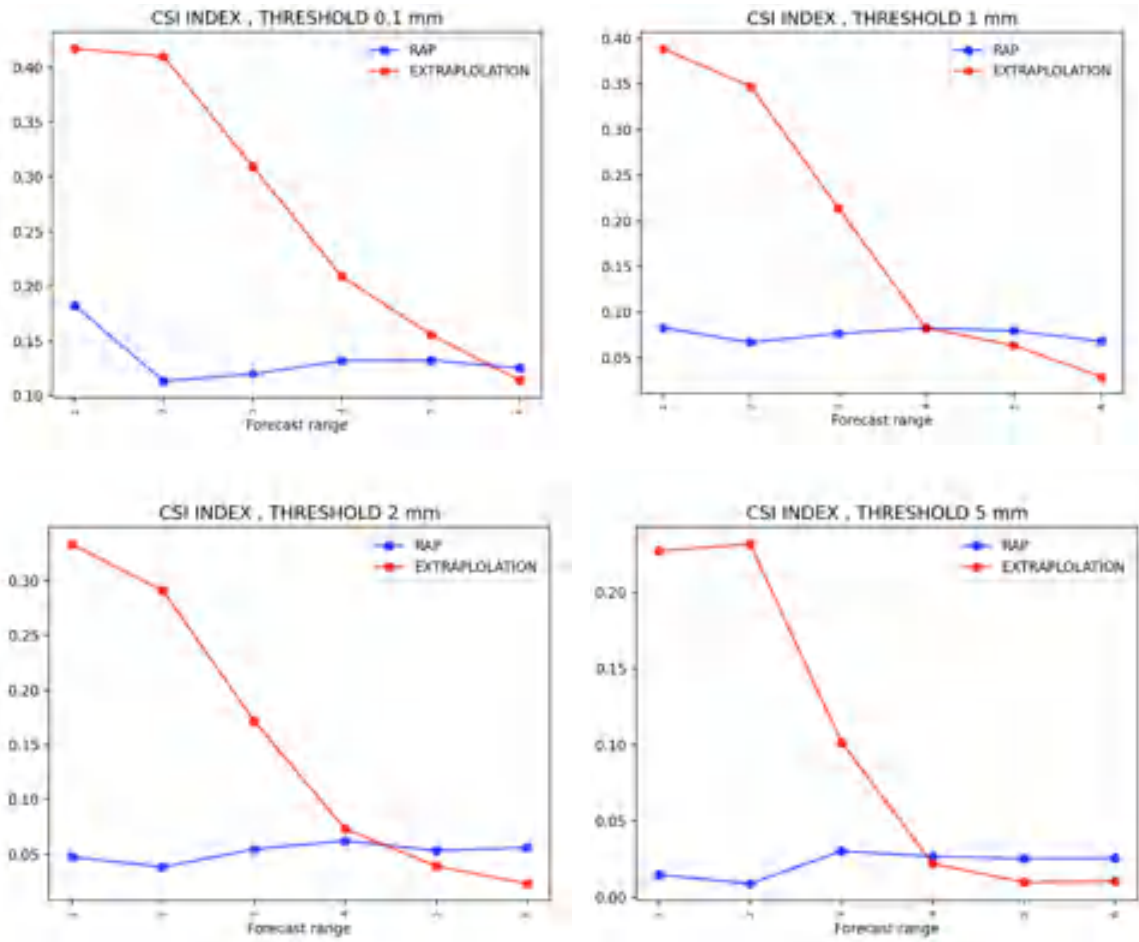
POD là xác suất xuất hiện hiện tượng trong hình 4.22. Đối với các hạn 1-4h và các ngưỡng mưa thì ngoại suy ra-đa tốt hơn HCM-RAP với POD khoảng 0,4 cho ngưỡng có mưa và giảm dần các ngưỡng mưa lớn hơn. Từ 4-6h thì HCM-RAP cho khả năng dự báo sự kiện mưa tốt hơn ngoại suy ra-đa, tuy nhiên POD chỉ nhạy đối với những hiện tượng không dự báo được chứ không nhạy đối với phát hiện sai.



Hình 4. 22. Chỉ số đánh giá POD của hệ thống HCM-RAP và ngoại suy ra-đa Nhà Bè với ngưỡng 0,1; 1; 2 và 5mm/h theo các hạn từ 1 đến 6h

Hình 4.23 cũng cho 1 bức tranh tương tự như các chỉ số trên, với 4h đầu ngoại suy ra-đa cho điểm số thành công tốt hơn so với HCM-RAP, đạt khoảng 0,3-0,4 hạn 1h với ngưỡng có mưa và giảm dần còn khoảng 0,2 ở các ngưỡng mưa lớn hơn đôi với hạn đến 4h, trong khi đó HCM-RAP trung bình khoảng 0,2. Đối với hạn 4-6h thì HCM_RAP cho thấy kỹ năng dự báo ngưỡng mưa lớn vượt lên hẳn so với ngoại suy ra-đa.

Điểm số CSI của ngoại suy ra-đa giảm khá nhanh (đường xu thế rất dốc) trong khi đó HCM-RAP cho một kĩ năng khá ổn định và giảm từ từ với các hạn dự báo và ngưỡng mưa.



Hình 4. 23. Chỉ số đánh giá CSI của hệ thống HCM-RAP và ngoại suy ra-đa Nhà Bè với ngưỡng 0,1; 1; 2 và 5mm/h theo các hạn từ 1 đến 6h

Thông qua các Hình 4.20 đến 4.23 cho thấy rằng trong 4h đầu ngoại suy ra-đa có kĩ năng hơn đối với tất cả các ngưỡng mưa. Tuy nhiên hạn từ 4-6h thì HCM-RAP thể hiện kĩ năng vượt lên so với ngoại suy ra-đa, đặc biệt ngưỡng mưa lớn (2mm/h và 5mm/h).

Kết quả này bổ sung thêm cho nghiên cứu của Mai Văn Khiêm và cộng sự về thử nghiệm ứng dụng ra-đa kết hợp mô hình số trị trong dự báo mưa hạn cực ngắn

[10], cụ thể giữa ngoại suy ra-đa bằng SWIRLS và hệ thống dự báo số trị quy mô đối lưu dựa trên mô hình WRF cho các dự báo đến 12h đối với 1 trường hợp bão năm 2021.

Điều này cho thấy, trong thực tế cần xây dựng kỹ thuật tổ hợp (blending) ngoại suy ra-đa và đồng hóa cập nhật nhanh từng giờ cho mỗi khu vực cụ thể theo từng mùa và từng hình thế gây ra nguy cơ mưa lớn hạn cực ngắn.

Tiểu kết Chương 4

Chương 4 đã trình bày các kết quả chính của Luận án, đã chỉ ra rằng đồng hóa số liệu ra-đa ZHVR và ZH có tác động mạnh mẽ chủ yếu ở 2h đầu của mô hình, hay vai trò của việc đưa số liệu ra-đa vào hệ thống mô hình HCM-RAP có tác dụng ở 2 giờ đầu. Do đó việc đồng hóa cập nhật số liệu ra-đa cho HCM-RAP thực hiện tốt nhất với tần suất đưa vào ít nhất là cách nhau 2h và 1h là tối ưu nhất.

Độ phản hồi có vai trò quyết định và ảnh hưởng nhiều nhất so với tốc độ gió xuyên tâm khi đồng hóa cập nhật nhanh đối với dự báo hạn cực ngắn và các ngưỡng mưa khác nhau cho khu vực TP.HCM và đồng hóa độ phản hồi kết hợp với tốc độ gió xuyên tâm cho mô hình WRF có thể cải thiện khoảng 2 lần so với với không đồng hóa.

Trong 4h đầu ngoại suy ra-đa có kỹ năng hơn đối với tất cả các ngưỡng mưa. Tuy nhiên hạn từ 4-6h thì HCM-RAP thể hiện kỹ năng vượt lên so với ngoại suy ra-đa. Đặc biệt ngưỡng mưa lớn (2mm/h và 5mm/h). Trong thực tế nghiệp vụ cần xây dựng kỹ thuật blending ngoại suy ra-đa và đồng hóa cập nhật nhanh từng giờ cho mỗi khu vực cụ thể theo từng mùa và từng hình thế gây ra nguy cơ mưa lớn hạn cực ngắn.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Kết luận

Đã xây dựng, thử nghiệm hệ thống đồng hóa cập nhật nhanh HCM-RAP dự báo mưa định lượng hạn cực ngắn (1-6h) cho khu vực TP.HCM. Số liệu ra-đa được xử lý và đồng hóa (độ phản hồi và tốc độ gió xuyên tâm) từng giờ với tần suất quan trắc ra-đa 15 phút cho với 7 cấu hình kết hợp sơ đồ tham số hóa vật lý khác nhau, theo 4 phương đồng hóa CTL, VR, ZH, ZHVR cho 15 đợt mưa trong 3 năm 2019-2021.

Đã phân tích, đánh giá kỹ năng dự báo của các cấu hình kết hợp tham số hóa cho hệ thống HCM-RAP theo phân bố không gian và tần suất theo các ngưỡng mưa đối với các hạn dự báo và xác định được bộ tham số phù hợp cho hệ thống HCM-RAP, đó là Kain-Fritsch loại 3 + New Thompson + Mellor-Yamada-Janjic và Betts-Miller-Janjic + New Thompson + Mellor-Yamada.

Luận án đã phân tích, đánh giá hiệu quả của các yếu tố quan trắc của ra-đa trong đồng hóa cập nhật nhanh và xác định được mức độ đóng góp cụ thể của độ phản hồi, tốc độ gió xuyên tâm đến độ chính xác của dự báo mưa tại các hạn dự báo 1-6h và các ngưỡng mưa khác nhau. Độ phản hồi có vai trò quyết định và ảnh hưởng nhiều nhất so với tốc độ gió xuyên tâm khi đồng hóa cập nhật nhanh đối với dự báo hạn cực ngắn và các ngưỡng mưa khác nhau cho khu vực TP. HCM và đồng hóa độ phản hồi kết hợp với tốc độ gió xuyên tâm có thể cải thiện khoảng 2 lần so với không đồng hóa.

Đồng hóa cập nhật số liệu ra-đa cho HCM-RAP thực hiện tốt nhất với tần suất cập nhật ít nhất là cách nhau 2h, và 1h là tối ưu nhất.

Trong 4h đầu ngoại suy ra-đa có kỹ năng hơn đối với tất cả các ngưỡng mưa, tuy nhiên hạn từ 4-6h thì HCM-RAP thể hiện kỹ năng vượt lên so với ngoại suy ra-đa, đặc biệt ngưỡng mưa lớn (2mm/h và 5mm/h), điều này bổ khuyết khoảng trống trên và cùng với ngoại suy mưa ra-đa hạn 1-3h nhằm nâng cao chất lượng dự báo mưa định lượng và cảnh báo mưa định lượng hạn cực ngắn cho khu vực TP.HCM.

Kiến nghị

- (1) Dự báo mưa định lượng hạn cực ngắn là vấn đề khó và đang là thách thức của thế giới và nước ta. Để hoàn thiện và đưa hệ thống HCM-RAP vào dự báo nghiệp vụ cần có nhiều thử nghiệm hơn trong việc cập nhật các số liệu quan trắc khác bên cạnh ra-đa như vệ tinh, bề mặt và kết hợp.
- (2) Hệ thống HCM-RAP khi đồng hóa kết hợp thêm nhiều lại dữ liệu quan trắc khác cần xử lý lọc nhiễu DF (Digital Filter)
- (3) Hệ thống HCM-RAP được xây dựng dựa trên đồng hoá 3DVAR nên vẫn còn có những hạn chế nội tại của 3DVAR, do đó cần có những thử nghiệm chuyển đổi/ bổ sung thử nghiệm các phương pháp khác như GSI, tổ hợp lọc Kalman, 4DVAR,... nhằm cải thiện tốt hơn kỹ năng dự báo mưa lớn hạn cực ngắn.
- (4) Ứng dụng trong dự báo nghiệp vụ mưa hạn cực ngắn cần nghiên cứu xây dựng kỹ thuật kết hợp (blending) ngoại suy ra-đa và đồng hóa cập nhật nhanh từng giờ cho mỗi khu vực, cụ thể theo từng mùa và từng hình thái gây ra nguy cơ mưa lớn hạn cực ngắn.

**DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC CỦA TÁC GIẢ
LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN**

1. **Trương Bá Kiên**, Phạm Thị Thanh Nga, Trần Duy Thức, Phùng Thị Mỹ Linh, Vũ Văn Thăng: Đánh giá chất lượng dự báo mưa định lượng của mô hình WRF cho khu vực Việt Nam, Tạp chí Khí tượng Thủy văn 2022, 738, 1-11.
2. Thang Vu Van, Thang Nguyen Van, Khiem Mai Van, Tien Du Duc, **Kien Truong Ba**, Thuc Tran Duy, Hung Mai Khanh and Lars Robert Hole, 2022, Assessment of heavy rainfall forecasts over the southern Vietnam by using WRF-ARW with different physical parameterization schemes, Disaster Advances Journal.
3. **Truong Ba Kien**, Vu Van Thang, Tran Duy Thuc, Pham Xuan Quan, Nguyen Quang Trung, 2020: Constructing Rapid Refresh system for rainfall nowcasting (0-6h) at Ho Chi Minh city, VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences, ISSN 2588-1094, Vol. 37, No. 4, 2021
4. **Trương Bá Kiên**, Trần Duy Thức, Lã Thị Tuyết: Nguyên nhân, cơ chế gây mưa lớn khu vực Thành phố Hồ Chí Minh ngày 24-26 tháng 10 năm 2016. Tạp chí khoa học Biến đổi khí hậu Số 13 - Tháng 3/2020
5. **Truong Ba Kien**, Tran Duy Thuc , Nguyen Quang Trung, Nguyen Binh Phong, Vu Van Thang: The ra-đa extrapolation for very short-range forecasting of rainfall at Ho Chi Minh city, 2021. JOURNAL OF CLIMATE CHANGE SCIENCE, NO. 19 - SEP. 2021

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Dư Đức Tiên và cộng sự, Nghiên cứu đồng hóa số liệu Ra-đa Đông Hà để nâng cao chất lượng dự báo mưa lớn cho khu vực miền Trung. Tạp chí Khí tượng Thủy văn 2013, số 632 tr.12-19. – 2013
2. Huỳnh Thị Hồng Ngự, La Thị Cang Đồng hóa số liệu bằng phương pháp biến phân bốn chiều trong dự báo thời tiết bằng phương pháp số trị, 2008, Tạp chí Khoa học công nghệ Vol 11, No.12
3. Lê Đức và cộng tác viên, 2007. Thử nghiệm khai thác số liệu vệ tinh địa tĩnh bổ sung trường ẩm cho mô hình nghiệp vụ HRM. Phần II: Phương pháp thực hiện và Kết quả nghiên cứu. Tạp chí KTTV, số 558.
4. Trần Hồng Thái và cộng sự, Phương pháp đồng hóa số liệu nudging cho quan trắc Ra-đa và tác động tới dự báo mưa lớn trên khu vực Bắc Bộ. tạp chí Khí tượng Thủy văn 2016, số 670 tr.1-6. – 2016
5. Trần Tân Tiến, Nguyễn Thị Thanh, 2011. Đồng hóa dữ liệu vệ tinh modis trong mô hình WRF để dự báo mưa lớn ở khu vực Trung Bộ
6. Dư Đức Tiên, 2016. Nghiên cứu ứng dụng nghiệp vụ mô hình bất thủy tĩnh để nâng cao chất lượng dự báo thời tiết cho khu vực Việt Nam. Báo cáo tổng kết đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ, Bộ Tài nguyên và Môi Trường.
7. Kiều Thị Xin và các cộng tác viên, 2005. Nghiên cứu dự báo mưa lớn diện rộng bằng công nghệ hiện đại phục vụ phòng chống lũ lụt ở Việt Nam. Báo cáo kết quả thực hiện đề tài KHCN độc lập cấp Nhà nước, Mã số : ĐTĐL-02/2002.
8. Ngô Đức Thành, 2014. Nghiên cứu xây dựng hệ thống đồng hoá tổ hợp cho mô hình thời tiết và hệ thống tổ hợp cho một số mô hình khí hậu khu vực nhằm dự báo và dự tính các hiện tượng thời tiết, khí hậu cực đoan. Báo cáo kết quả thực hiện đề tài KHCN độc lập cấp Nhà nước.
9. Trần Duy Thức, Công Thanh: Thử nghiệm đồng hóa dữ liệu ra-đa trong mô hình WRF để dự báo mưa lớn cho khu vực TP.HCM. Tạp chí Khoa học

ĐHQGHN: Các Khoa học Trái đất và Môi trường, Tập 34, Số 1S (2018) 59-70

10. VAN KHIEM, Mai et al. Case Study of Using the Blending Radar-Numerical Weather Prediction Product in Nowcasting. VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences, [S.l.], v. 37, n. 3, sep. 2021

Tài liệu tiếng Anh

11. Abdalla, S., et al. (2018). The impact of different physical parameterizations on the simulation of the rainfall over the eastern Mediterranean region using WRF model. *Atmospheric Research*, 200, 55-68.
12. Ali, M., et al. (2021). Impact of physical parameterization schemes on the WRF model simulation of extreme precipitation events over Pakistan. *Atmospheric Research*, 253, 105492.
13. Alviola, P. A., et al. (2014). Evaluation of WRF physics schemes for forecasting convective precipitation during the Philippine monsoon season. *Atmospheric Research*, 143, 377-392.
14. B. Chen et al. (2021): Evaluation of WRF Model Convection Schemes for Precipitation Forecasting in the Tropics
15. Barker, D. M., W. Huang, Y-R. Guo, A. J. Bourgeois, and Q. N. Xiao, 2004: A three-dimensional variational data assimilation system for MM5: Implementation and initial results. *Mon. Wea. Rev.*, 132, 897–914.
16. Benjamin, S. G., and Coauthors, 2004: An hourly assimilation-forecast cycle: The RUC. *Mon. Wea. Rev.*, 132, 495-518
17. Bennett A. F. (2002) *Inverse Modeling of the Ocean and Atmosphere*. Cambridge University Press, Cambridge
18. Bergthorsson P., Doos B. (1955) Numerical weather map analysis. *Tellus*, 7.
19. C. Lavado-Casimiro et al. (2016): Sensitivity of WRF simulated precipitation to convective parameterizations for the Andes Mountains
20. Cressman G. P. (1959) An operational objective analysis system. *Monthly Weather Review*, 87, 367

21. Charney J. et al. (1950) On a physical basis for numerical prediction of largescale motions in the atmosphere. *Journal of Meteorology*, 6,371.
22. Chen, F., & Dudhia, J. (2001). Coupling an advanced land surface–hydrology model with the Penn State–NCAR MM5 modeling system. Part I: Model implementation and sensitivity. *Monthly Weather Review*, 129(4), 569-585.
23. Chen, X., Zhang, Y., & Chen, F. (2020). Comparison of different parameterization schemes and cycling intervals for data assimilation using WRF model. *Meteorological Applications*, 27(1), e1831.
24. Chen, Y., & Zhang, Y. (2017). Impact of assimilation frequency on the simulation of a heavy rainfall event using the WRF model. *Atmospheric Research*, 194, 94-107.
25. Chen, Y., Chen, F., & Zhang, Y. (2018). Impact of different assimilation variables and cycling intervals on the simulation of a tropical cyclone over the South China Sea. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123(24), 13-864.
26. Chen, Y., Zhang, Y., & Chen, F. (2021). The impact of different assimilation frequency and assimilation variables on high-resolution numerical simulation of a heavy rainfall event. *Natural Hazards*, 107(1), 425-446.
27. Chen, Z., & Zhang, F. (2021). Impact of ra-đa radial velocity data assimilation on precipitation forecast: A case study with different background error covariance models. *Advances in Atmospheric Sciences*, 38(1), 95-106.
28. Daley P. (1991) *Atmospheric Data Analysis*. Cambridge Atmospheric and space Science Series, Cambridge University press. ISBN 0-521-38215-7,457
29. Espeholt, L., Agrawal, S., S nderby, C. et al. Deep learning for twelve hour precipitation forecasts. *Nat Commun* 13, 5145 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41467-022-32483-x>
30. Eugenia Kalnay, 2003, “Atmospheric Modeling, Data Assimilation and Predictability” Book

31. Nils Gustafsson, Tijana Janjić, Christoph Schraff, Daniel Leuenberger, Martin Weissmann, Hendrik Reich, Pierre Brousseau, Thibaut Montmerle, Eric Wattrelot, Antonín Bučánek, Máté Mile, Rafiq Hamdi, Magnus Lindskog, Jan Barkmeijer, Mats Dahlbom, Bruce Macpherson, Sue Ballard, Gordon Inverarity, Jacob Carley, Curtis Alexander, David Dowell, Shun Liu, Yasutaka Ikuta and Tadashi Fujita: Survey of data assimilation methods for convective-scale numerical weather prediction at operational centres, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 2017, 144(713), 1218-1256.
32. Feng, Z., Sun, J., Xie, B., Wu, Z., & Zhang, Y. (2019). Impact of a high-frequency assimilation system on the forecasting of extreme precipitation over the Yangtze River basin using the WRF model. *Atmospheric Research*, 215, 186-200.
33. Gao, J., Zhang, X., Liu, Y., & Xue, M. (2015). An OSSE-based evaluation of hybrid EnKF-3DVar and hybrid EnSRF-3DVar data assimilation schemes for ra-đa observations. *Monthly Weather Review*, 143(11), 4528-4550.
34. Ghil M. (1989) Meteorological data assimilation for oceanographers. Part I: description and theoretical framework. *Dynamics of Atmosphere and Oceans*, 13,171.
35. Grell, G. A., & Devenyi, D. (2002). A generalized approach to parameterizing convection combining ensemble and data assimilation techniques. *Geophysical Research Letters*, 29(14), 1693.
36. Guo, Z., Wang, Y., & Sun, J. (2018). Assimilation of ra-đa reflectivity data with WRF 3DVAR for precipitation forecasting. *Journal of Hydrometeorology*, 19(7), 1091-1110.
37. Gilchrist B., Cressman G. (1954) An experiment in objective analysis. *Tellus* 6, 309.
38. H. Lin et al. (2018)"Evaluation of Convective Parameterization Schemes for Extreme Precipitation Events in East China with WRF Model" by

39. Huang, B., & Zhang, H. (2013). Evaluation of cumulus parameterizations in the WRF model using satellite and reanalysis data. *Journal of Climate*, 26(21), 8401-8416.
40. Huang, Y., Li, X., Li, Y., Li, G., Zhang, X., & He, J. (2020). Effect of different cycling frequencies of data assimilation on the simulation of a mesoscale convective system using WRF. *Journal of Meteorological Research*, 34(3), 439-453.
41. Jain, P., Mandal, M., & Ghosh, S. (2020). Sensitivity analysis of physical parameterization schemes for the prediction of the Indian summer monsoon using the WRF model. *Atmospheric Research*, 233, 104708.
42. James O. Pinto, Joseph A. Grim, and Matthias Steiner, 2015. Assessment of the High-Resolution Rapid Refresh Model's Ability to Predict Mesoscale Convective Systems Using Object-Based Evaluation. <https://doi.org/10.1175/WAF-D-14-00118.1>.
43. Jiang, H., & Ren, X. (2021). Evaluation of the performance of the hourly data assimilation approach in a high-resolution model for a heavy rainfall event in eastern China. *Atmospheric Research*, 249, 105318.
44. Li, Y., Li, H., Huang, L., Liu, X., & Zhu, H. (2017). Hourly cycling assimilation of radar data for a squall line in South China using WRF. *Advances in Atmospheric Sciences*, 34(1), 97-110.
45. Li, Y., Li, H., Wang, S., Zhang, X., & Wu, D. (2018). Comparison of the MYJ and YSU planetary boundary layer schemes in simulating typhoon rainbands over eastern China using WRF. *Atmospheric Research*, 208, 150-164.
46. Li, Y., Li, Y., & Wang, P. (2019). Impact of cycling frequency of the WRF model with different data assimilation schemes on a heavy rainfall case. *Atmosphere*, 10(10), 607.
47. Lions J. L. (1968) Contrôle optimal de systèmes gouvernés par des équations aux dérivées partielles. Dunod

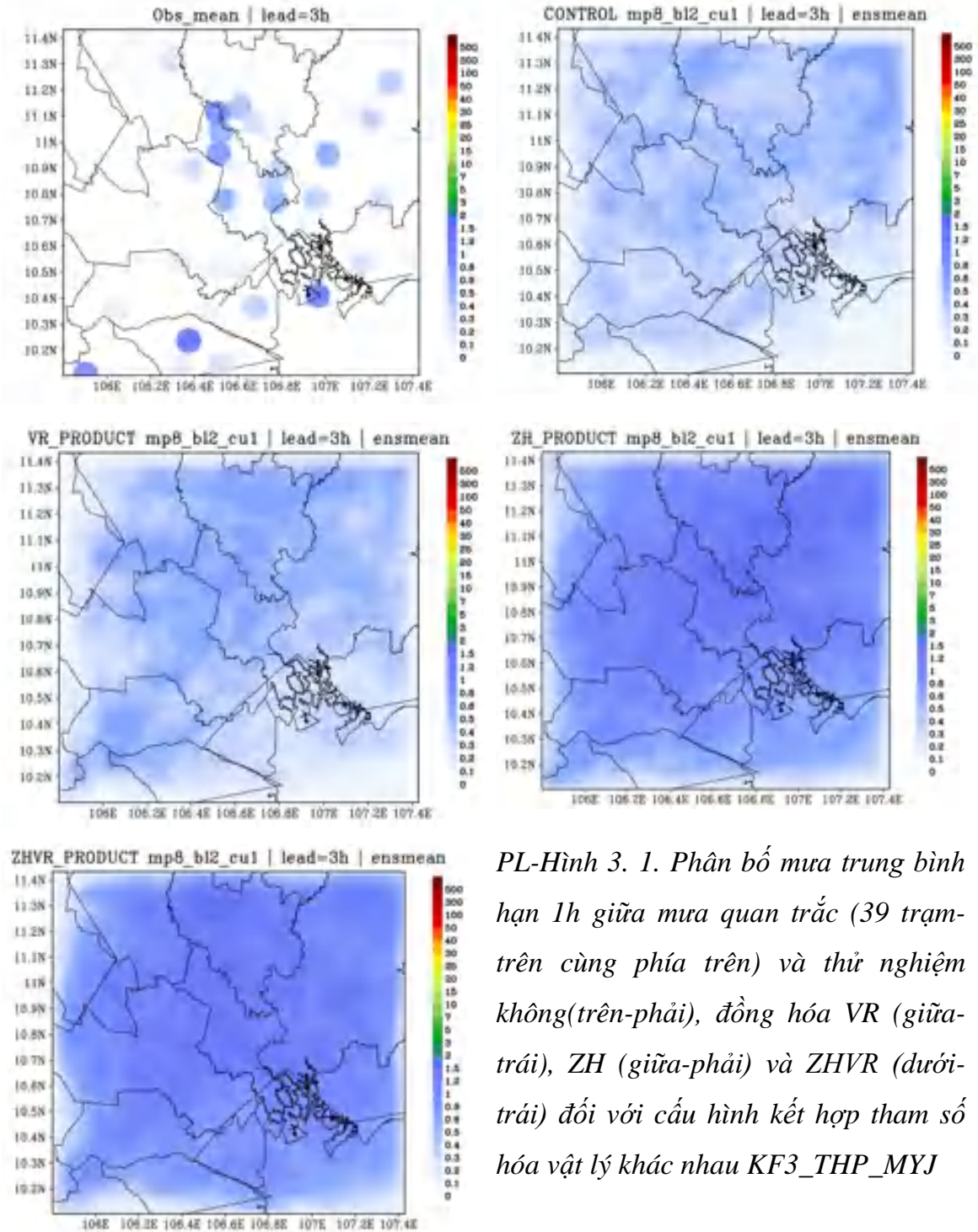
48. Liu, C., Liu, Y., Han, W., & Ma, X. (2017). Comparing the effects of ra-đa radial velocity and reflectivity data assimilation on short-term quantitative precipitation forecasting using the WRF model. *Atmospheric Research*, 185, 51-62.
49. Liu, Q., Liu, Y., & Li, Y. (2019). Improving short-term precipitation prediction through high-frequency cycling assimilation with the WRF model. *Journal of Hydrology*, 573, 787-798.
50. Liu, Y., Liu, Y., & Fu, Y. (2020). A review of ra-đa data assimilation for precipitation nowcasting: Development, challenges, and prospects. *Remote Sensing*, 12(10), 1581.
51. Liu, Y., Wang, P., & Li, Y. (2018). Effects of different cycling intervals of data assimilation on the simulation of a typhoon event using WRF model. *Journal of Meteorological Research*, 32(5), 749-764.
52. Liu, Y., Wang, P., & Li, Y. (2019). Impact of assimilation frequency on the simulation of a heavy rainfall event using the WRF model. *Atmosphere*, 10(3), 139.
53. Lorenc A. C. (1986) Analysis methods for numerical weather prediction. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 112, 1177
54. M. Asch, M. Bocquet and M. Nodet, 2017. *Data Assimilation Methods, Algorithms, and Applications*. SIAM, ISBN 978-1-611974-53-9
55. Ma, X., Huang, X., Zhang, Y., & Sun, J. (2016). A case study on hourly cycling data assimilation for a convective system over East Asia using WRF. *Advances in Atmospheric Sciences*, 33(2), 265-278.
56. N. Aryal et al. (2019): Performance Evaluation of WRF Model for Rainfall Forecasting over the Great Himalayas: A Sensitivity Study
57. P. Kumar et al. (2020): Evaluation of Convection Schemes in WRF Model for Tropical Precipitation Forecasting over South Asia

58. Parween, S., et al. (2020). Performance of WRF-ARW model with different physical parameterization schemes in simulating extreme rainfall over Uttarakhand. *Atmospheric Research*, 238, 104857.
59. S. Zhang et al. (2013): Performance of WRF Model Physics Parameterization Schemes over the Tibetan Plateau
60. Skamarock, W.C., J.B. Klemp, J. Dudhia, D.O. Gill, D.M. Barker, M.G. Duda, X.-Y. Huang, W. Wang, and J.G. Powers (2008). A description of the advanced research WRF version 3. NCAR Technical Note, NCAR/TN-475+STR
61. Sun, J., Crook, N. A., & Olson, W. S. (2005). An advanced ensemble-based assimilation method for ra-đa and conventional data. Part I: Formulation and simple assimilation tests. *Monthly Weather Review*, 133(5), 889-904.
62. Sun, J., Snyder, C., & Zhang, Y. (2021). The impact of Doppler ra-đa radial velocity data assimilation on QPF in high-resolution WRF forecasts. *Weather and Forecasting*, 36(2), 513-526.
63. Sun, J., Yin, X., & Li, W. (2018). Impact of hourly data assimilation on the prediction of a summer heavy rain event over Beijing, China. *Atmospheric Research*, 201, 77-90.
64. Sun, J., Zhang, F., & Xue, M. (2014). An hourly cycling assimilation system for ra-đa data with the WRF model part I: Implementation and preliminary tests. *Monthly Weather Review*, 142(6), 1996-2015.
65. Sun, J., Zhang, F., Wang, Y., & Xue, M. (2018). Assimilating ra-đa reflectivity and radial velocity data with an hourly cycling WRF system for forecasting of a heavy rainfall event over Beijing. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123(1), 337-352.
66. Tan, J., et al. (2018). Impact of physics parameterization schemes on the WRF modeling of a torrential rain event in Sichuan, China. *Atmospheric Research*, 200, 90-101.

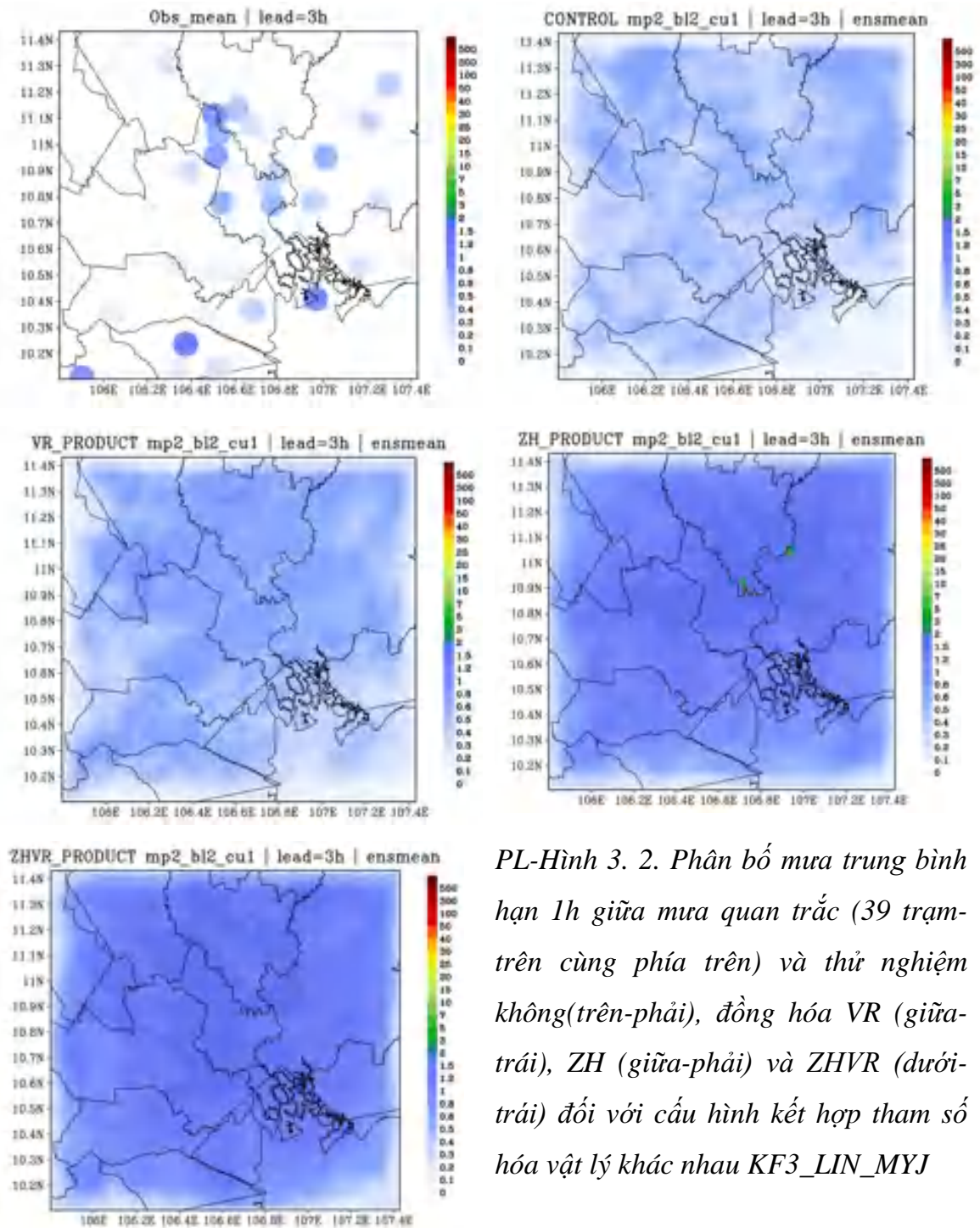
67. Tong, C., Zhang, Y., Wang, X., & Chen, H. (2015). The impact of different assimilation cycles on WRF model precipitation forecasts. *Advances in Meteorology*, 2015, 10.
68. Tong, K., Chen, Y., & Zhang, Y. (2019). Comparison of the impacts of hourly and 3-hourly data assimilation on the simulation of a heavy rainfall event using WRF. *Atmospheric Research*, 220, 87-100.
69. Tong, M., Xue, M., & Gao, J. (2015). The impact of ra-đa reflectivity and radial velocity data assimilation with WRF 3DVAR on the prediction of a high-precipitation event over the central United States. *Journal of Hydrometeorology*, 16(3), 1056-1073.
70. Tong, M., Xue, M., & Gao, J. (2016). A comparison of ra-đa reflectivity data assimilation and radial velocity data assimilation with the WRF 3DVAR system for precipitation prediction. *Advances in Atmospheric Sciences*, 33(2), 216-229.
71. Thomas Schwitalla and Volker Wulfmeyer, 2013: Ra-đa data assimilation experiments using the IPM WRF Rapid Update Cycle
72. Wang, P., Li, Y., & Li, Y. (2019). Effects of different cycling intervals of data assimilation on a heavy precipitation case using WRF model. *Journal of Meteorological Research*, 33(4), 643-656.
73. Wang, P., Li, Y., & Li, Y. (2019). Effects of different cycling intervals of data assimilation on a heavy precipitation case using WRF model. *Journal of Meteorological Research*, 33(4), 643-656.
74. Jin Jang Hong, Introduction to the data assimilation, Toward 3DVAR/EnKF/Hybrid ensemble-3DVAR, CWB, 2018
75. Wang, X., Li, H., Li, J., Li, X., Li, Y., & Yu, W. (2020). Comparison of 3-h and hourly cycling data assimilation schemes for improving heavy precipitation prediction with ra-đa data. *Atmospheric Research*, 241, 104969.
76. Wang, Y., Zhao, Y., Li, X., & Li, H. (2018). An improved hourly cycling assimilation system for ra-đa reflectivity data in the WRF model for precipitation forecasting. *Atmospheric Research*, 203, 10-20.

77. Wu, D., Hu, X. M., Wang, J., & Chen, X. (2019). Assessment of WRF-based ra-đa reflectivity and radial velocity assimilation for quantitative precipitation forecasting. *Atmospheric Research*, 218, 54-66.
78. Yang, H., Zhang, J. A., & Zhong, S. (2019). Assimilating hourly SSMIS radiance data with WRF-based ensemble data assimilation system for the prediction of a torrential rain event. *Atmospheric Research*, 217, 45-60.
79. Zhang, X., Wang, Y., & Xue, M. (2011). Evaluation of ra-đa reflectivity data assimilation using ensemble Kalman filter for precipitation forecasting with the WRF model. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 50(5), 1030-1048.
80. Zhang, Y., & Zheng, W. (2021). Investigation of hourly cycling data assimilation for high-impact weather prediction using the WRF model: A case study of a severe convection event. *Advances in Atmospheric Sciences*, 38(7), 837-852.
81. Zhang, Y., Xie, B., & Sun, J. (2019). High-frequency assimilation experiments with the WRF model for the prediction of a heavy precipitation event over the Yangtze River valley. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 124(12), 6334-6354.
82. Zhao, Y., Wang, Y., Li, X., & Li, H. (2016). A study of assimilating ra-đa reflectivity data for short-term precipitation forecasting with the WRF model. *Atmospheric Research*, 169, 11-19.
83. <http://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/downloads.html>.

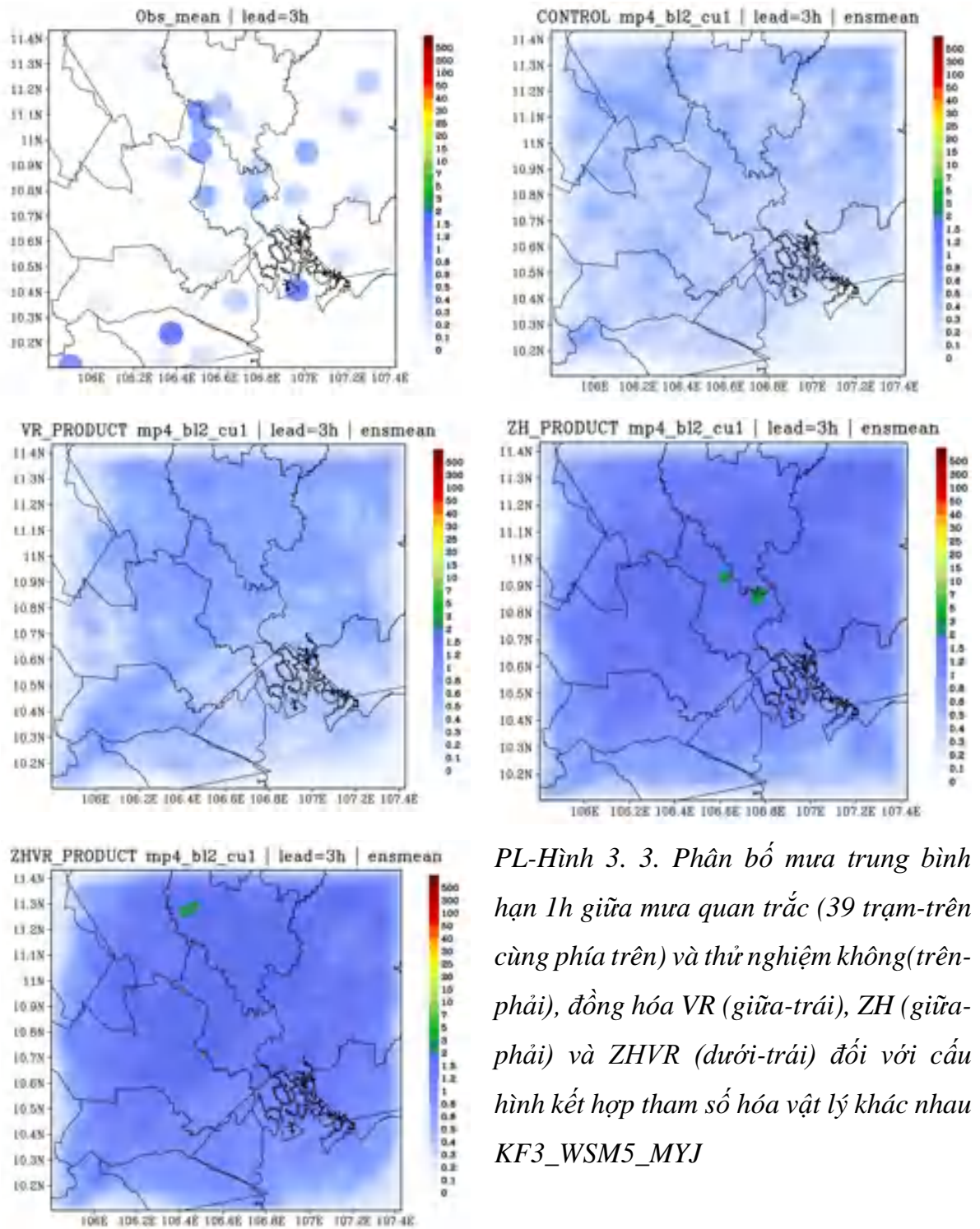
PHỤ LỤC



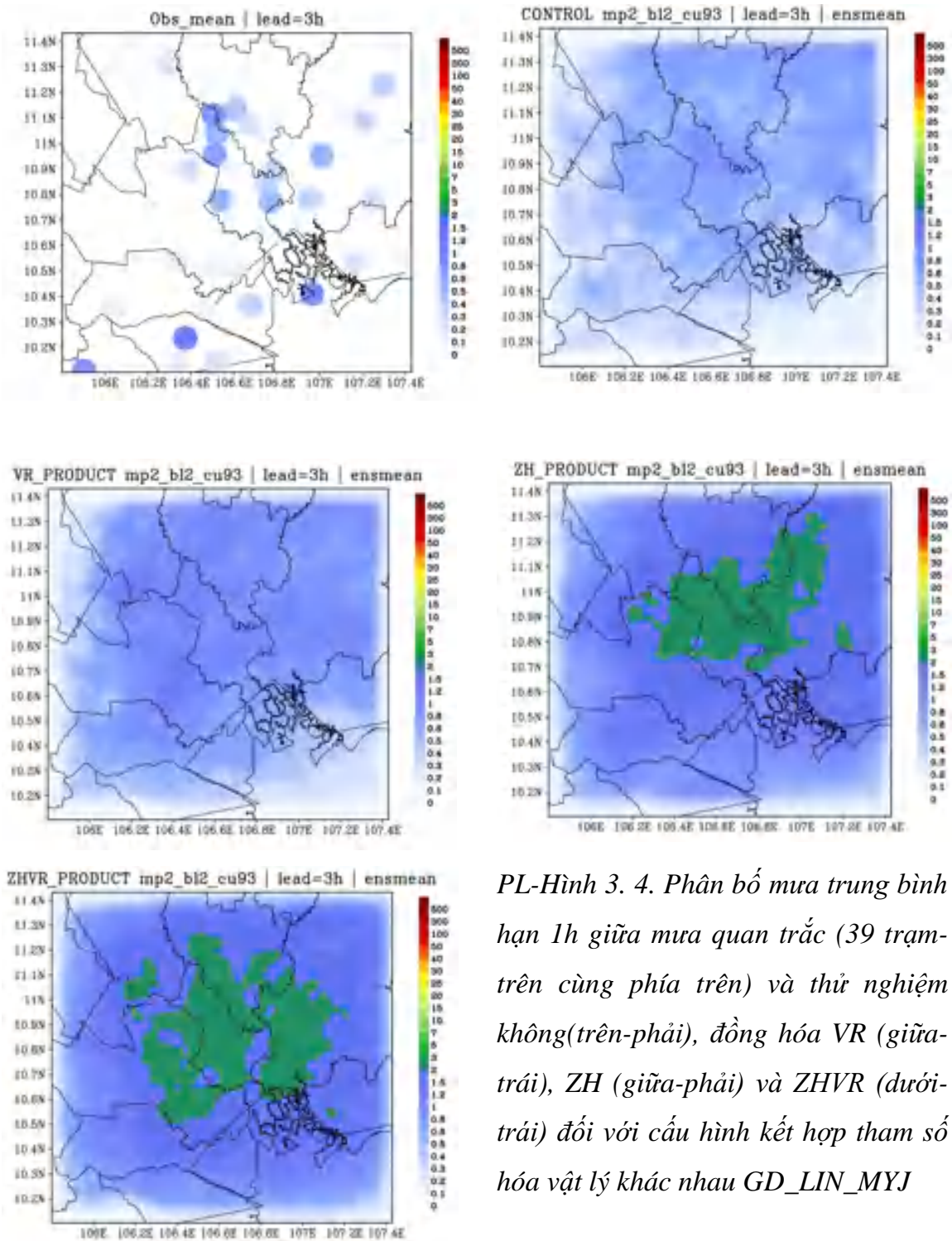
PL-Hình 3. 1. Phân bố mưa trung bình hạn 1h giữa mưa quan trắc (39 trạm-trên cùng phía trên) và thử nghiệm không(trên-phải), đồng hóa VR (giữa-trái), ZH (giữa-phải) và ZHVR (dưới-trái) đối với cấu hình kết hợp tham số hóa vật lý khác nhau KF3_THP_MYJ



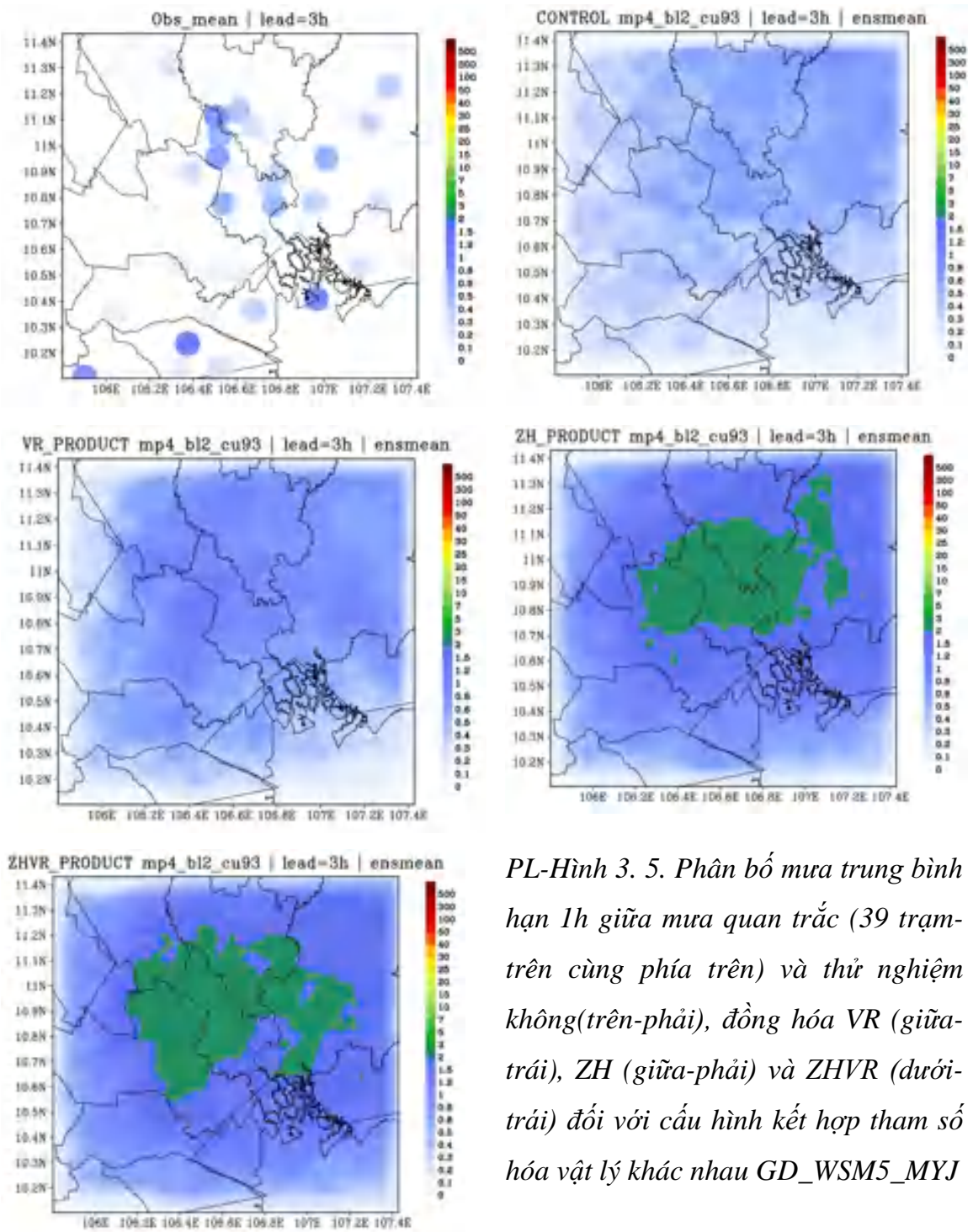
PL-Hình 3. 2. Phân bố mưa trung bình hạn 1h giữa mưa quan trắc (39 trạm-trên cùng phía trên) và thử nghiệm không(trên-phải), đồng hóa VR (giữa-trái), ZH (giữa-phải) và ZHVR (dưới-trái) đối với cấu hình kết hợp tham số hóa vật lý khác nhau KF3_LIN_MYJ



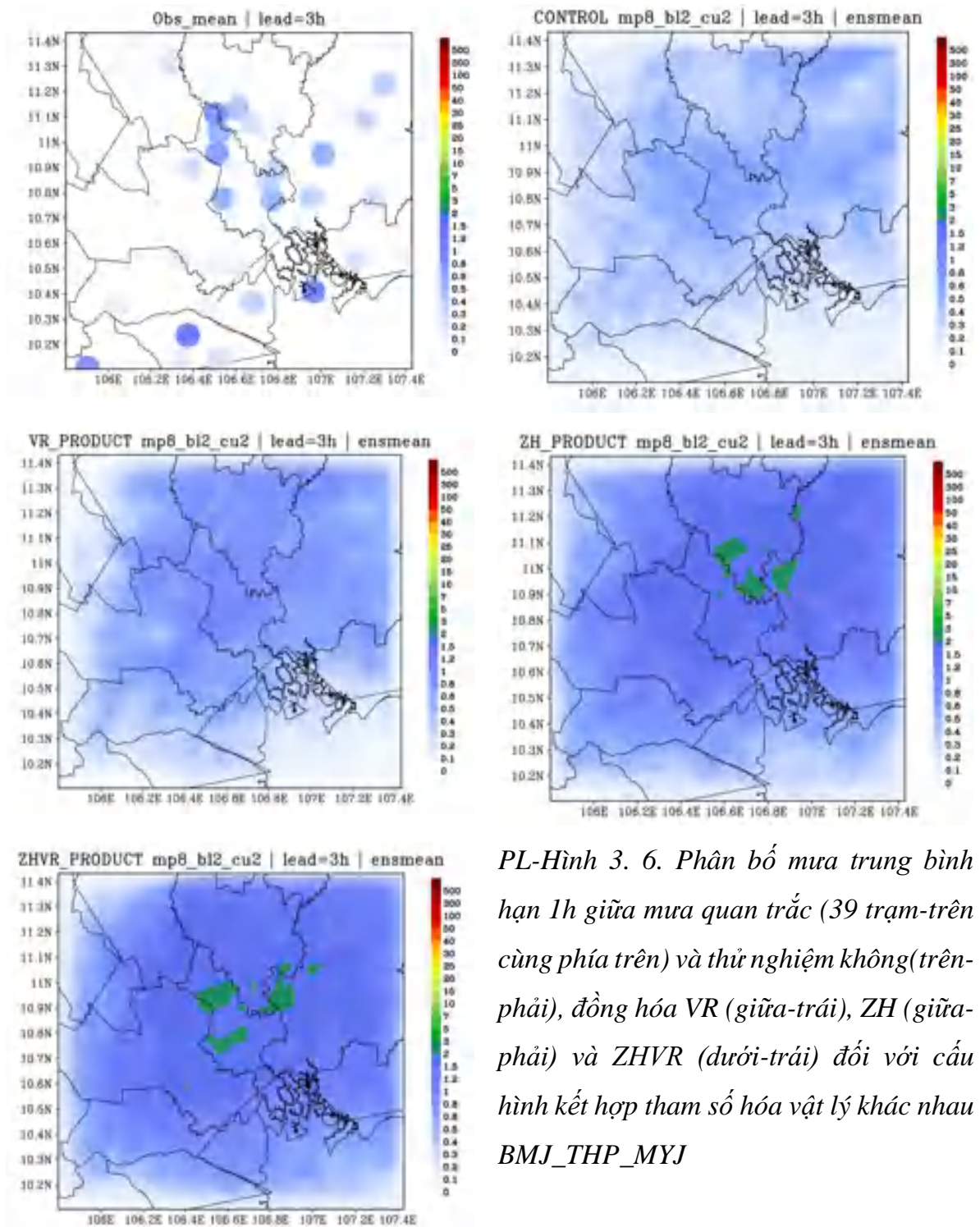
PL-Hình 3. 3. Phân bố mưa trung bình hạn 1h giữa mưa quan trắc (39 trạm-trên cùng phía trên) và thử nghiệm không (trên-phải), đồng hóa VR (giữa-trái), ZH (giữa-phải) và ZHVR (dưới-trái) đối với cấu hình kết hợp tham số hóa vật lý khác nhau KF3_WSM5_MYJ



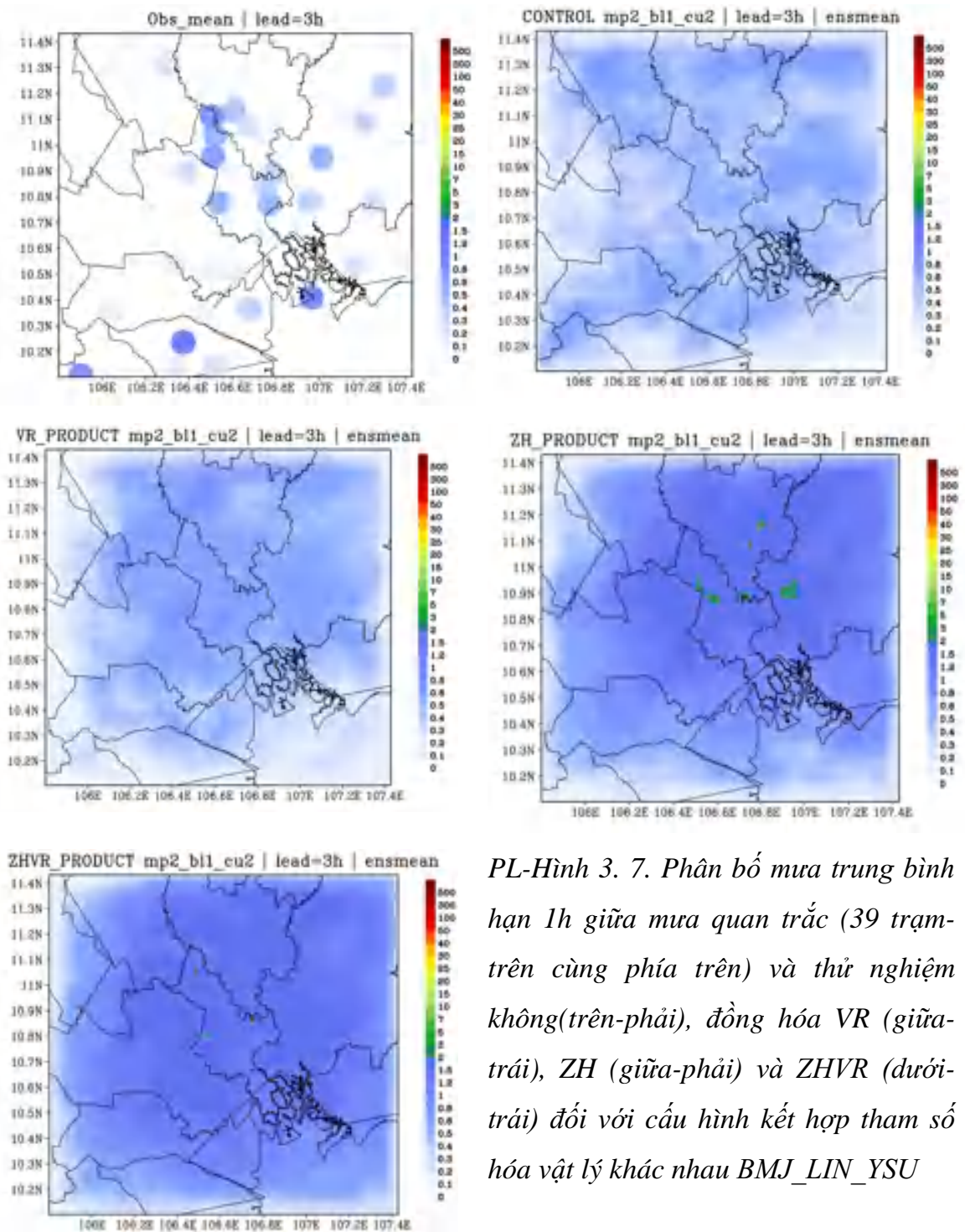
PL-Hình 3. 4. Phân bố mưa trung bình hạn 1h giữa mưa quan trắc (39 trạm-trên cùng phía trên) và thử nghiệm không(trên-phải), đồng hóa VR (giữa-trái), ZH (giữa-phải) và ZHVR (dưới-trái) đối với cấu hình kết hợp tham số hóa vật lý khác nhau GD_LIN_MYJ



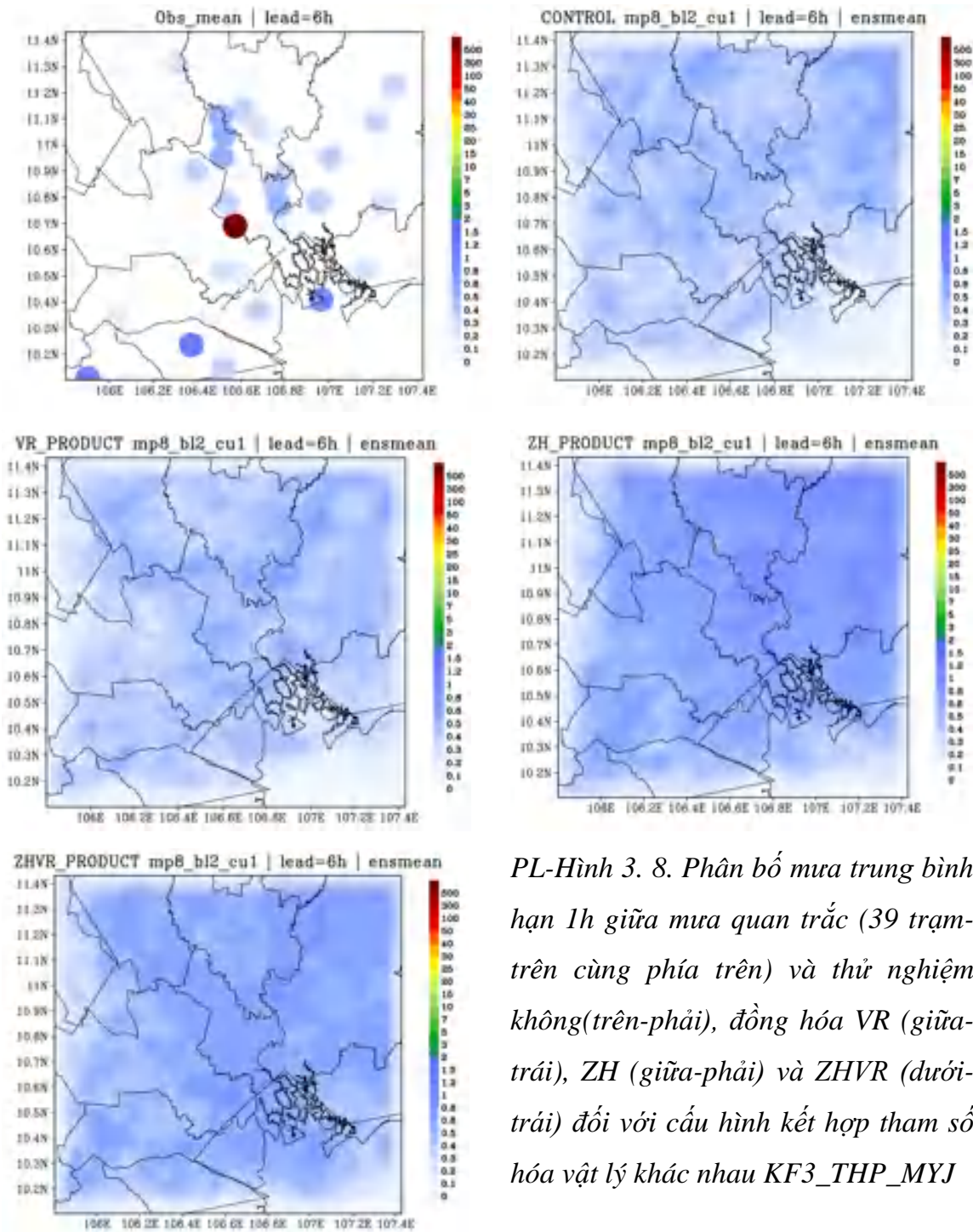
PL-Hình 3. 5. Phân bố mưa trung bình hạn 1h giữa mưa quan trắc (39 trạm trên cùng phía trên) và thử nghiệm không(trên-phải), đồng hóa VR (giữa-trái), ZH (giữa-phải) và ZHVR (dưới-trái) đối với cấu hình kết hợp tham số hóa vật lý khác nhau GD_WSM5_MYJ



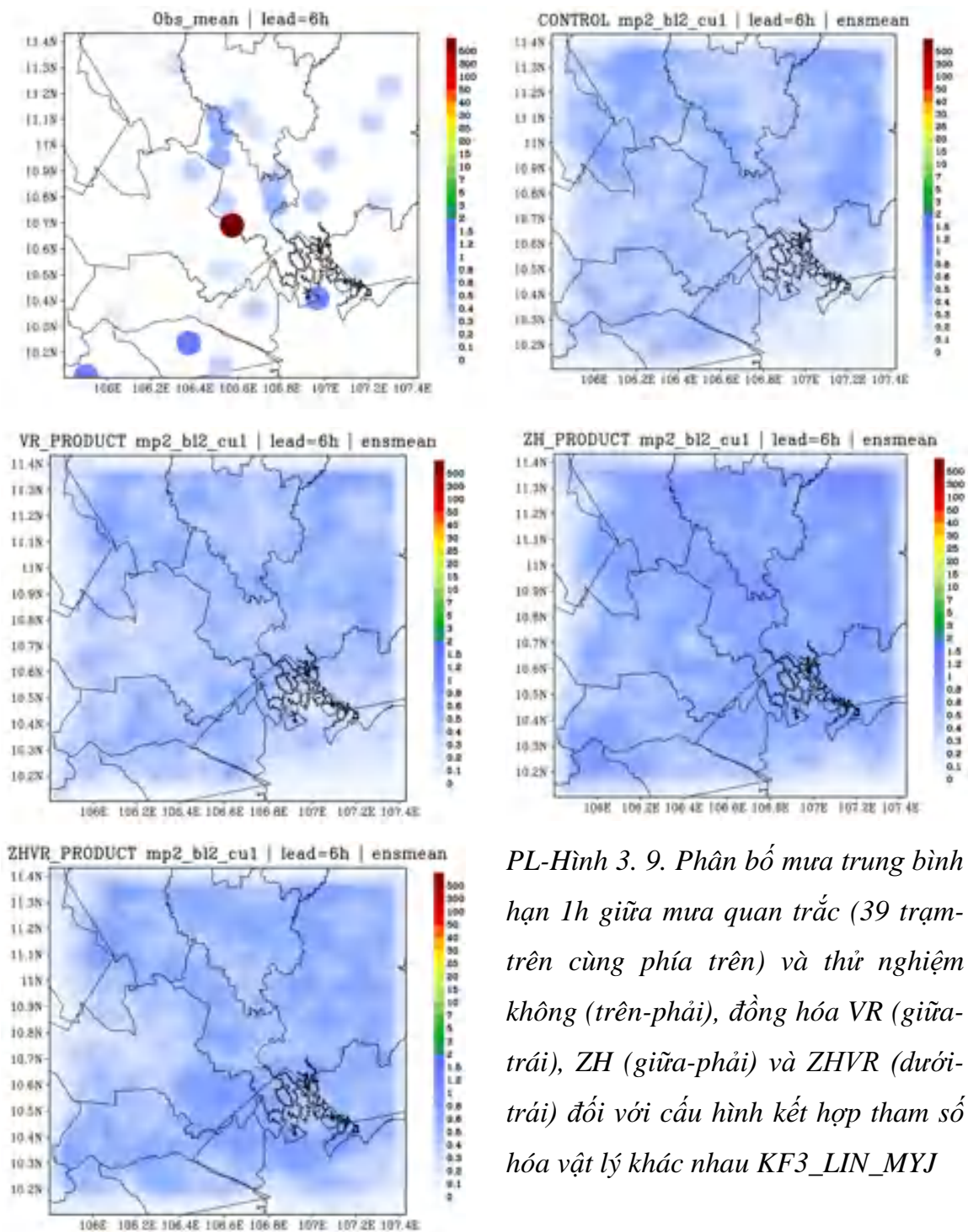
PL-Hình 3. 6. Phân bố mưa trung bình hạn 1h giữa mưa quan trắc (39 trạm-trên cùng phía trên) và thử nghiệm không(trên-phải), đồng hóa VR (giữa-trái), ZH (giữa-phải) và ZHVR (dưới-trái) đối với cấu hình kết hợp tham số hóa vật lý khác nhau BMJ_THP_MYJ



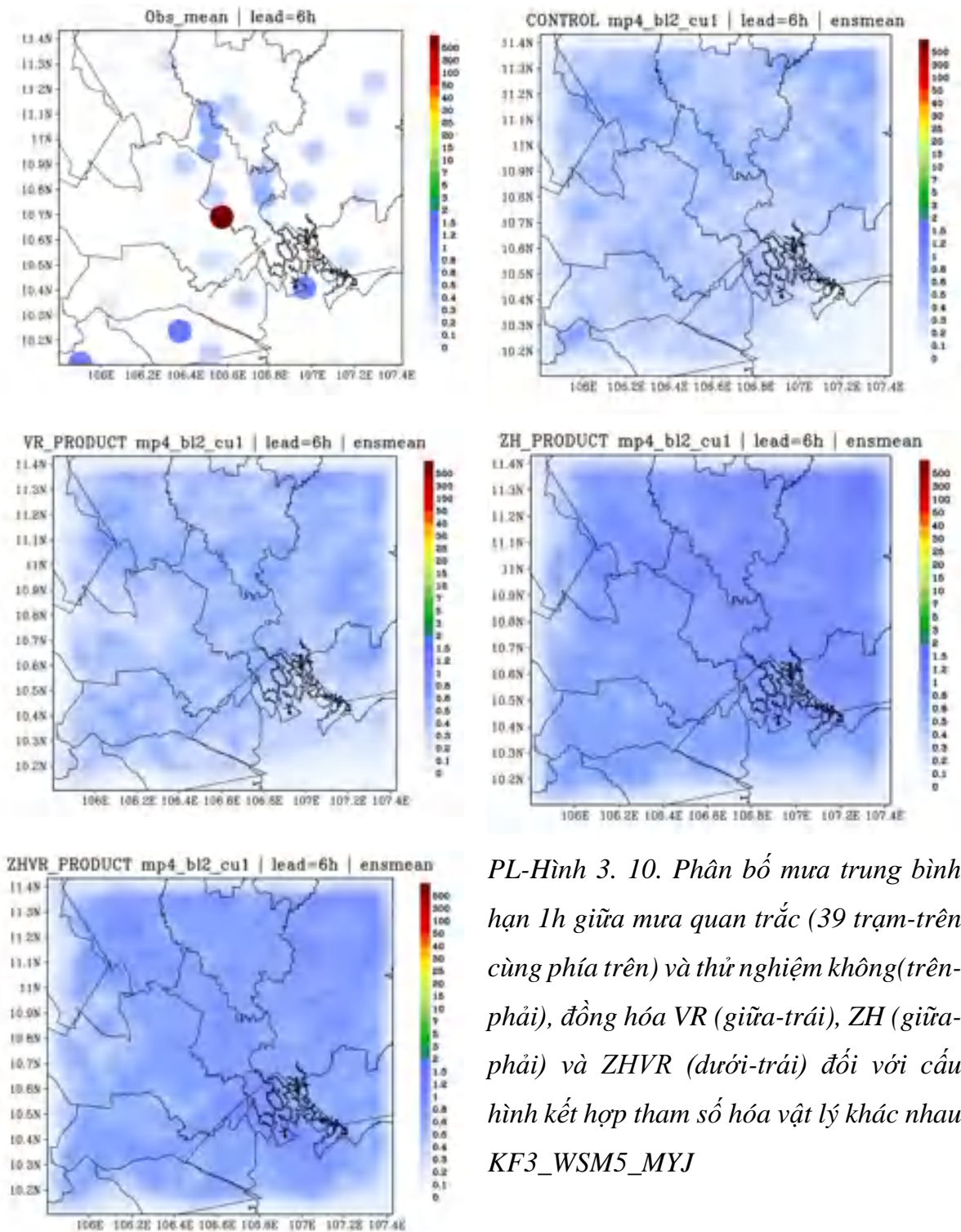
PL-Hình 3. 7. Phân bố mưa trung bình hạn 1h giữa mưa quan trắc (39 trạm-trên cùng phía trên) và thử nghiệm không(trên-phải), đồng hóa VR (giữa-trái), ZH (giữa-phải) và ZHVR (dưới-trái) đối với cấu hình kết hợp tham số hóa vật lý khác nhau BMJ_LIN_YSU



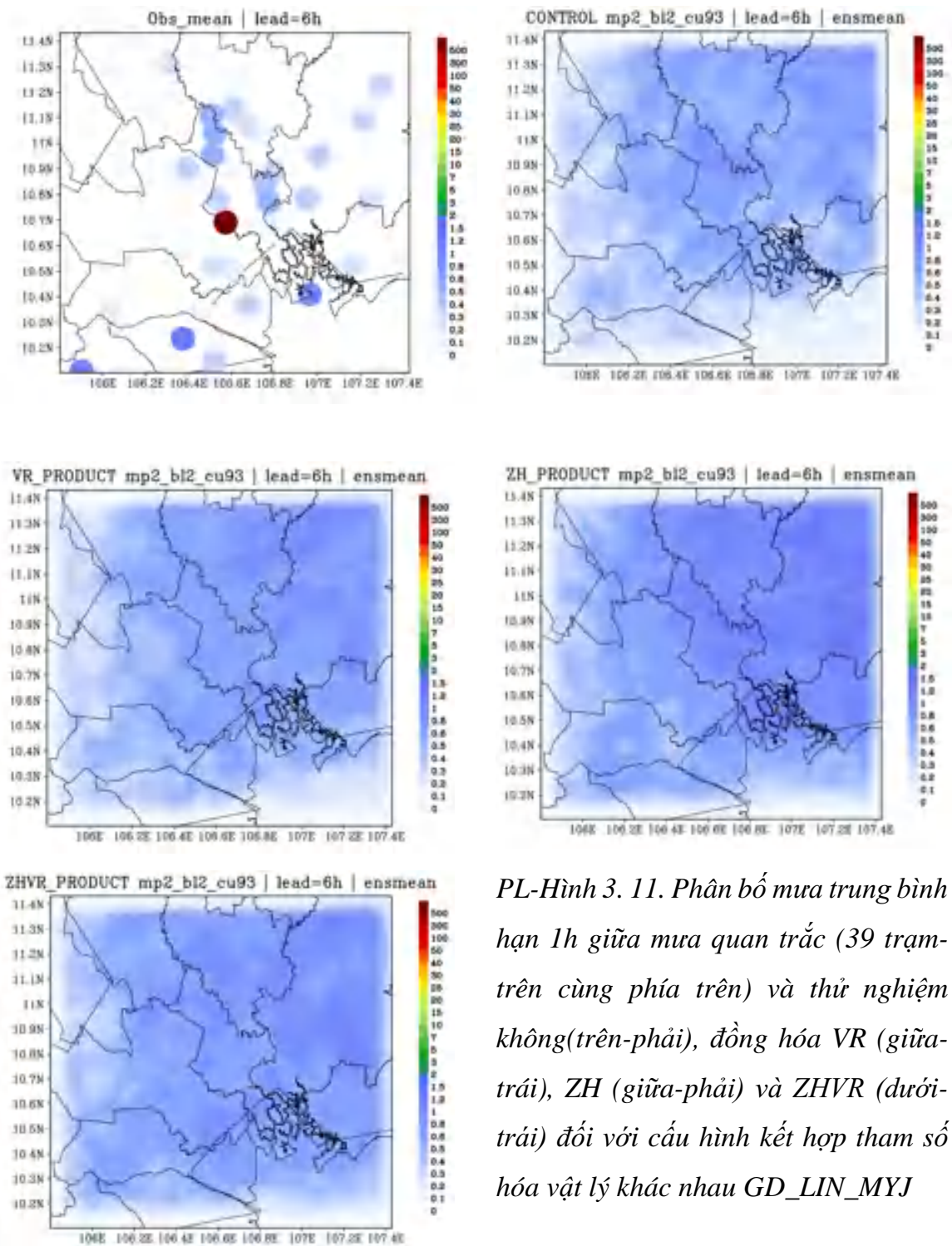
PL-Hình 3. 8. Phân bố mưa trung bình hạn 1h giữa mưa quan trắc (39 trạm-trên cùng phía trên) và thử nghiệm không(trên-phải), đồng hóa VR (giữa-trái), ZH (giữa-phải) và ZHVR (dưới-trái) đối với cấu hình kết hợp tham số hóa vật lý khác nhau KF3_THP_MYJ



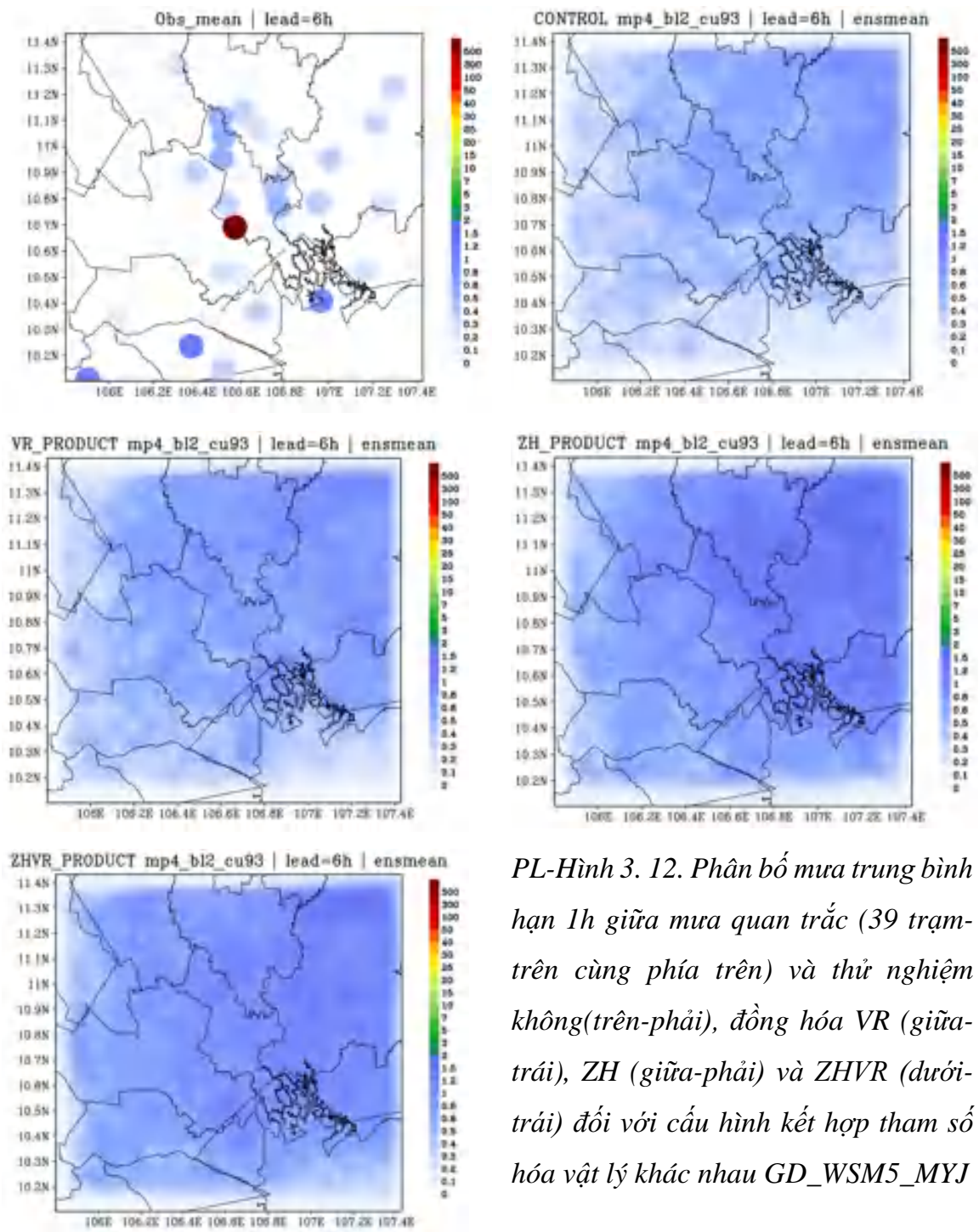
PL-Hình 3. 9. Phân bố mưa trung bình hạn 1h giữa mưa quan trắc (39 trạm-trên cùng phía trên) và thử nghiệm không (trên-phải), đồng hóa VR (giữa-trái), ZH (giữa-phải) và ZHVR (dưới-trái) đối với cấu hình kết hợp tham số hóa vật lý khác nhau KF3_LIN_MYJ



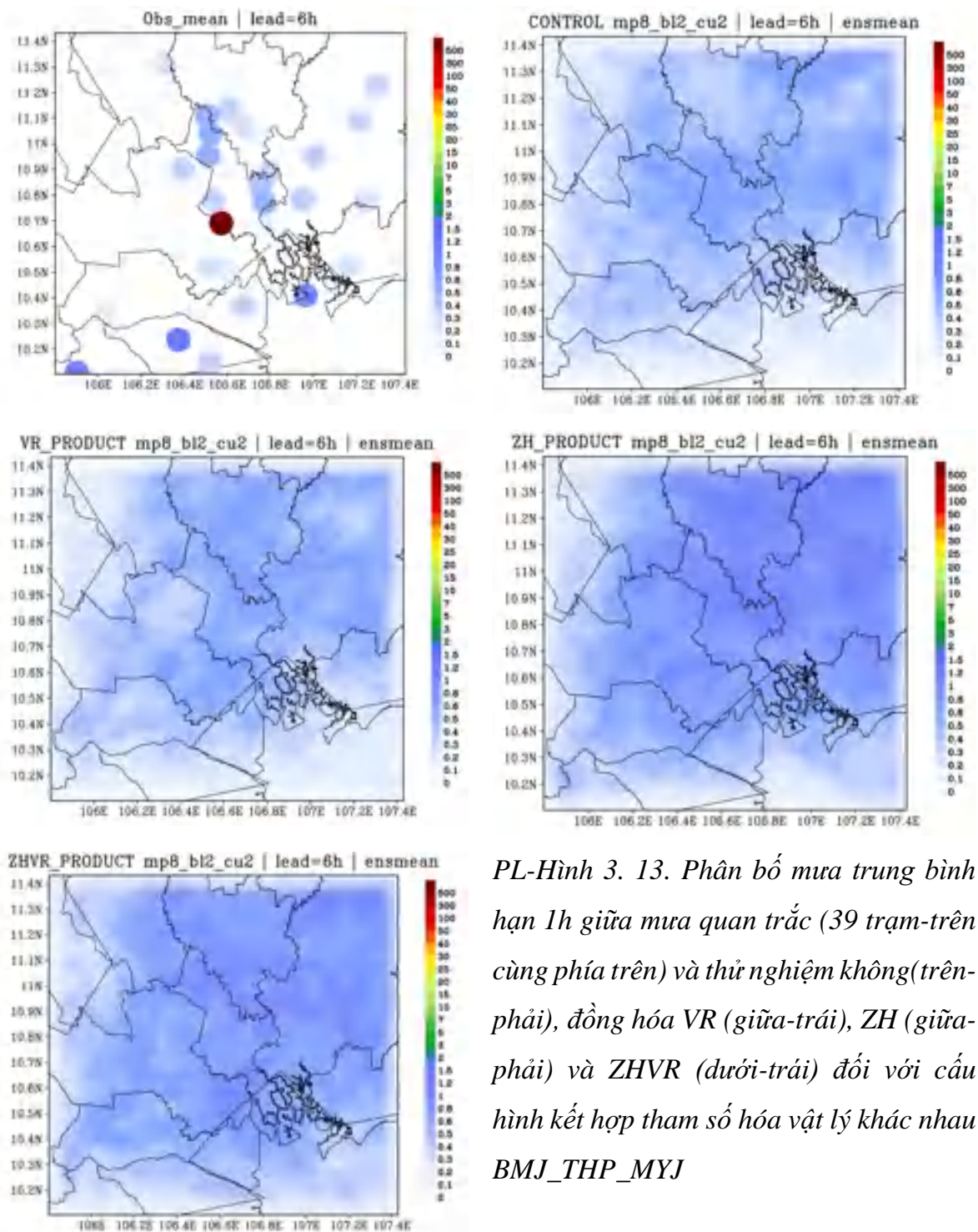
PL-Hình 3. 10. Phân bố mưa trung bình hạn 1h giữa mưa quan trắc (39 trạm-trên cùng phía trên) và thử nghiệm không(trên-phải), đồng hóa VR (giữa-trái), ZH (giữa-phải) và ZHVR (dưới-trái) đối với cấu hình kết hợp tham số hóa vật lý khác nhau KF3_WSM5_MYJ



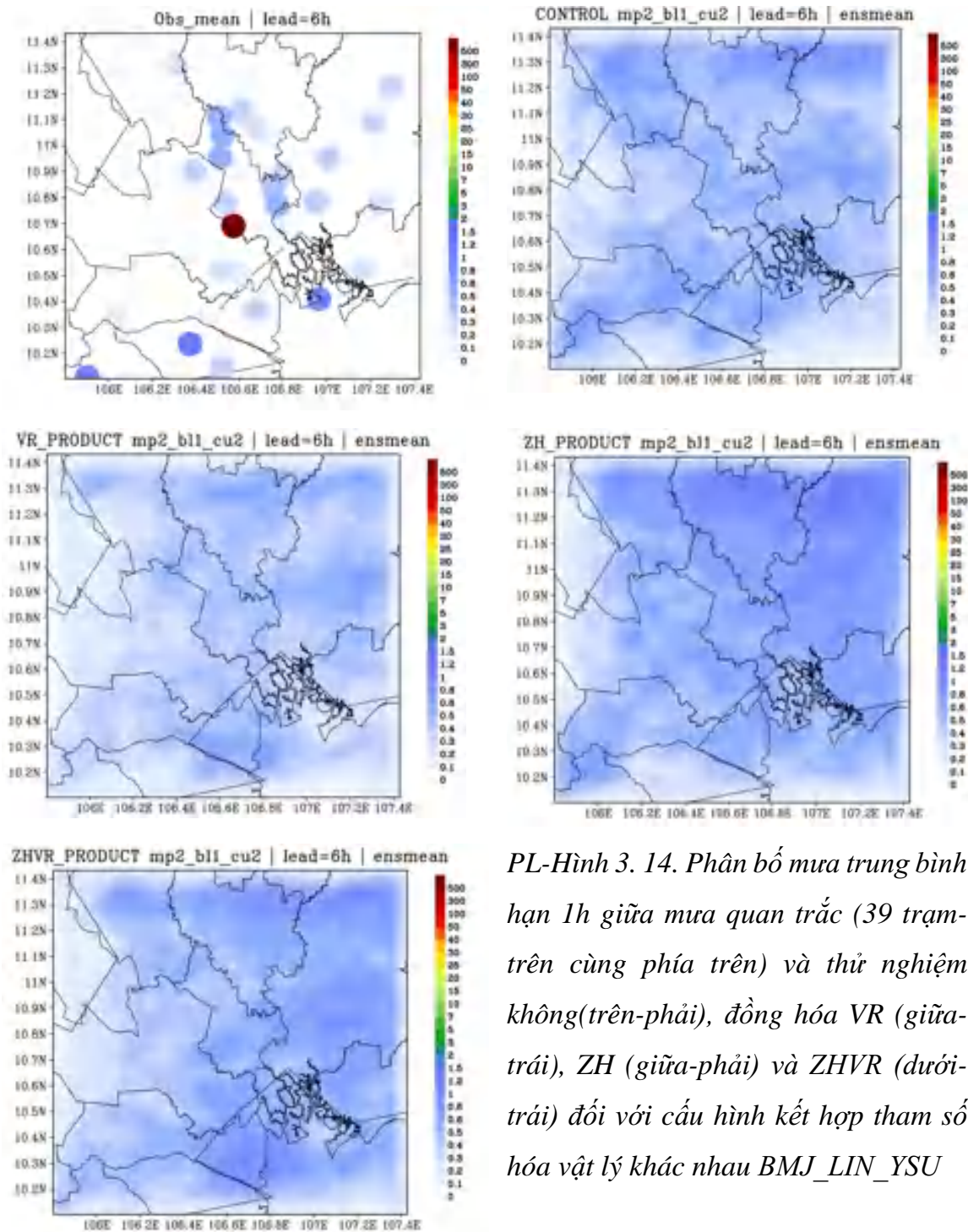
PL-Hình 3. 11. Phân bố mưa trung bình hạn 1h giữa mưa quan trắc (39 trạm-trên cùng phía trên) và thử nghiệm không(trên-phải), đồng hóa VR (giữa-trái), ZH (giữa-phải) và ZHVR (dưới-trái) đối với cấu hình kết hợp tham số hóa vật lý khác nhau GD_LIN_MYJ



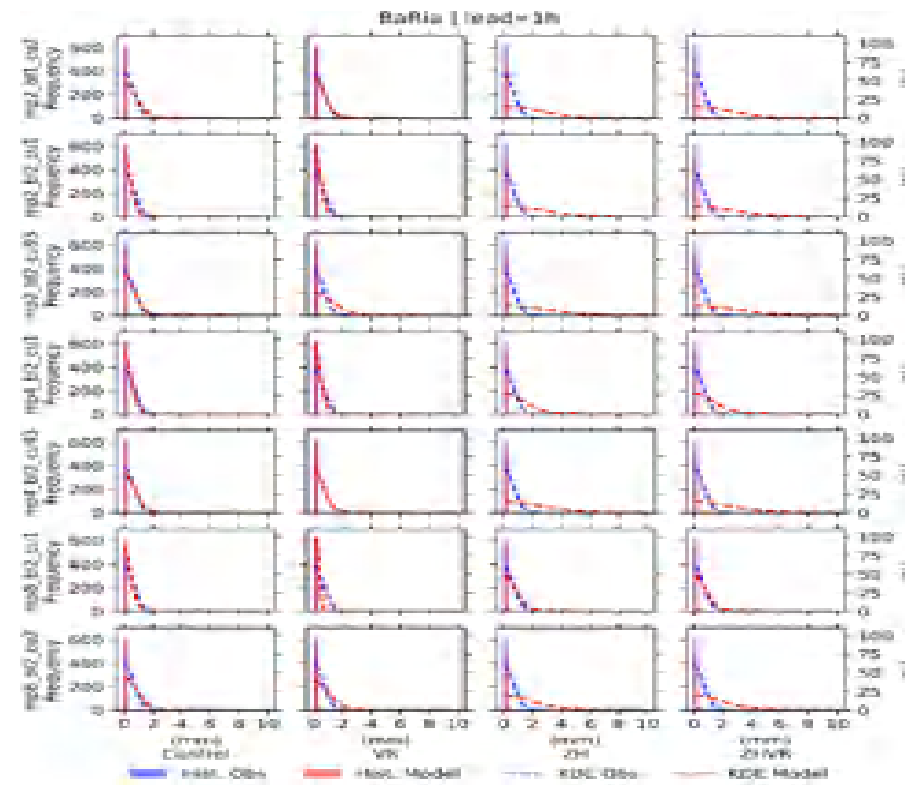
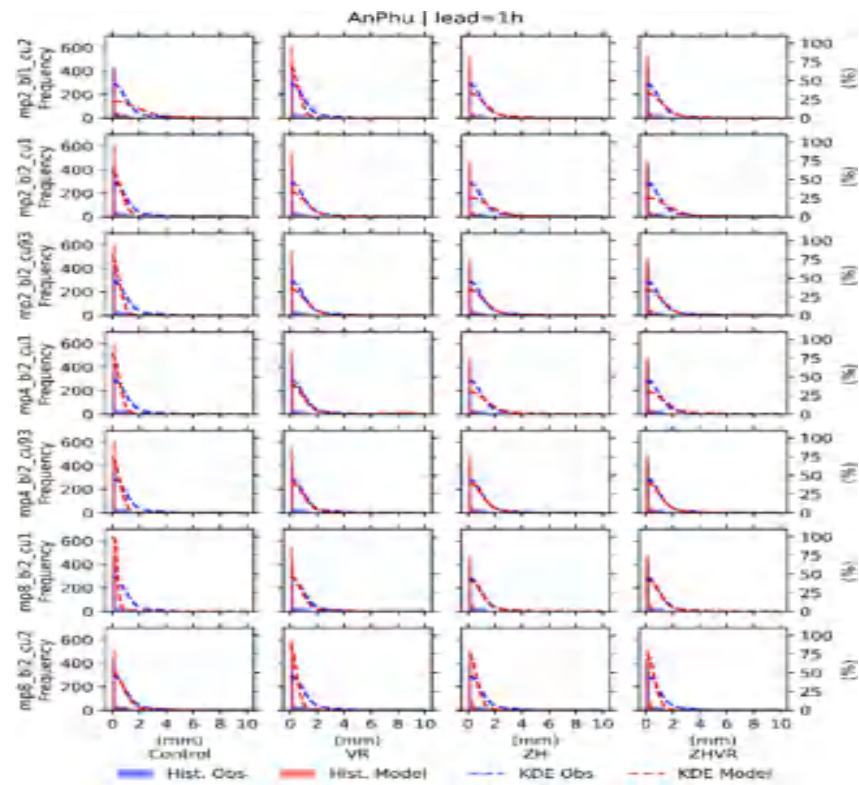
PL-Hình 3. 12. Phân bố mưa trung bình hạn 1h giữa mưa quan trắc (39 trạm-trên cùng phía trên) và thử nghiệm không(trên-phải), đồng hóa VR (giữa-trái), ZH (giữa-phải) và ZHVR (dưới-trái) đối với cấu hình kết hợp tham số hóa vật lý khác nhau GD_WSM5_MYJ

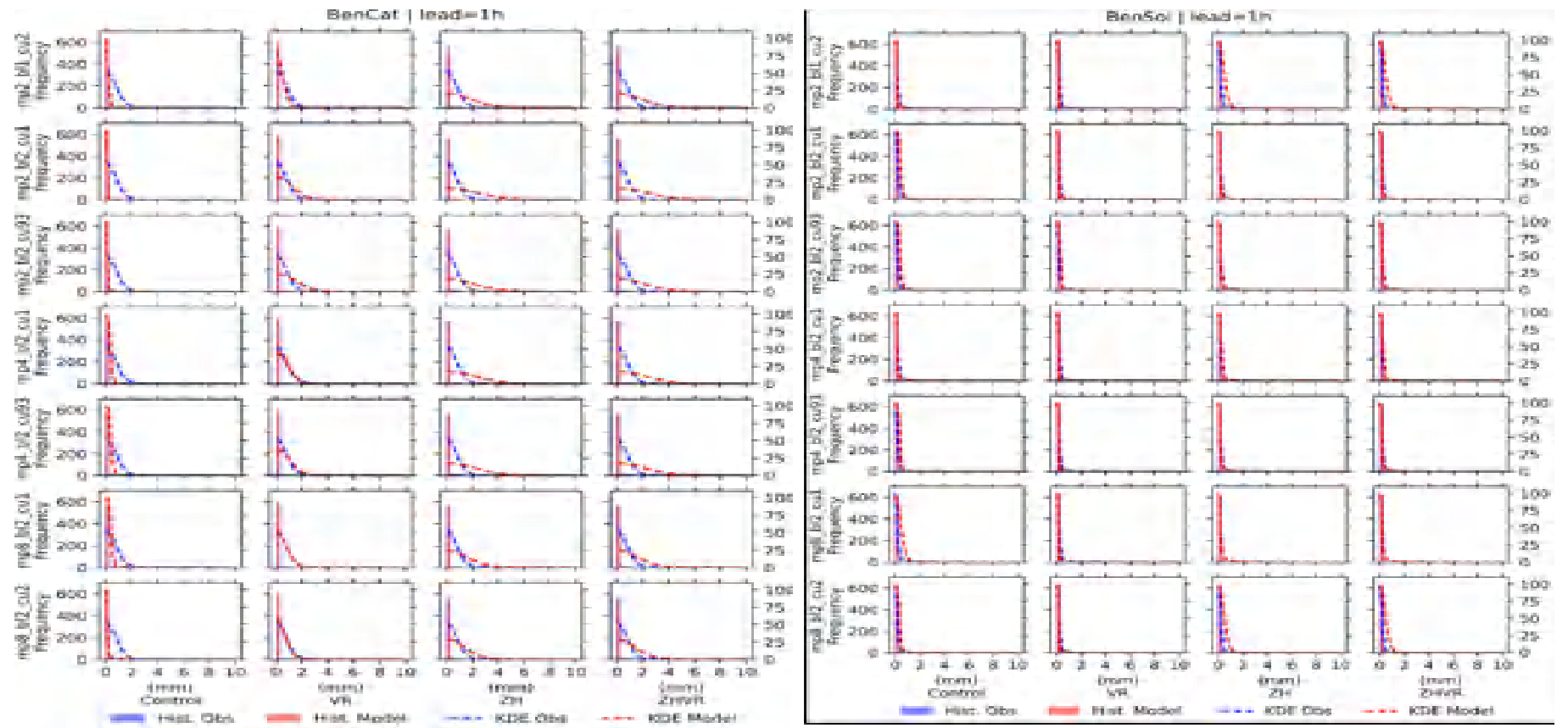


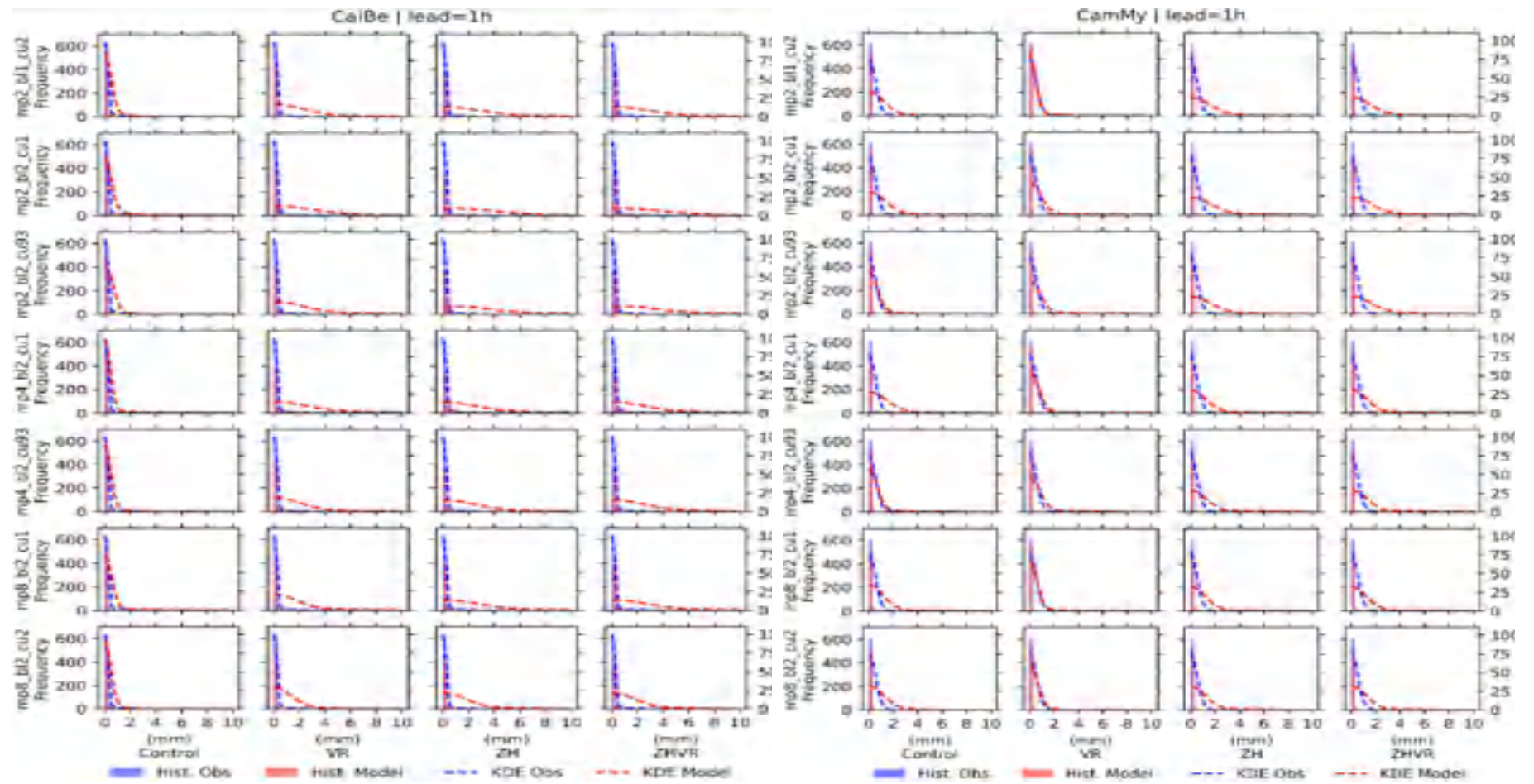
PL-Hình 3. 13. Phân bố mưa trung bình hạn 1h giữa mưa quan trắc (39 trạm-trên cùng phía trên) và thử nghiệm không(trên-phải), đồng hóa VR (giữa-trái), ZH (giữa-phải) và ZHVR (dưới-trái) đối với cấu hình kết hợp tham số hóa vật lý khác nhau BMJ_THP_MYJ

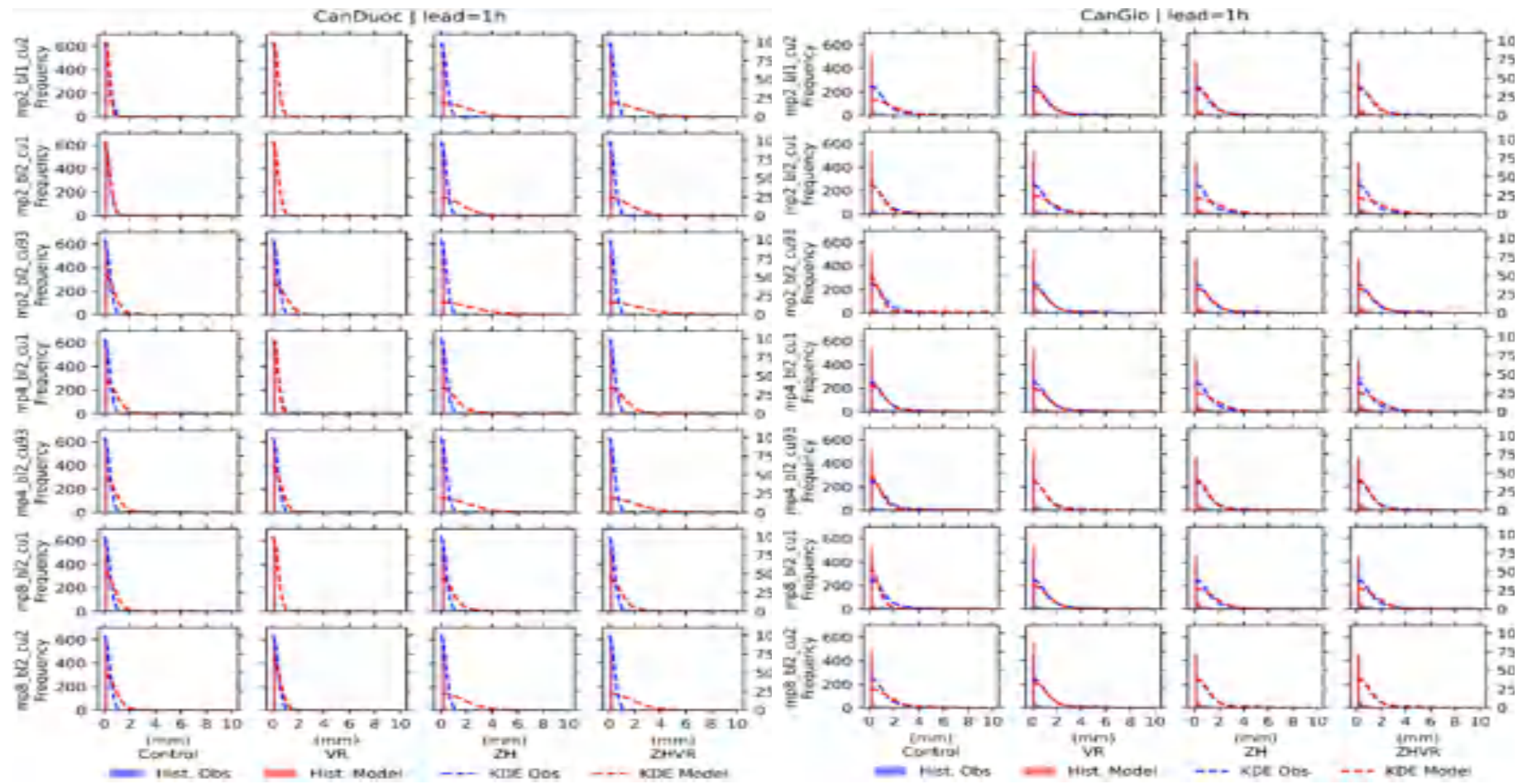


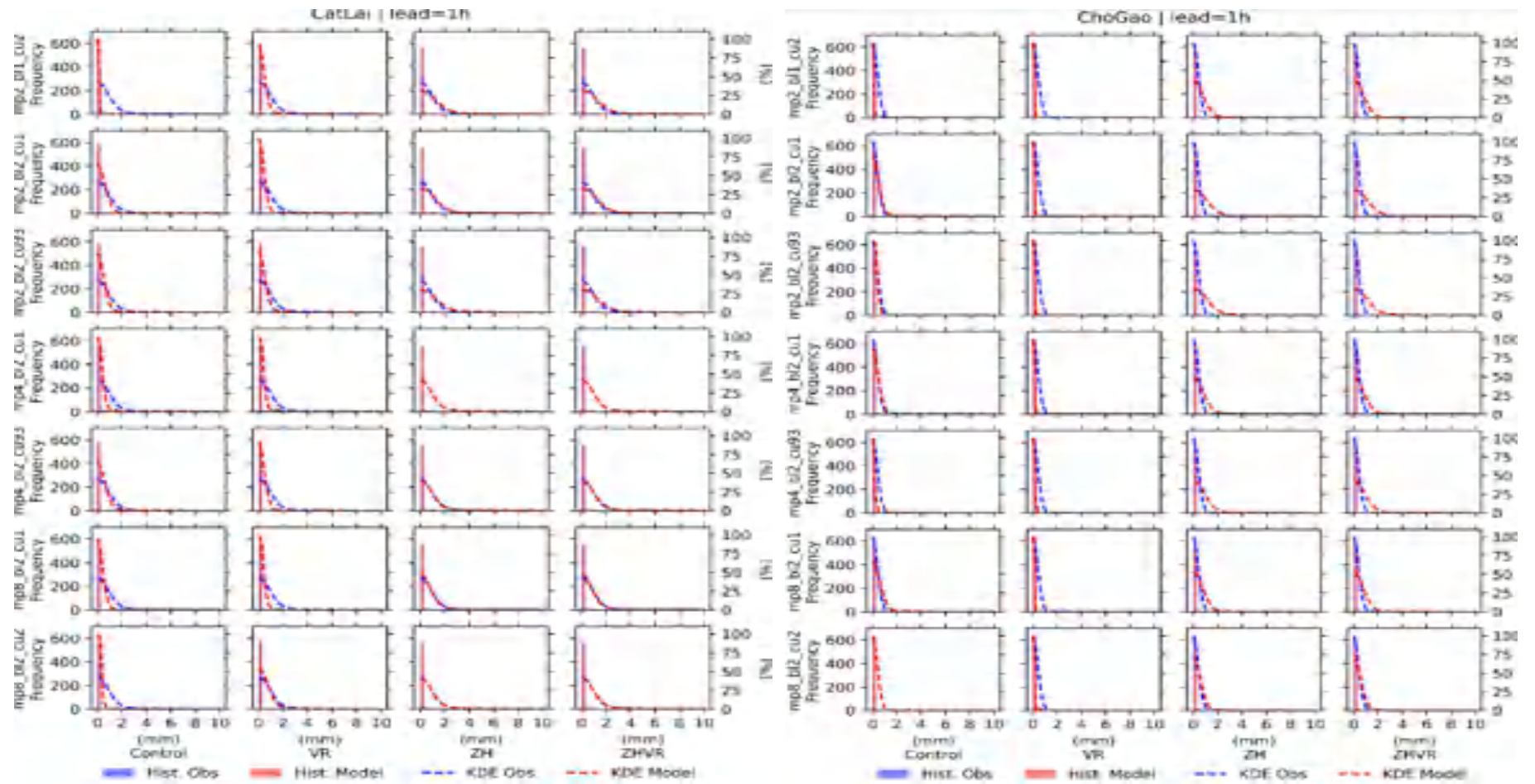
PL-Hình 3. 14. Phân bố mưa trung bình hạn 1h giữa mưa quan trắc (39 trạm-trên cùng phía trên) và thử nghiệm không(trên-phải), đồng hóa VR (giữa-trái), ZH (giữa-phải) và ZHVR (dưới-trái) đối với cấu hình kết hợp tham số hóa vật lý khác nhau BMJ_LIN_YSU

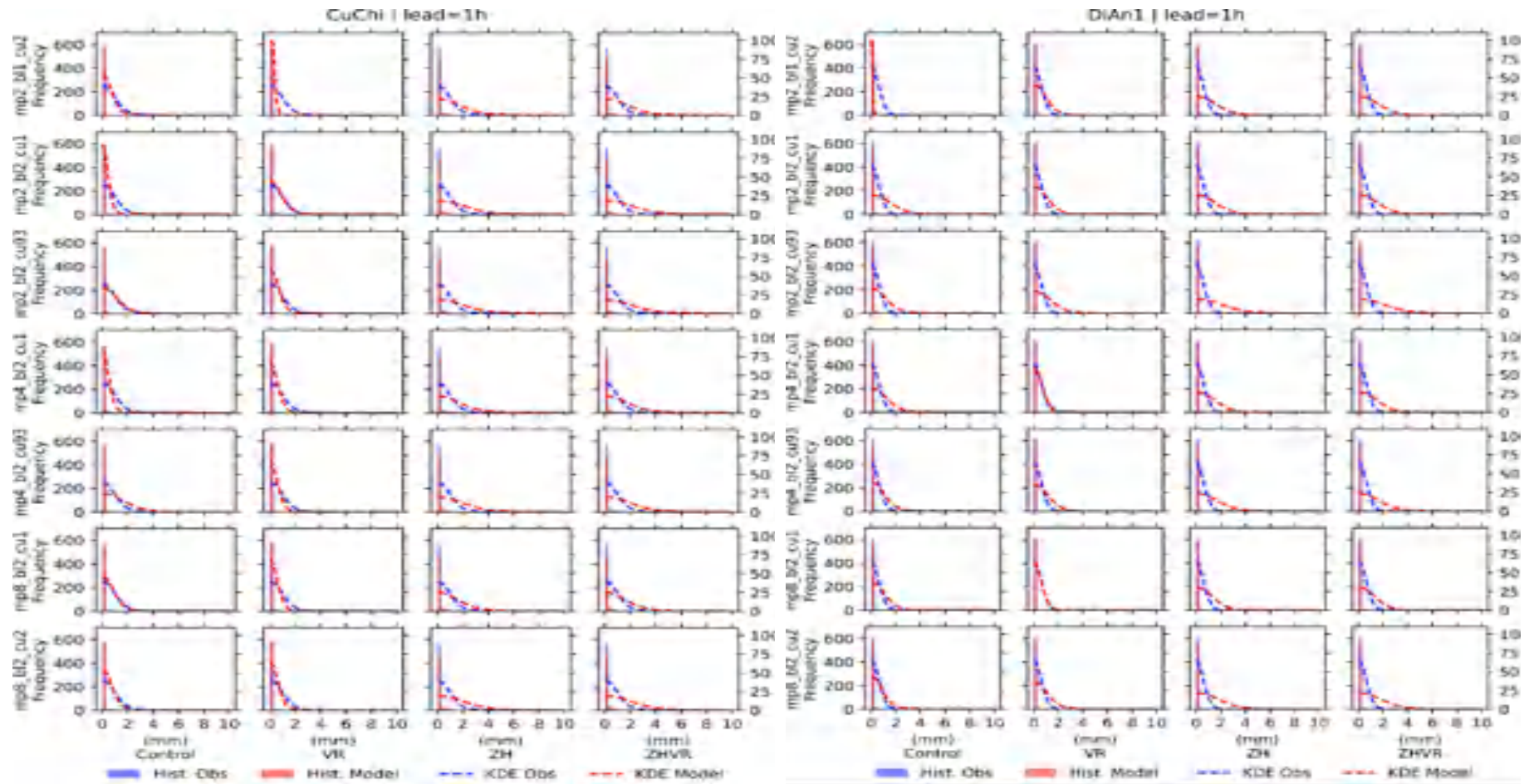


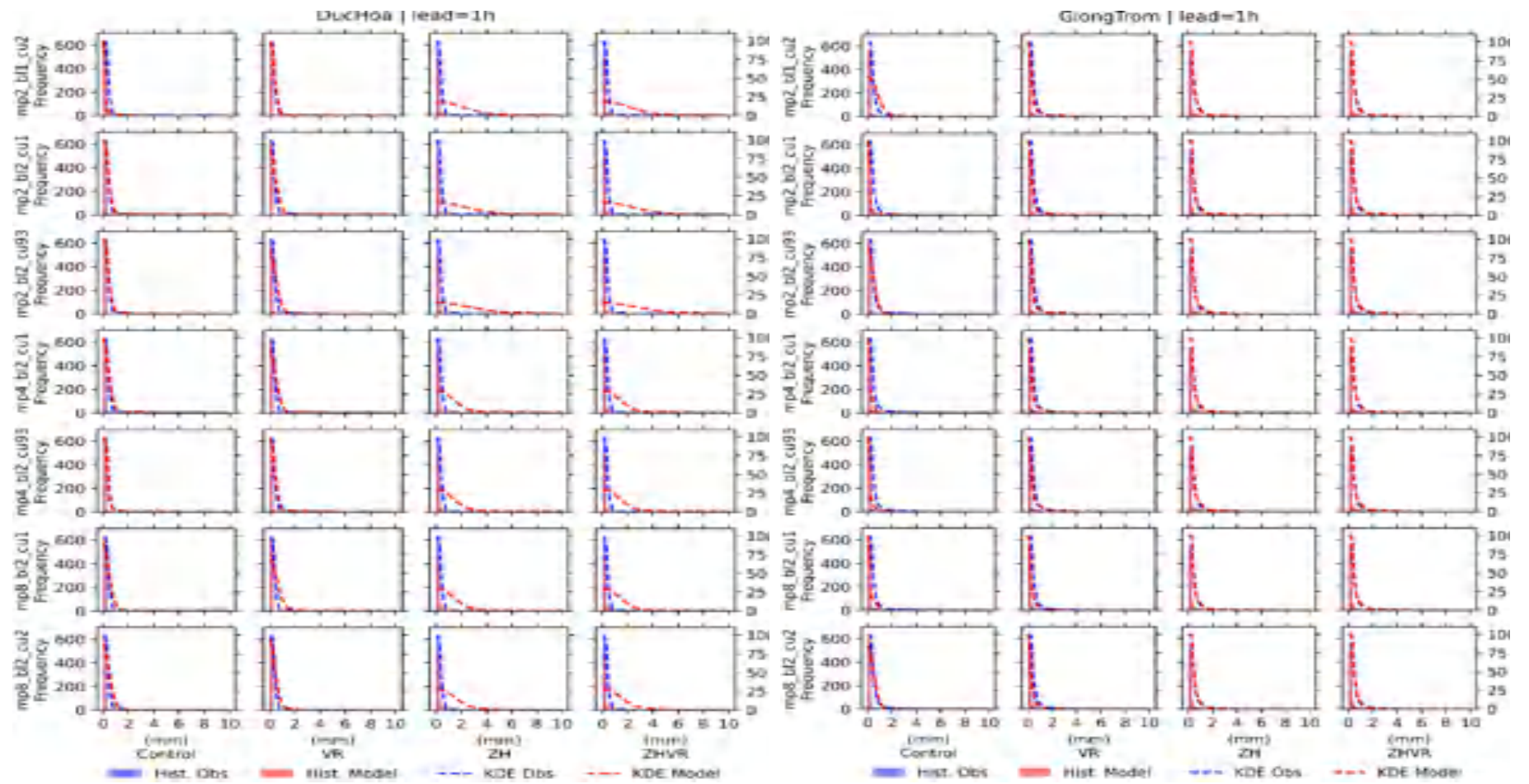


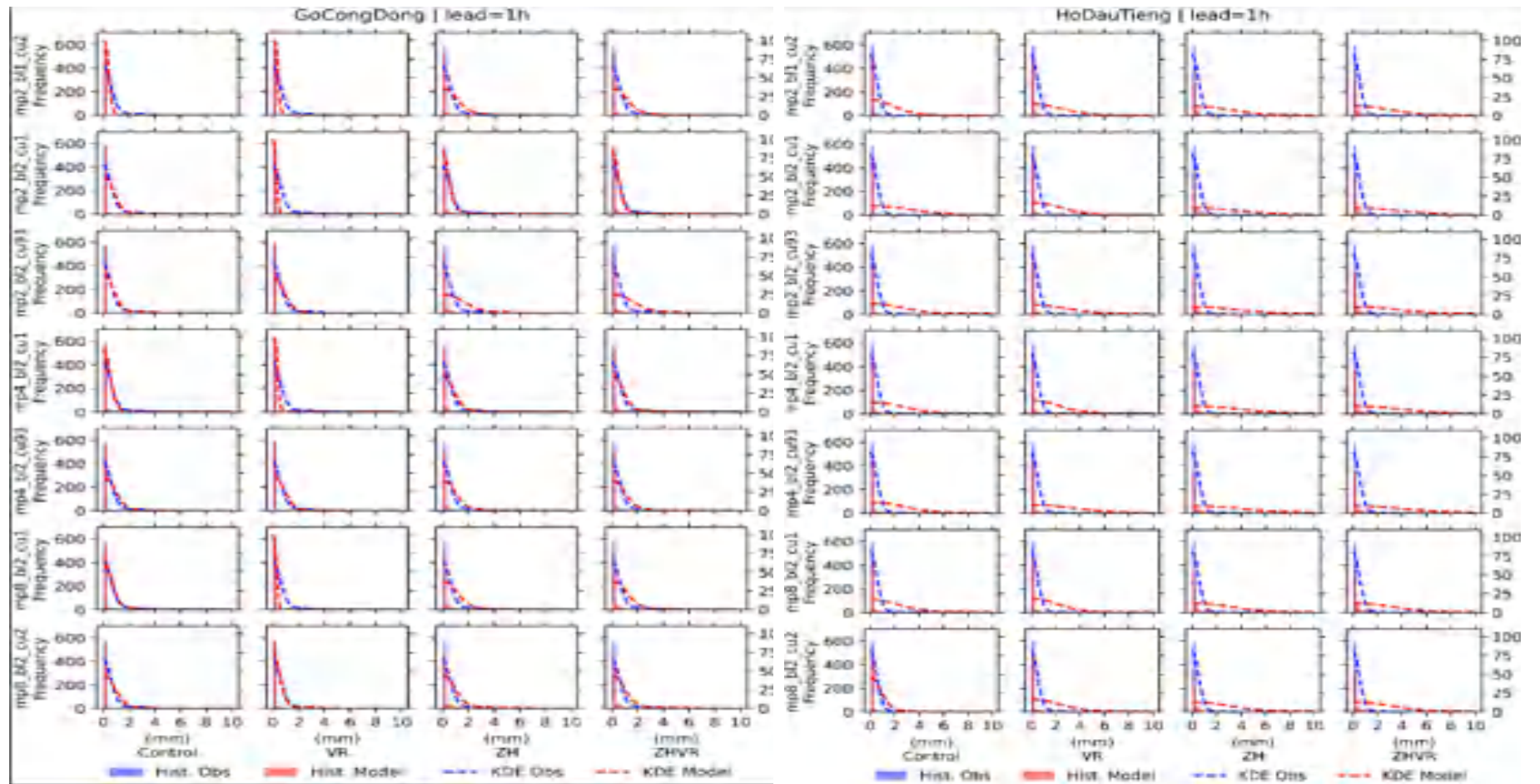


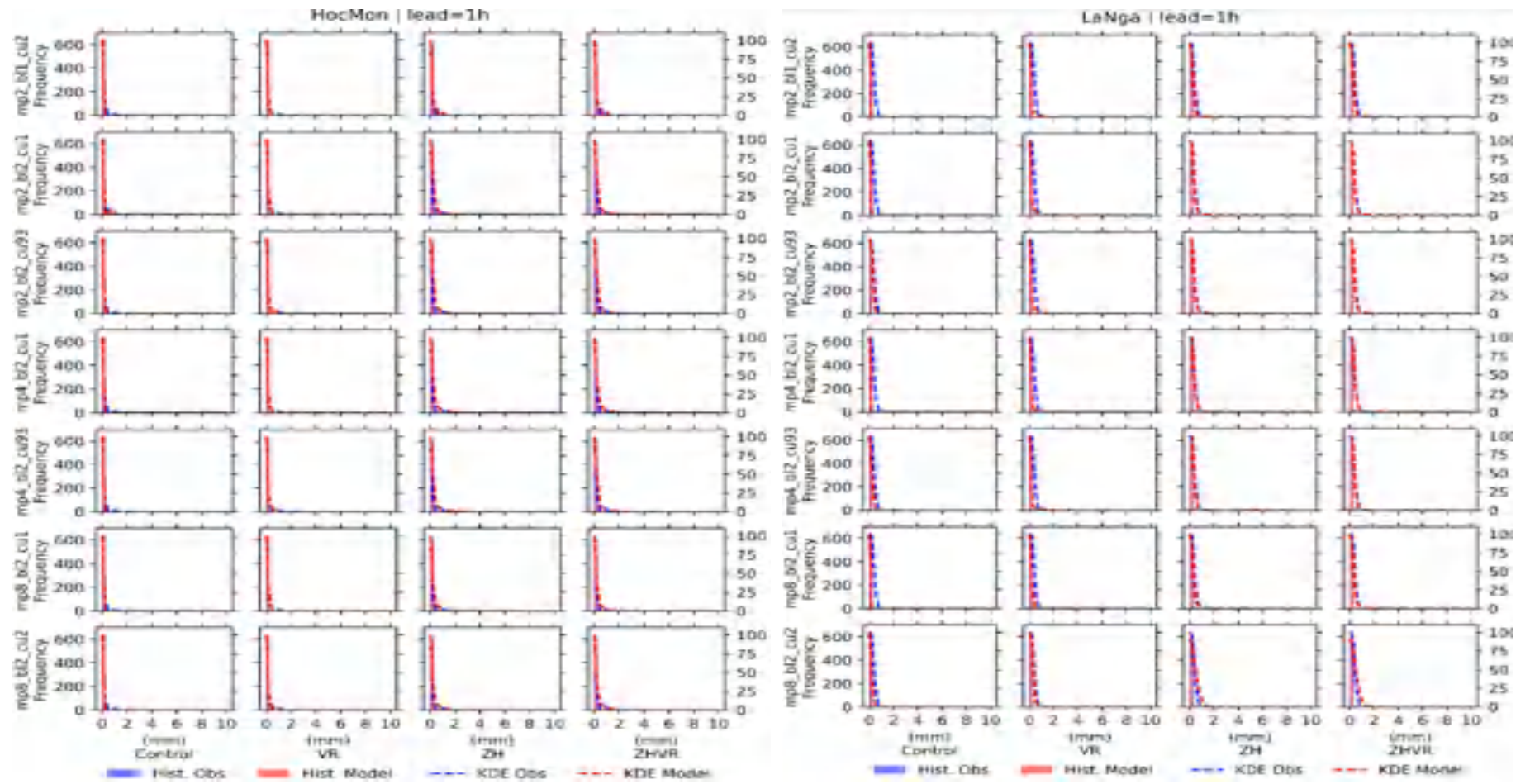


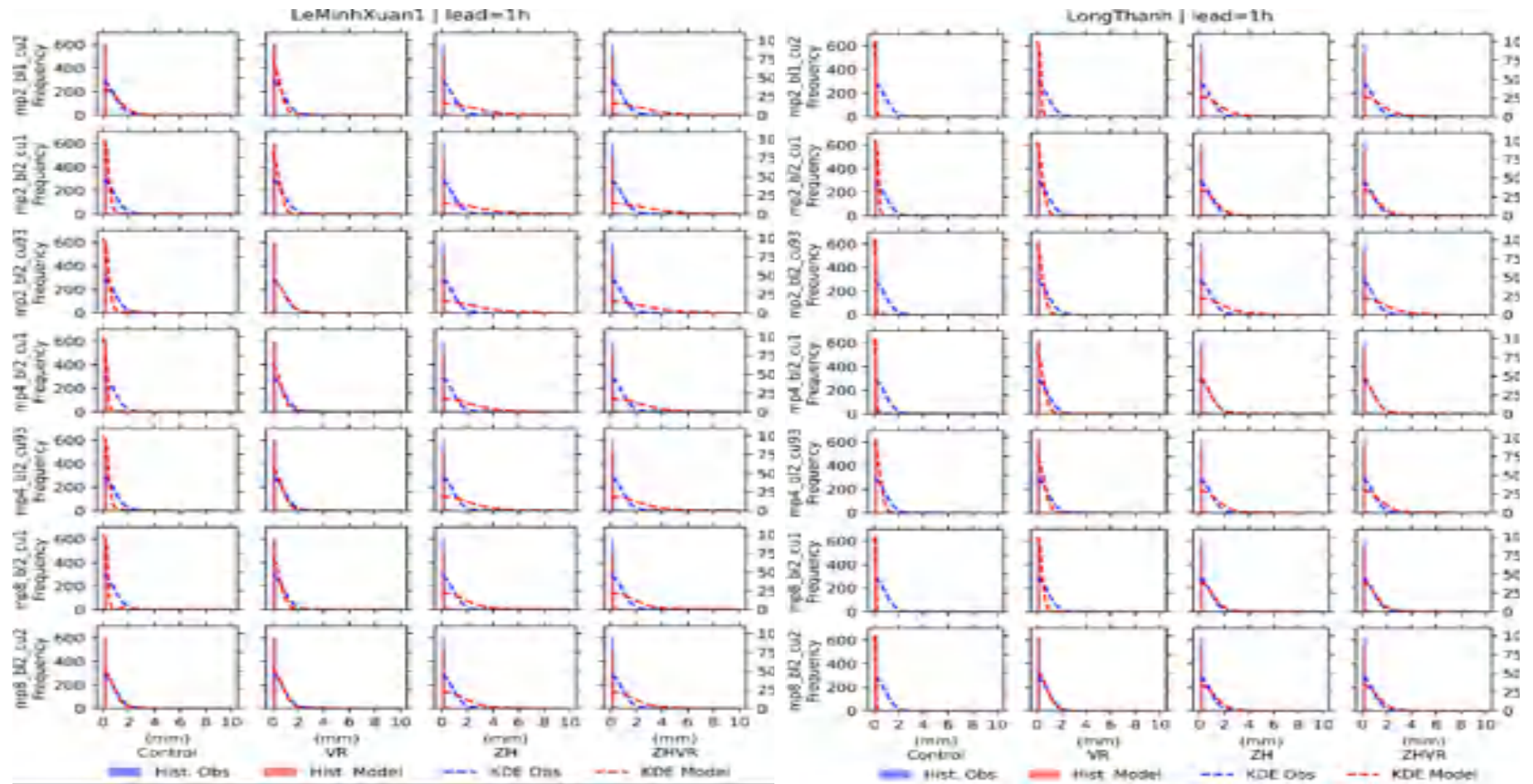


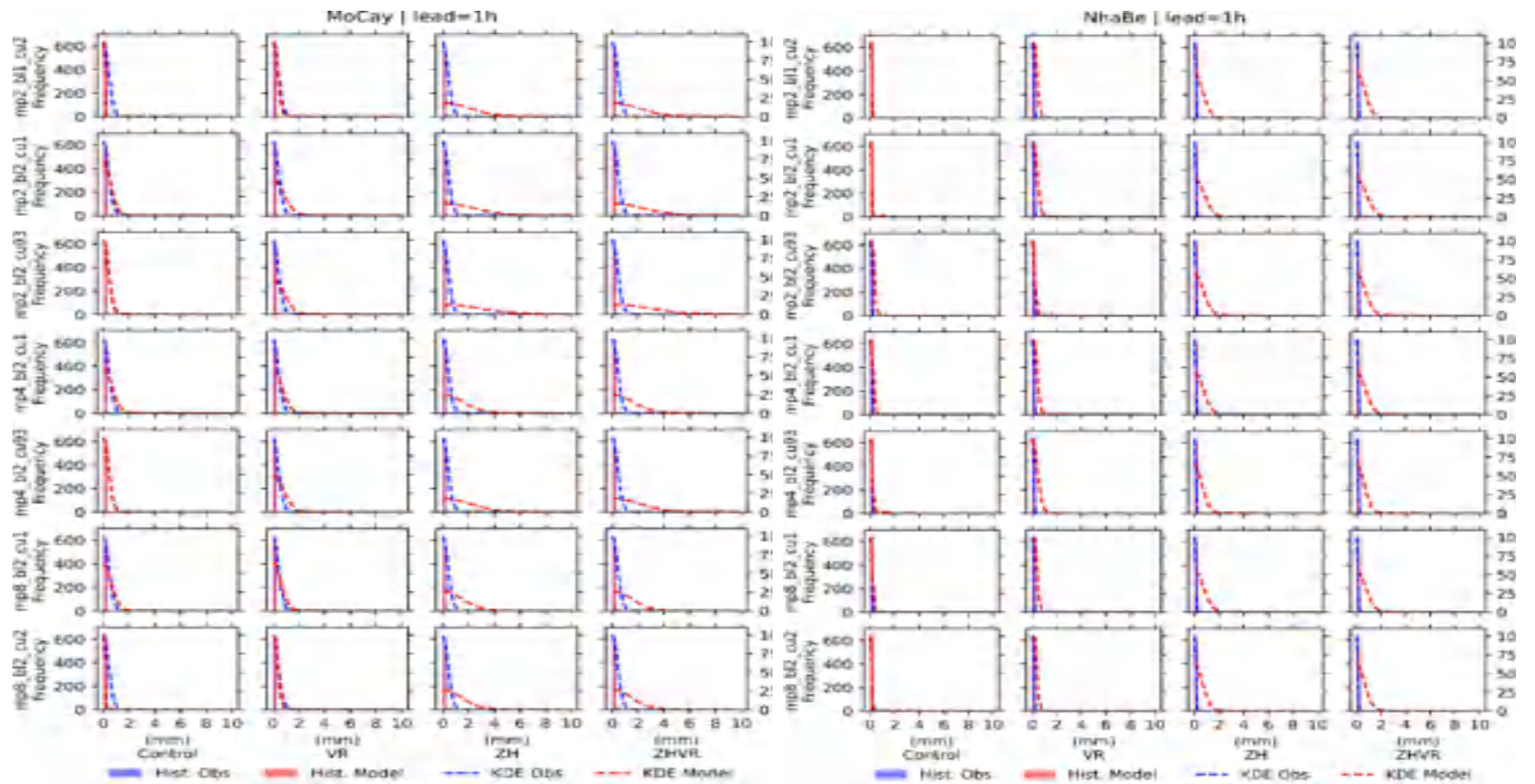


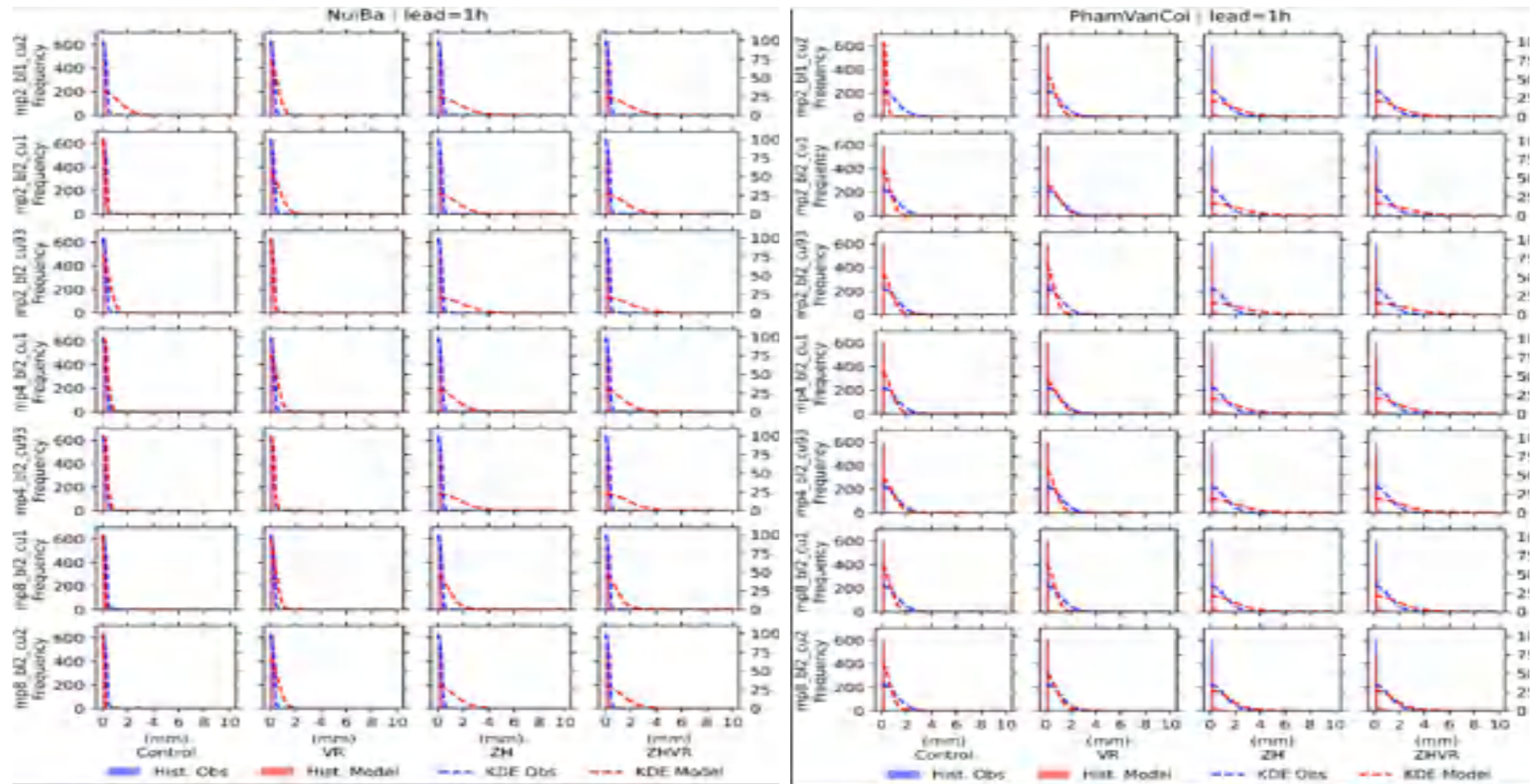


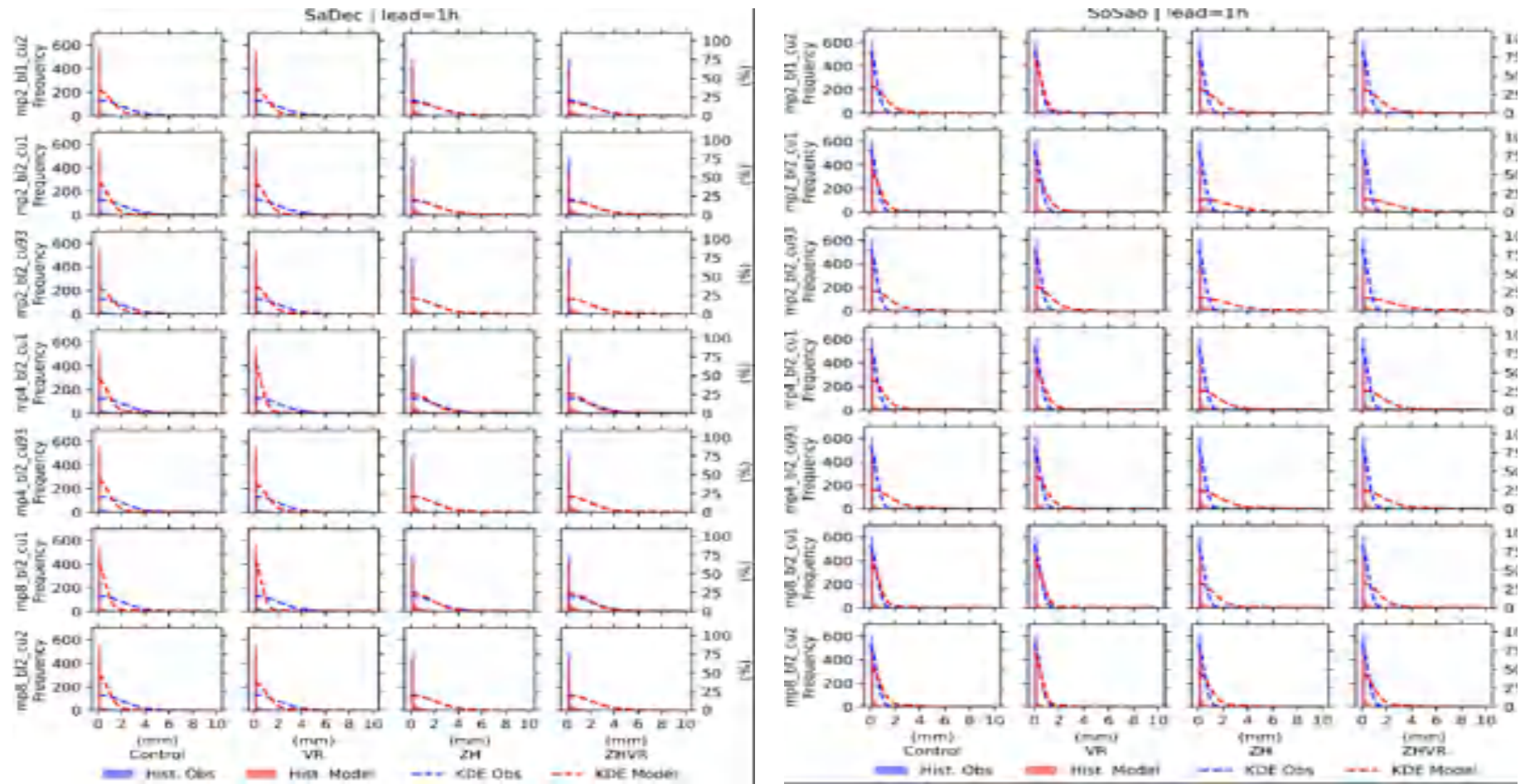


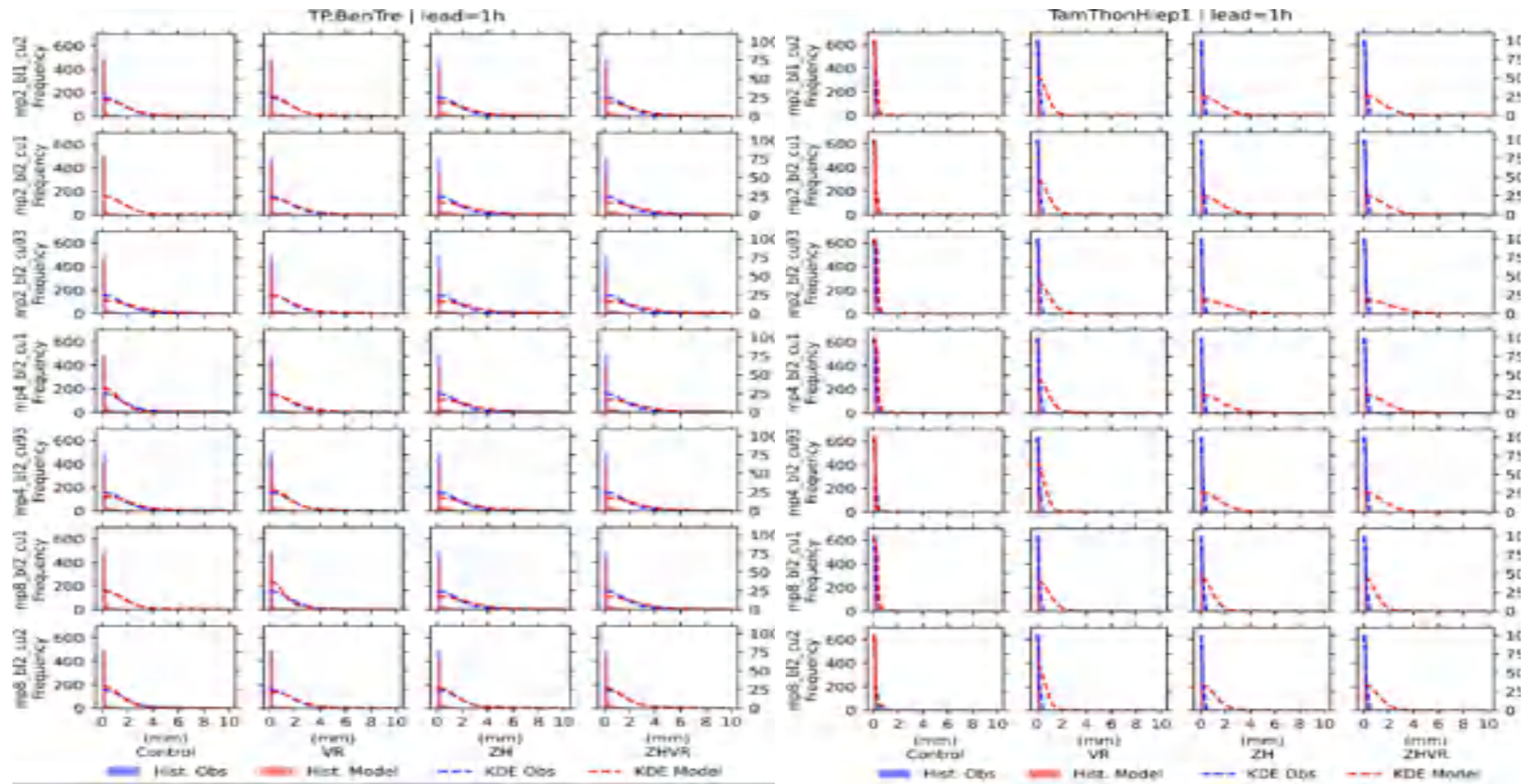


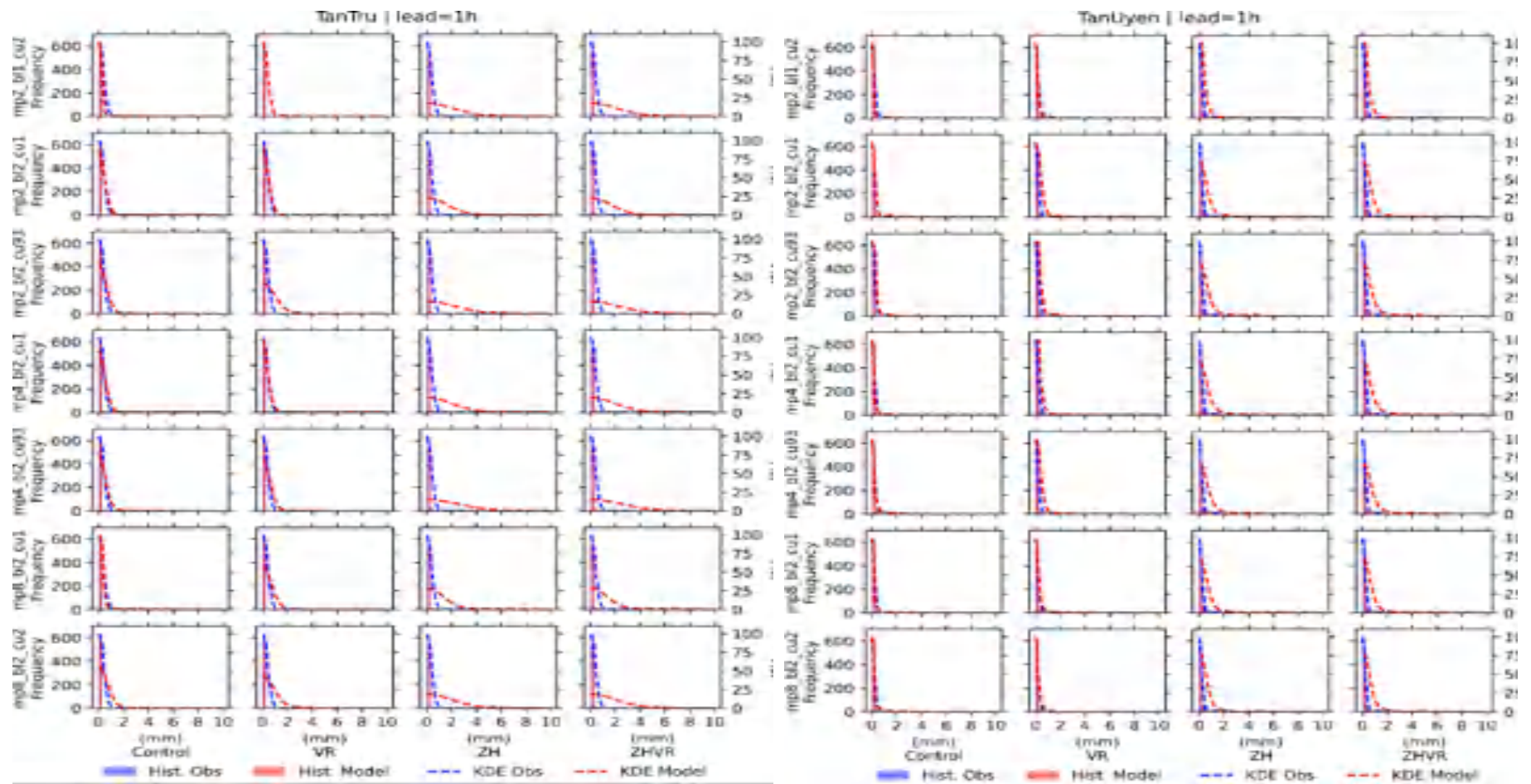


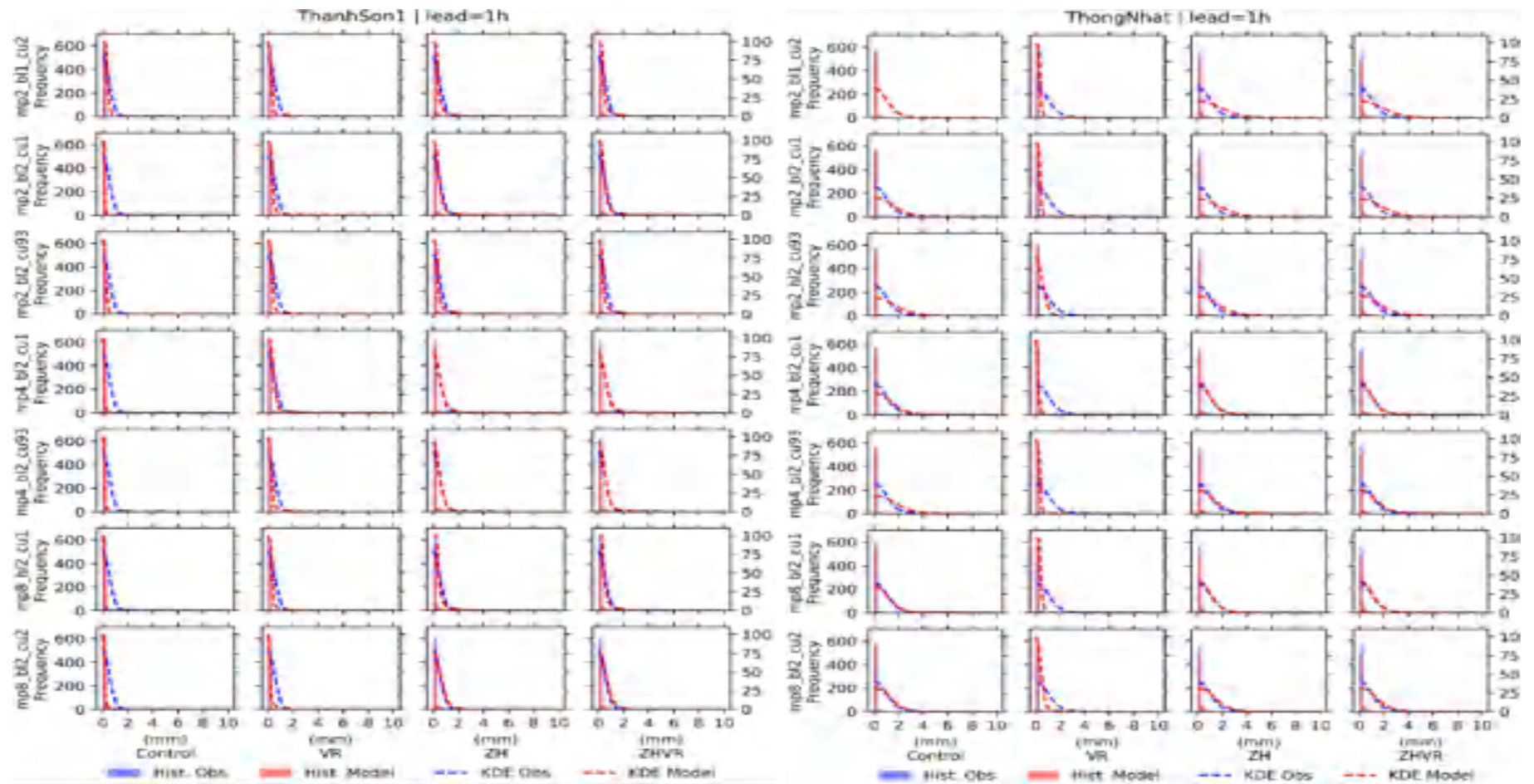


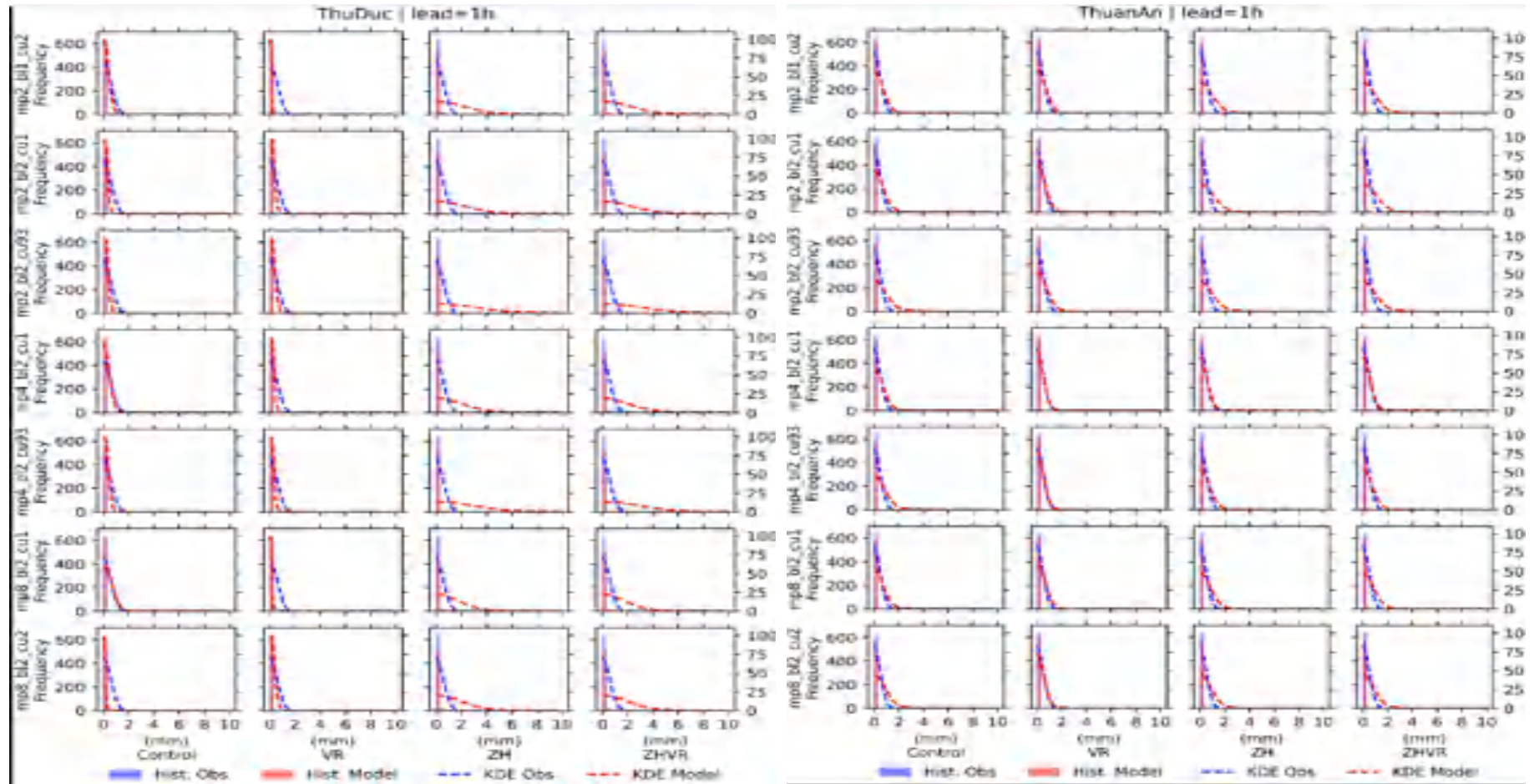


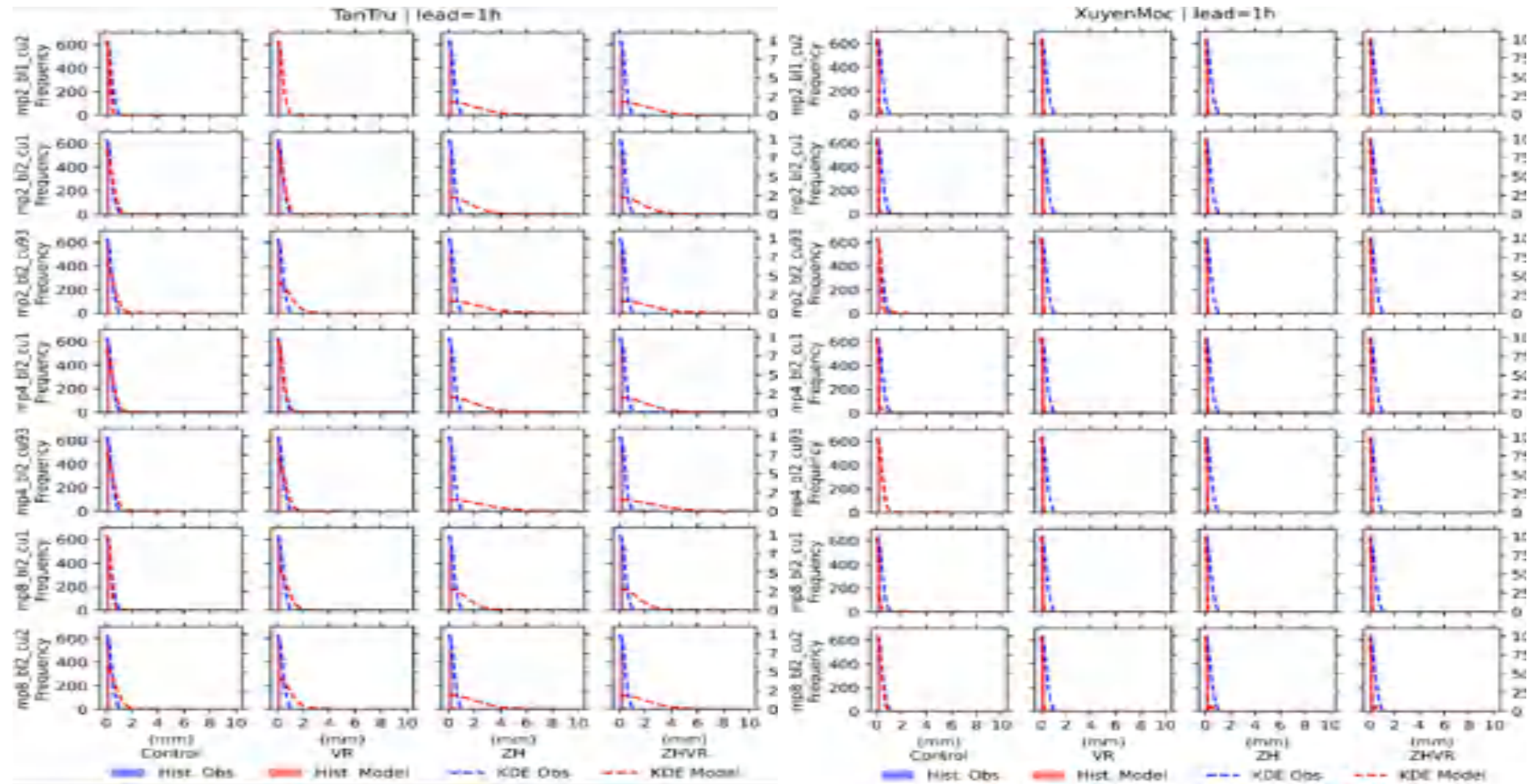






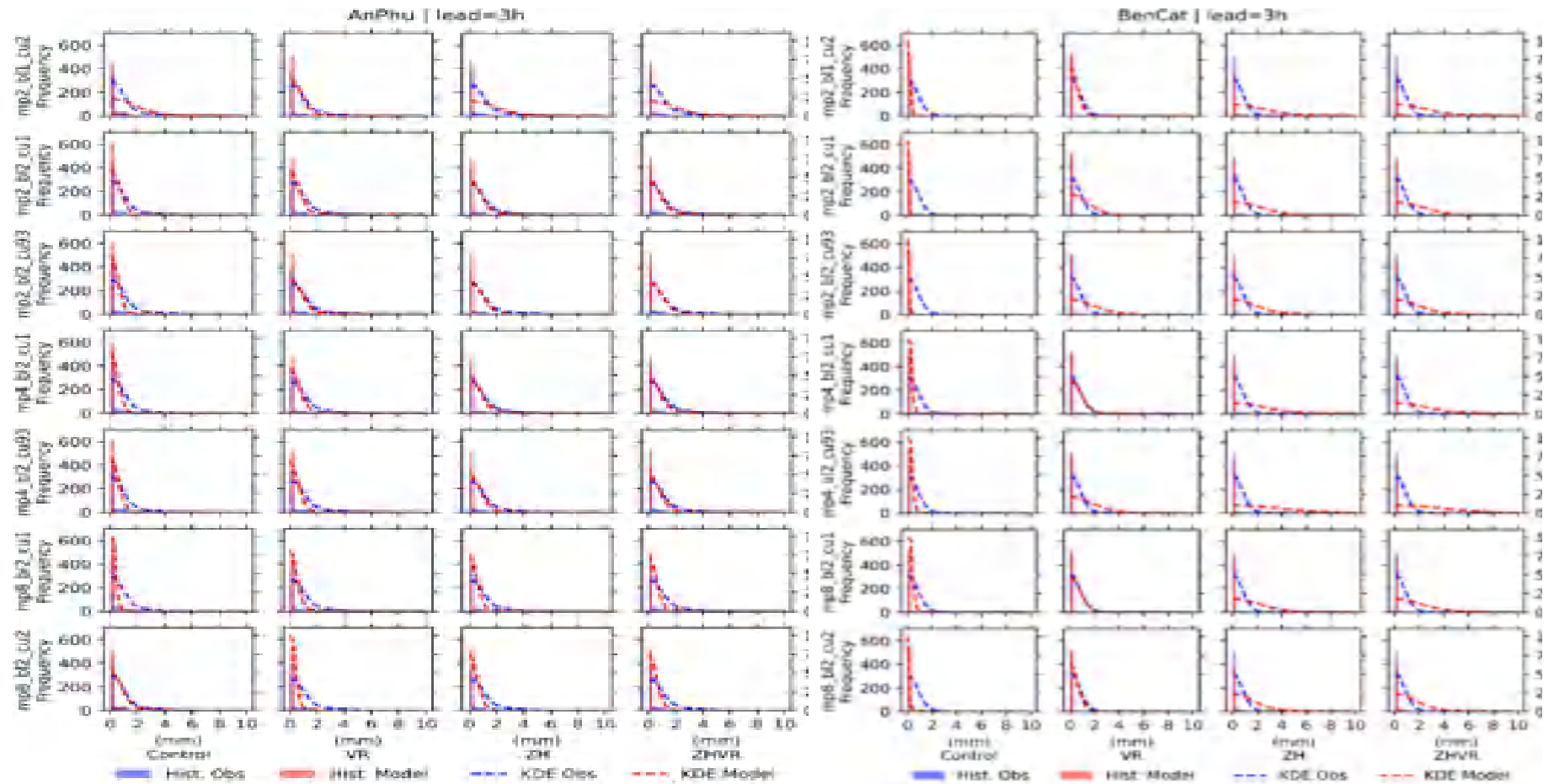


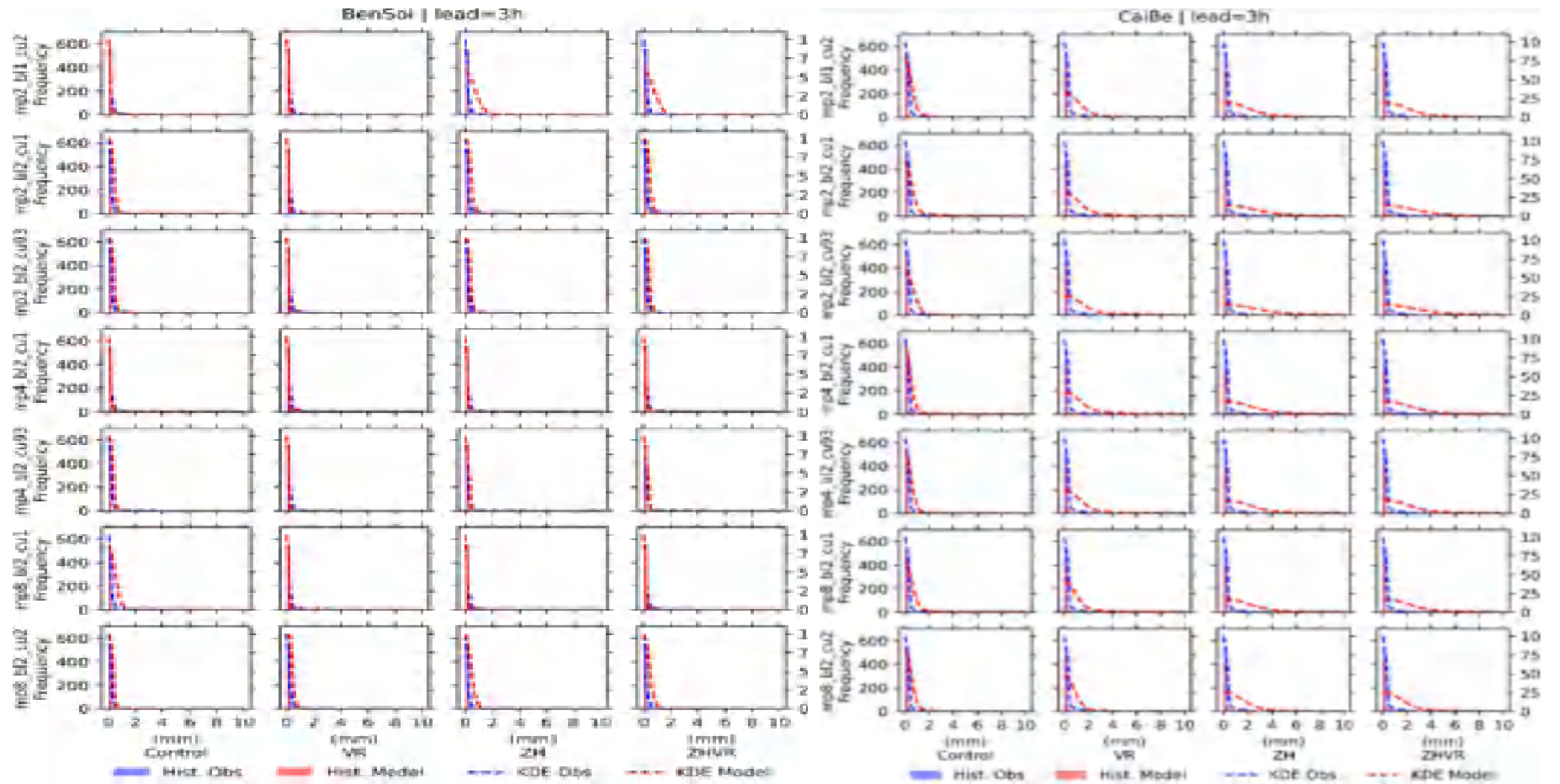


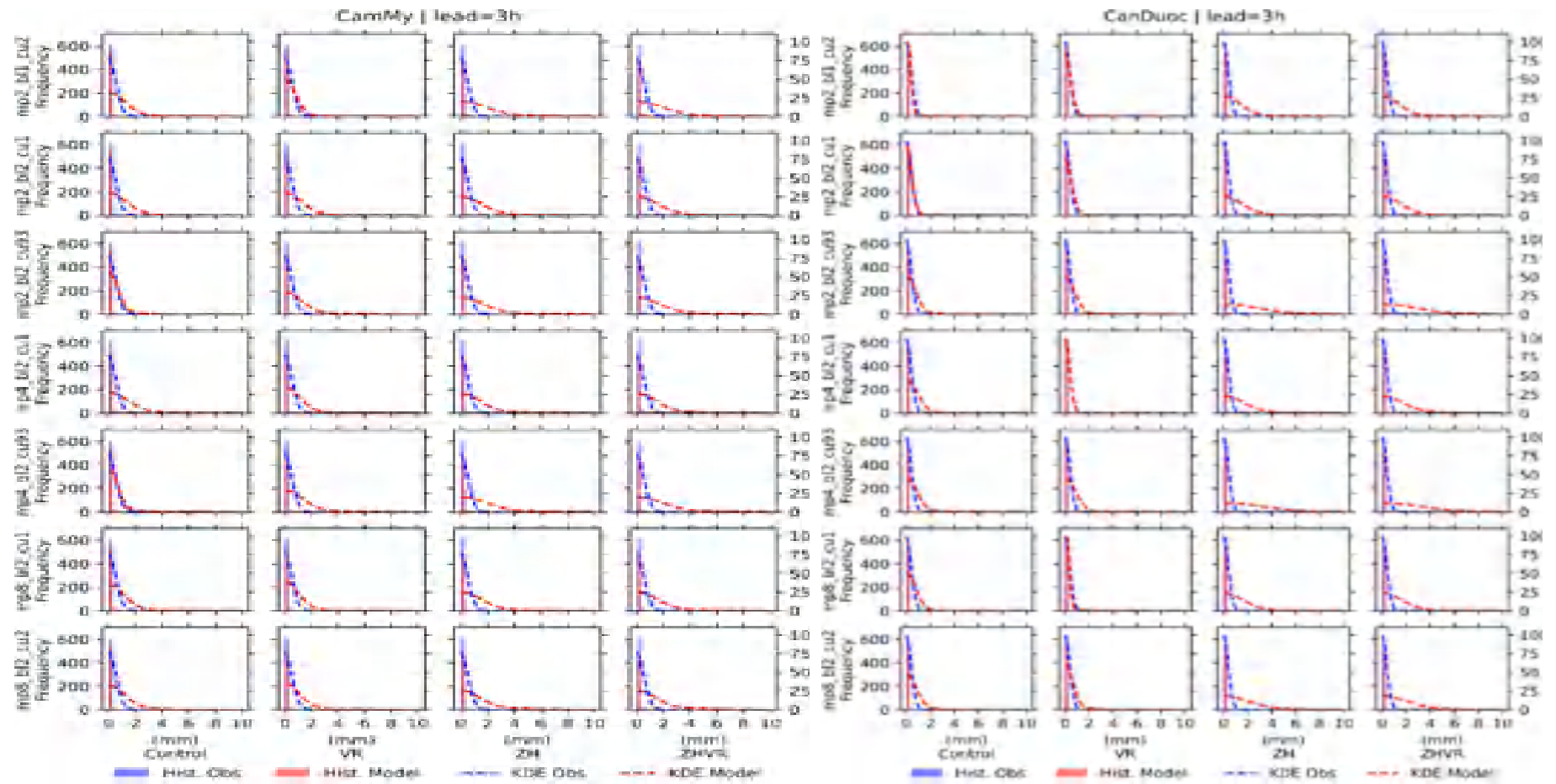


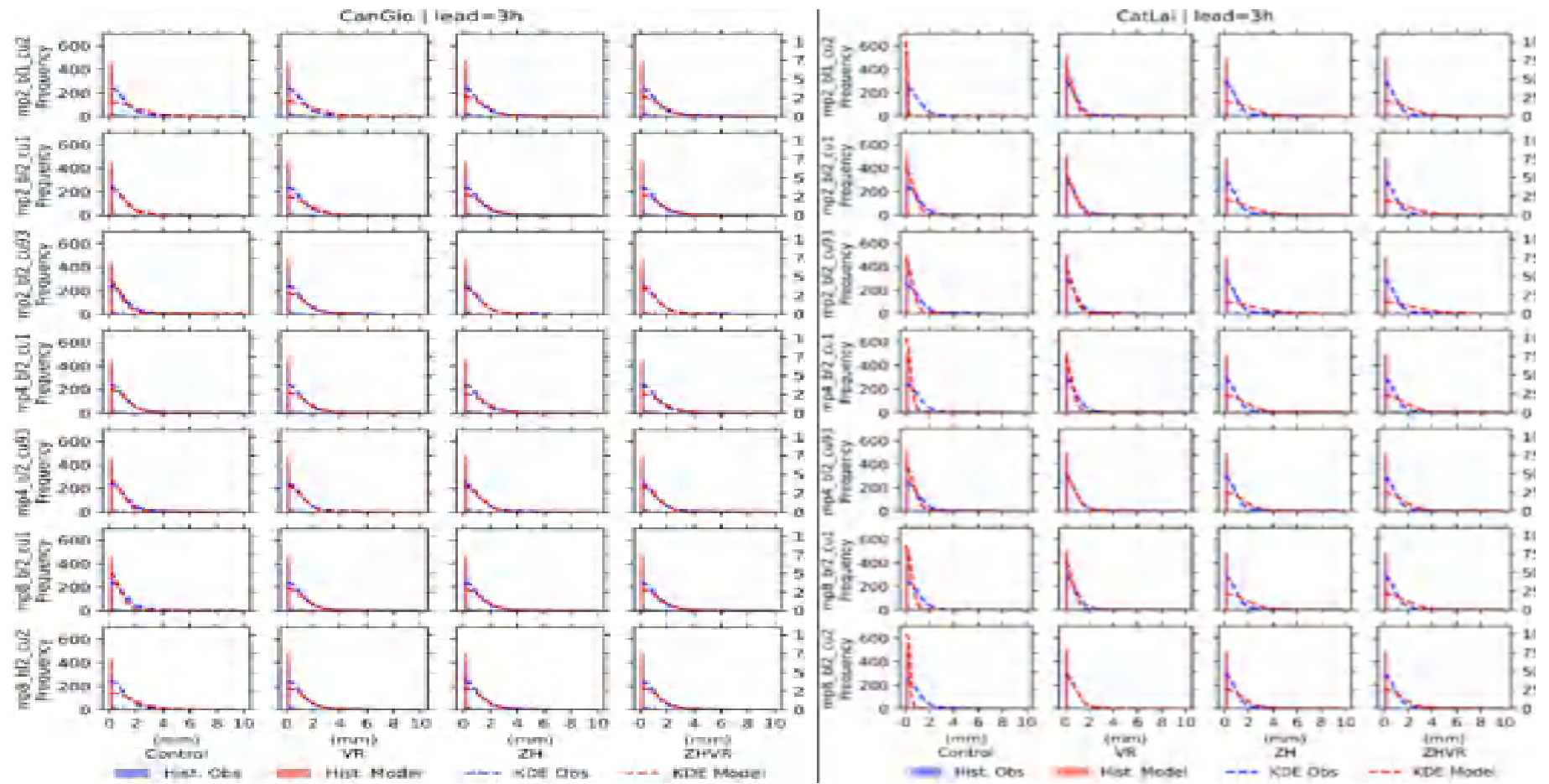
PL-Hình 3.15. Biểu đồ tần suất- histogram đối với mưa hạn 1h giữa mưa quan trắc (cột màu xanh) mưa dự báo (cột màu đỏ) và KDE-histogram quan trắc (nét đứt xanh) và KDE-histogram quan trắc (nét đứt xanh) tại vị trí trạm quan trắc với thử nghiệm không

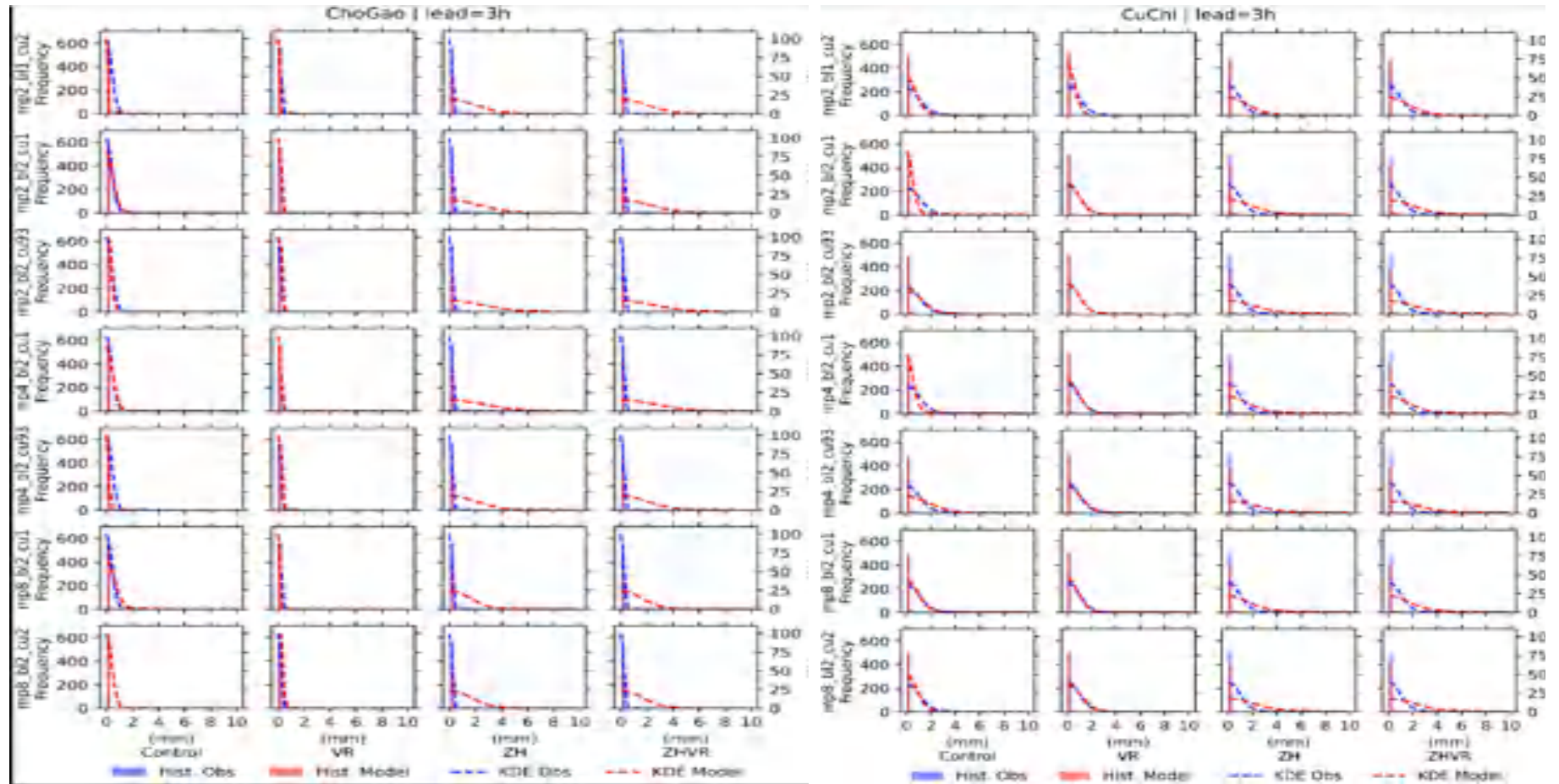
đồng hóa (bên trái), đồng hóa VR (trái-giữa), ZH (phải-giữa) và ZHVR (phải) đối với các cấu hình kết hợp tham số hóa vật lý khác nhau

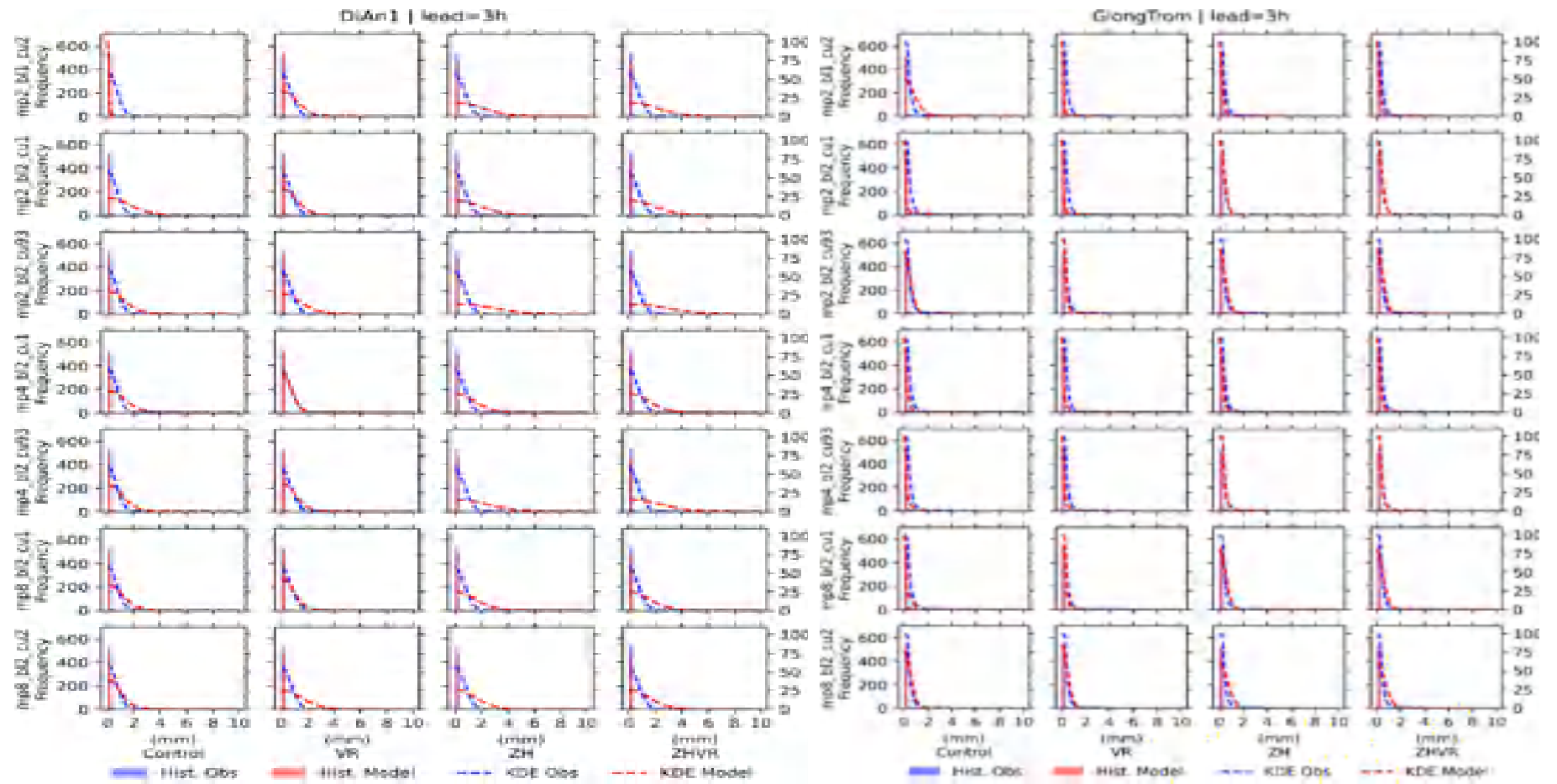


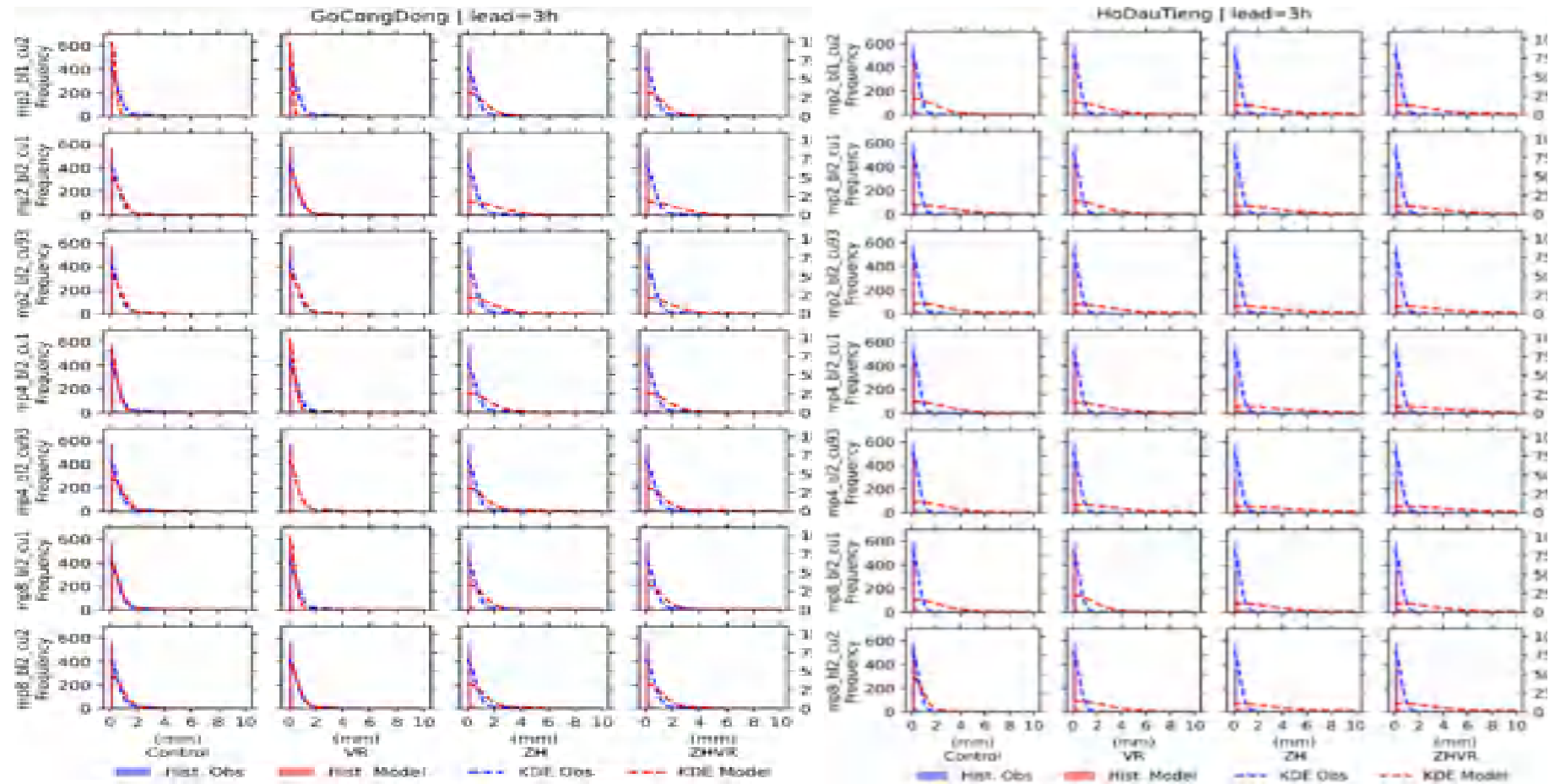


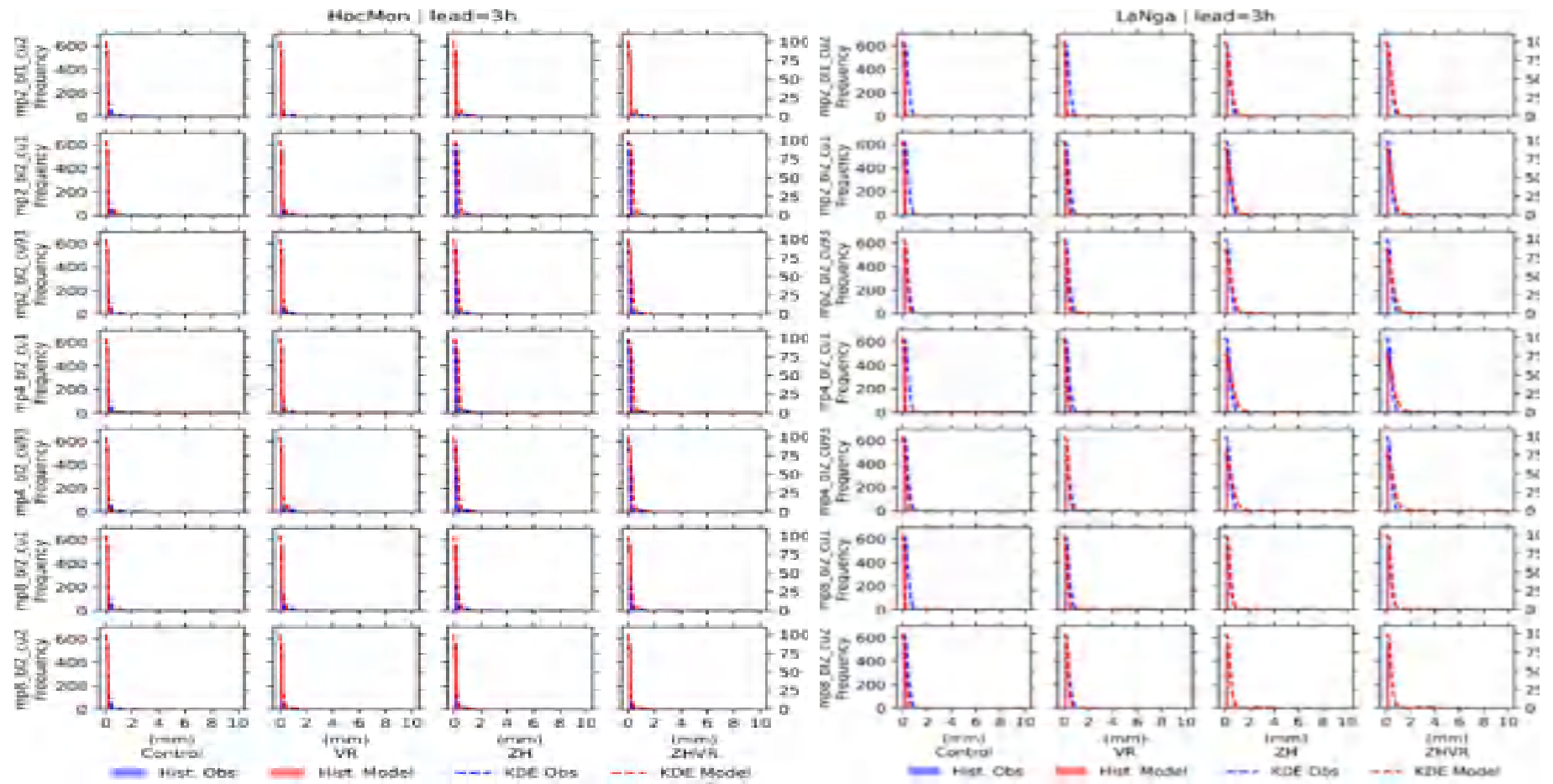


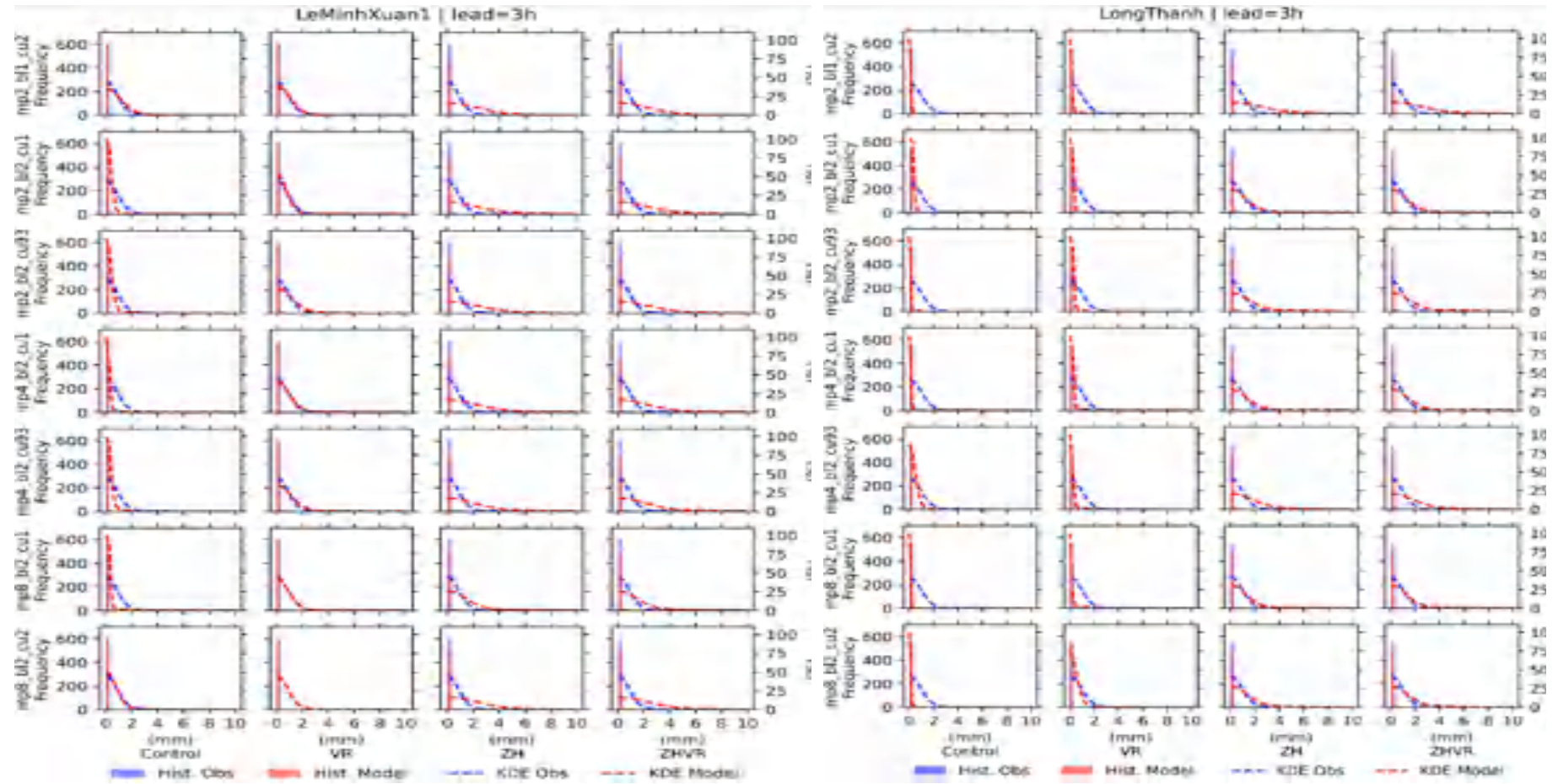


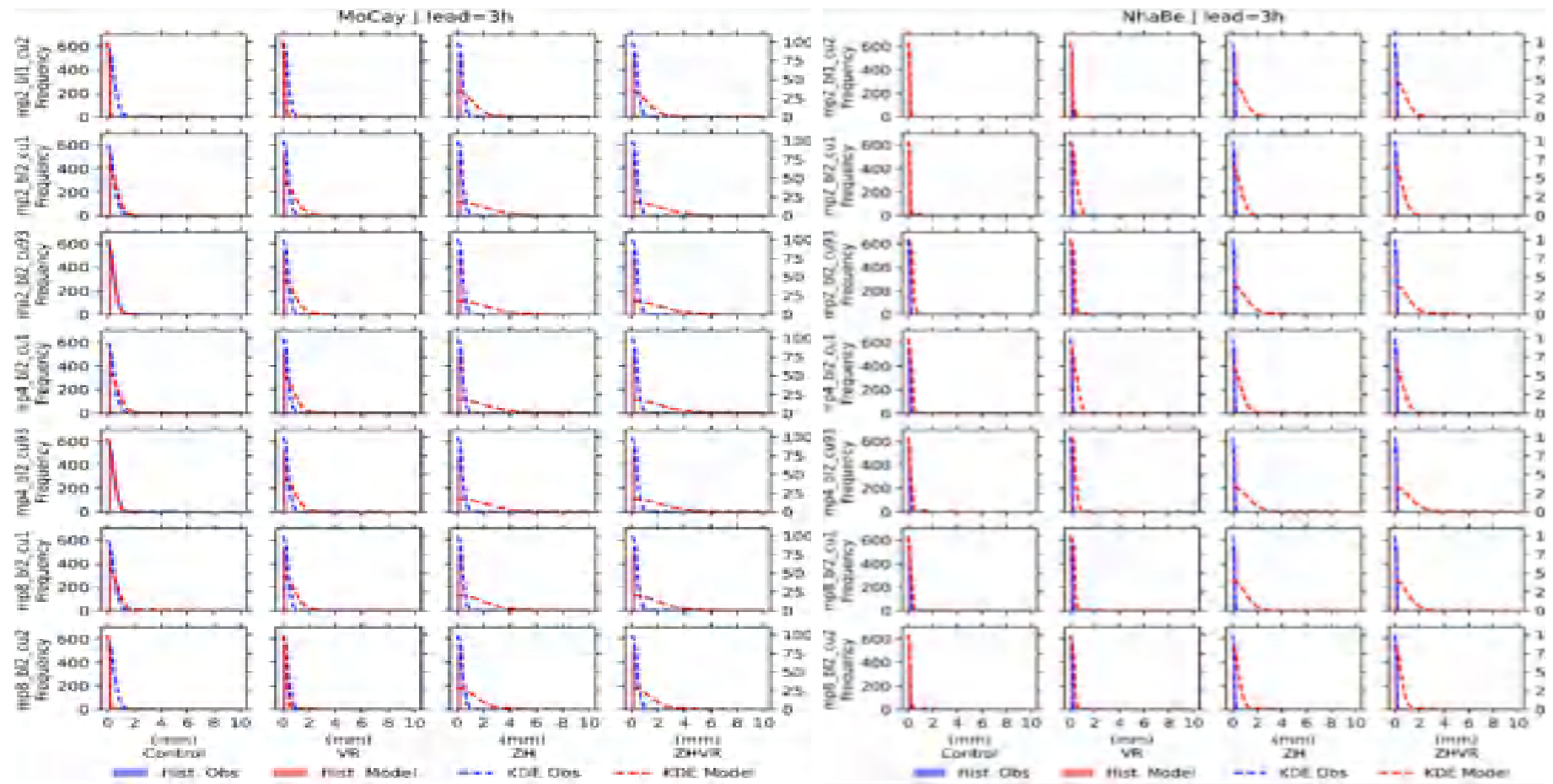


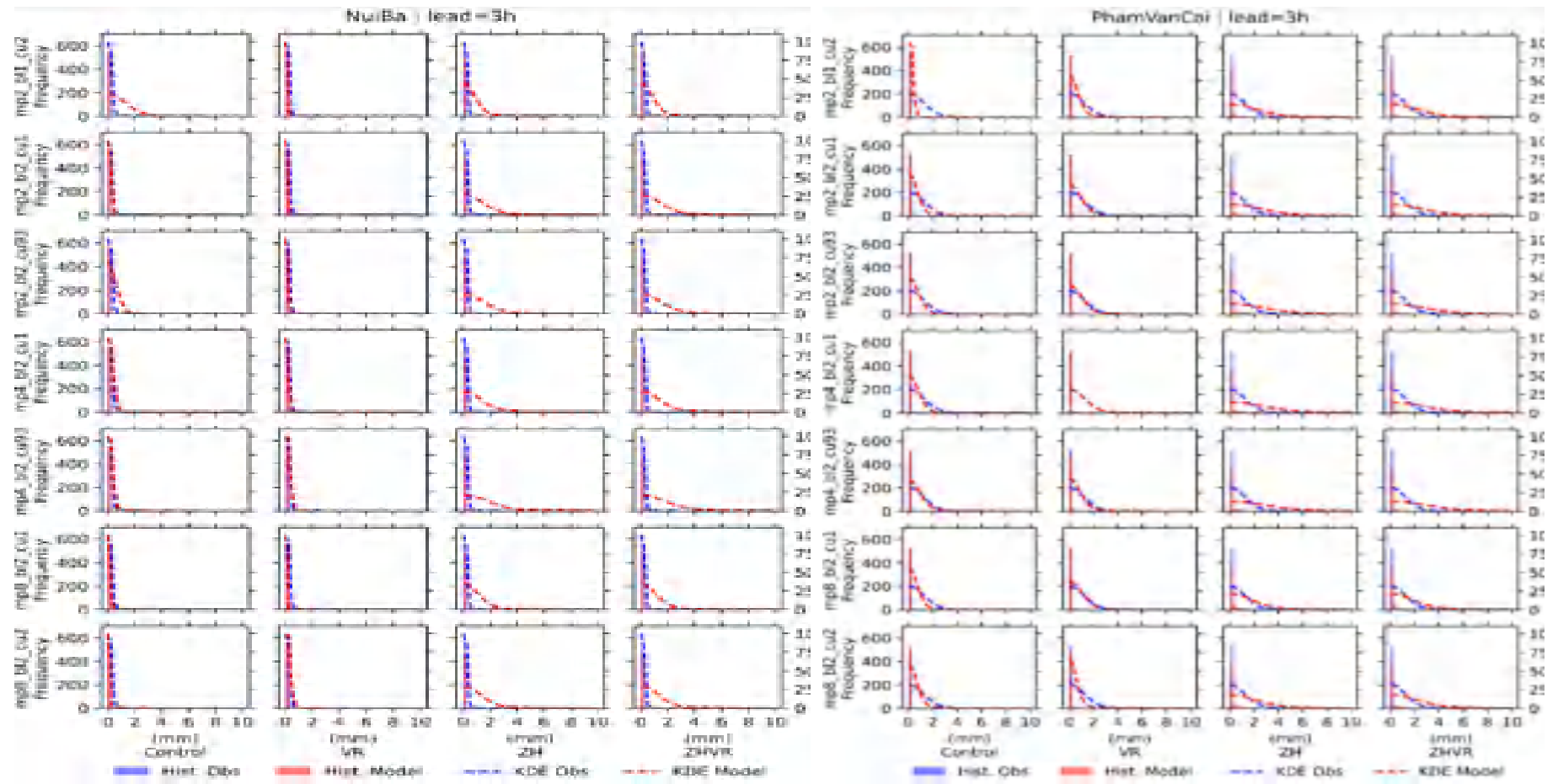


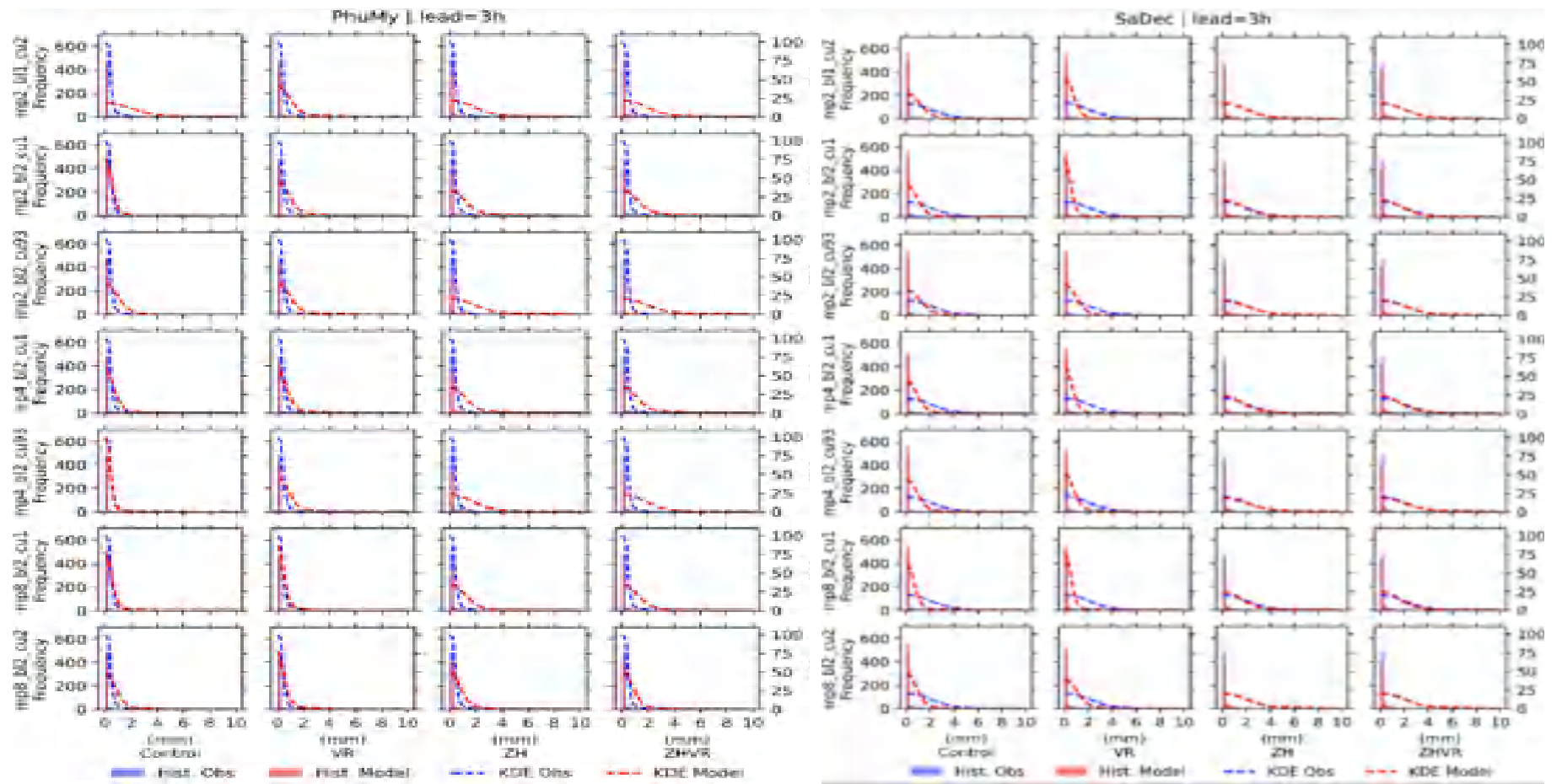


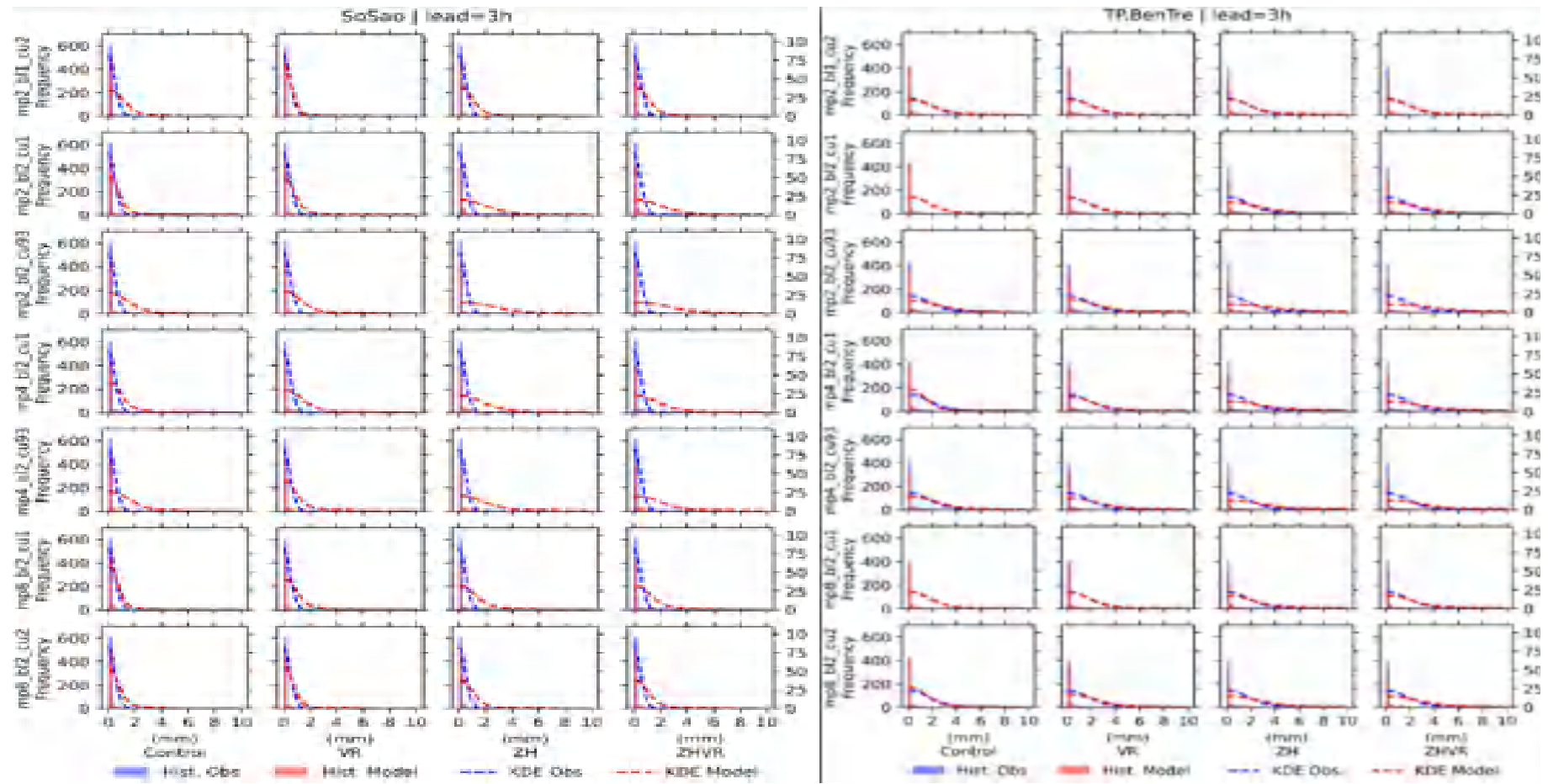


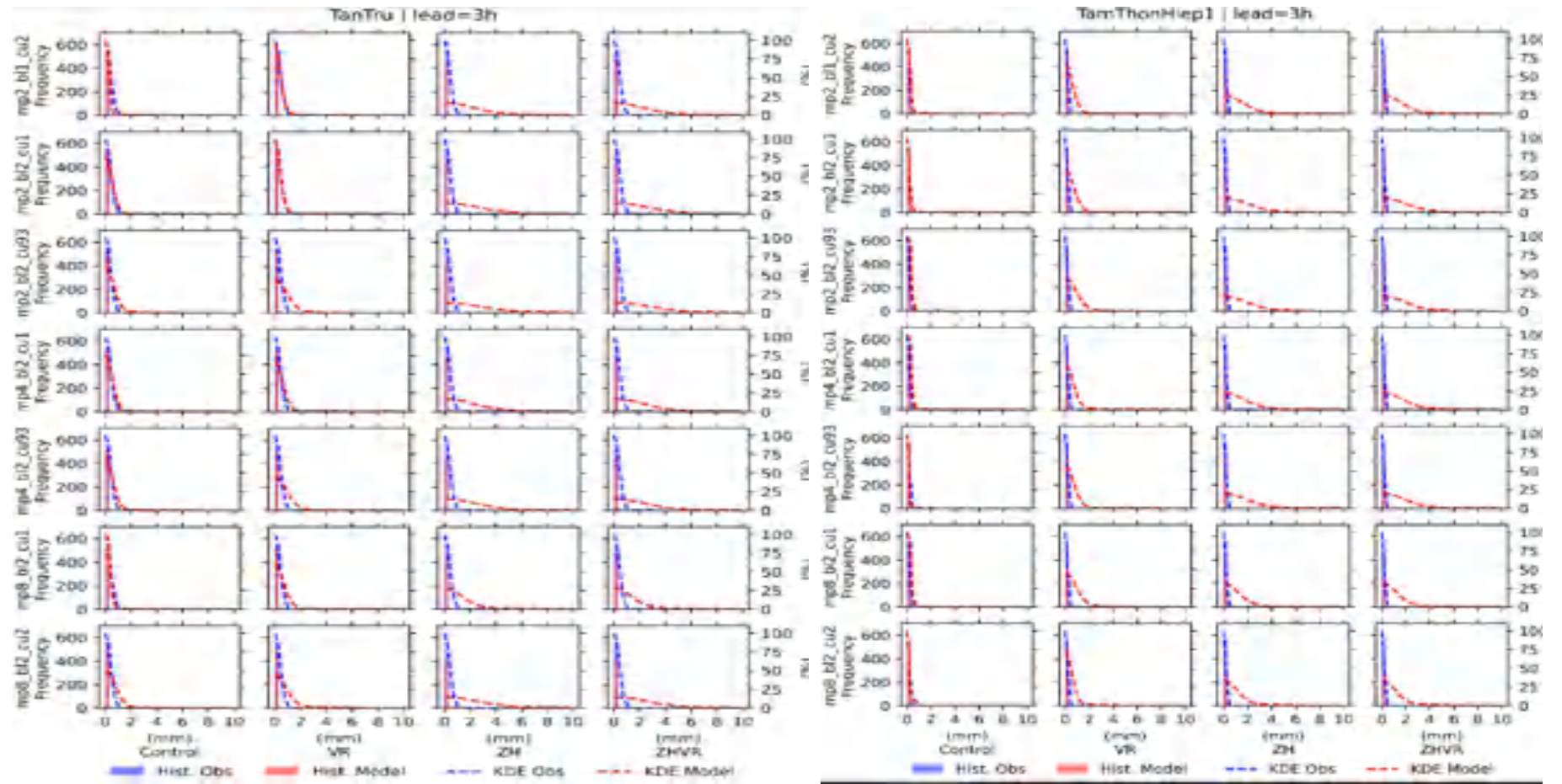


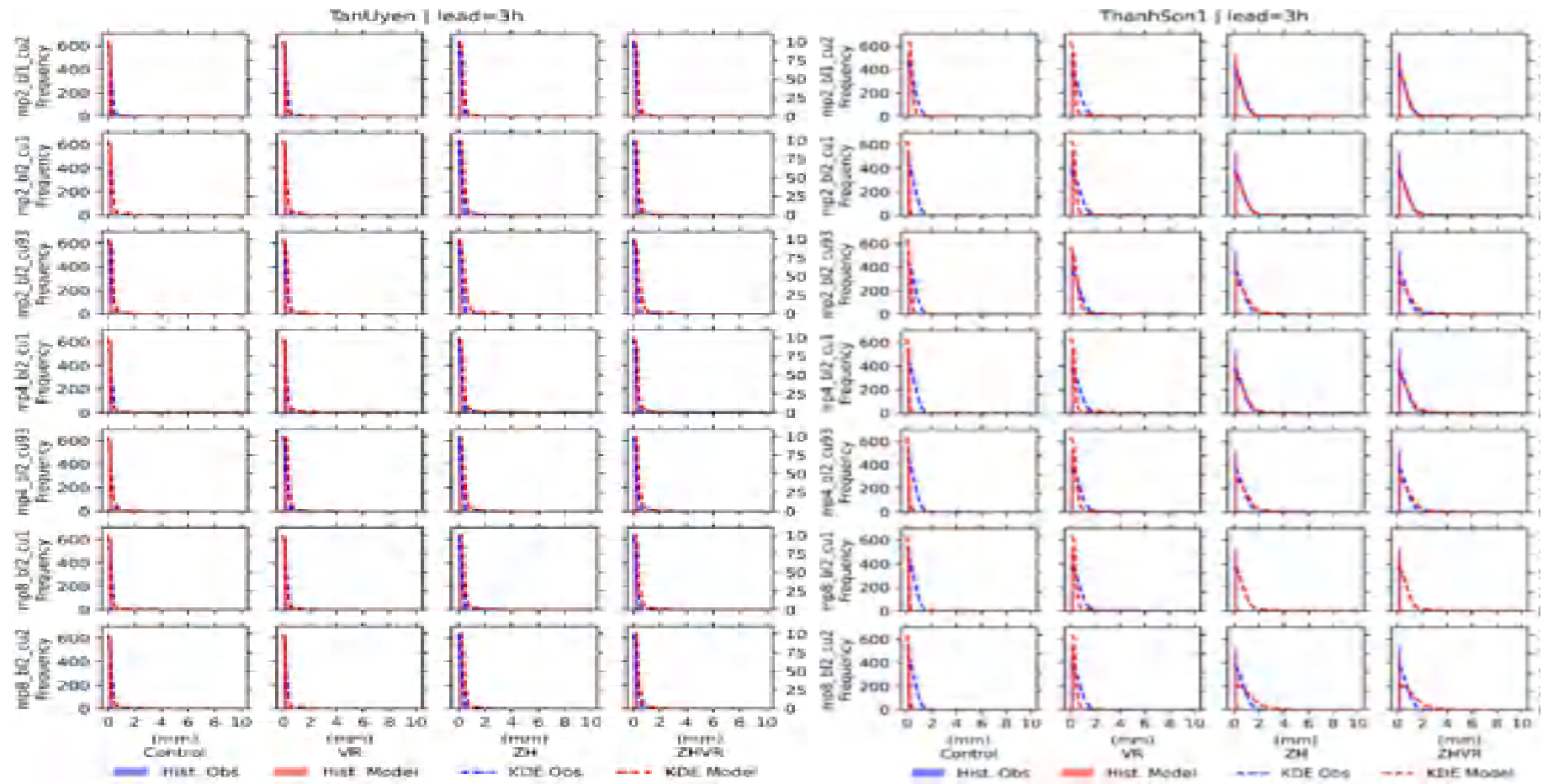


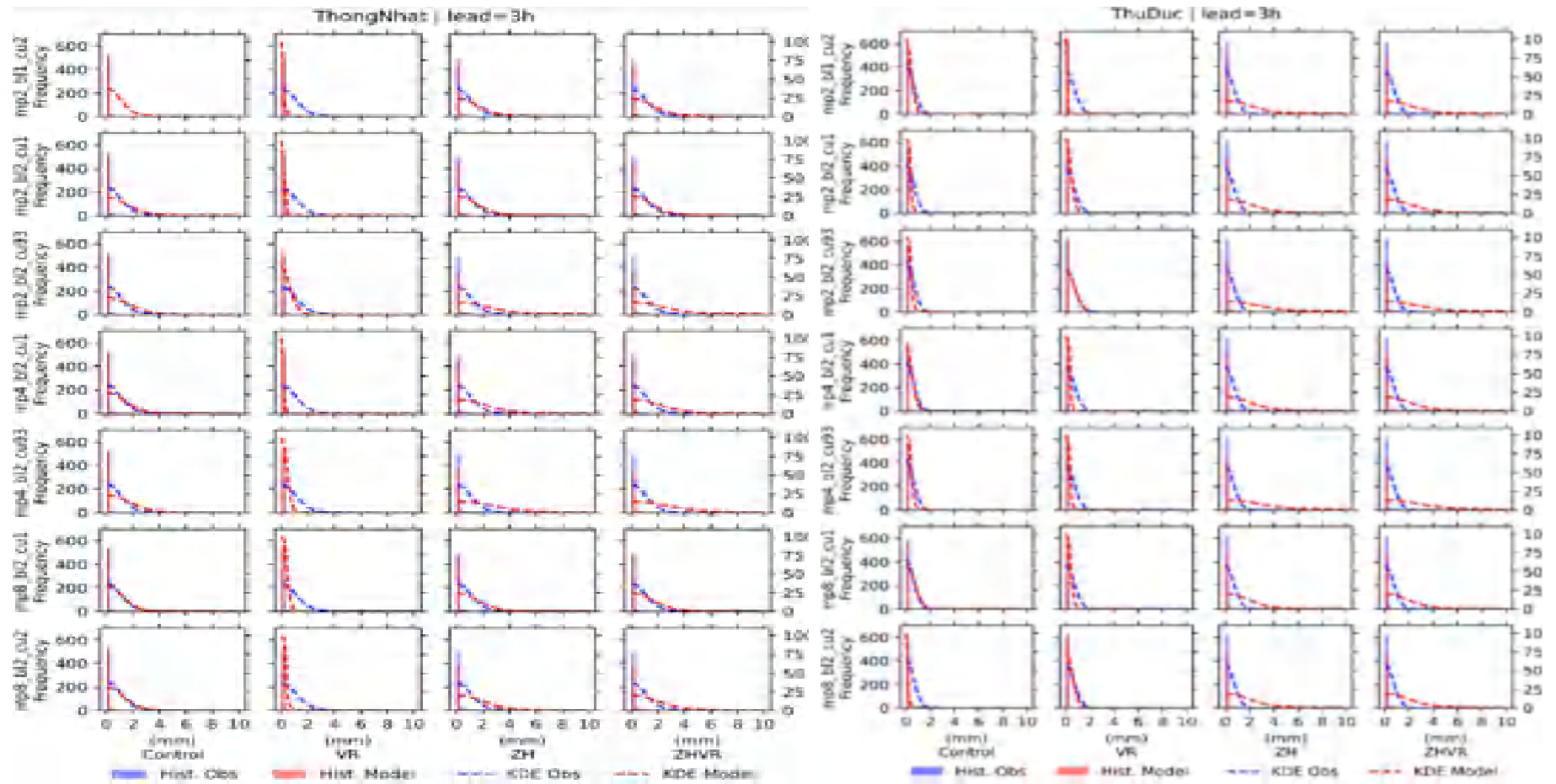


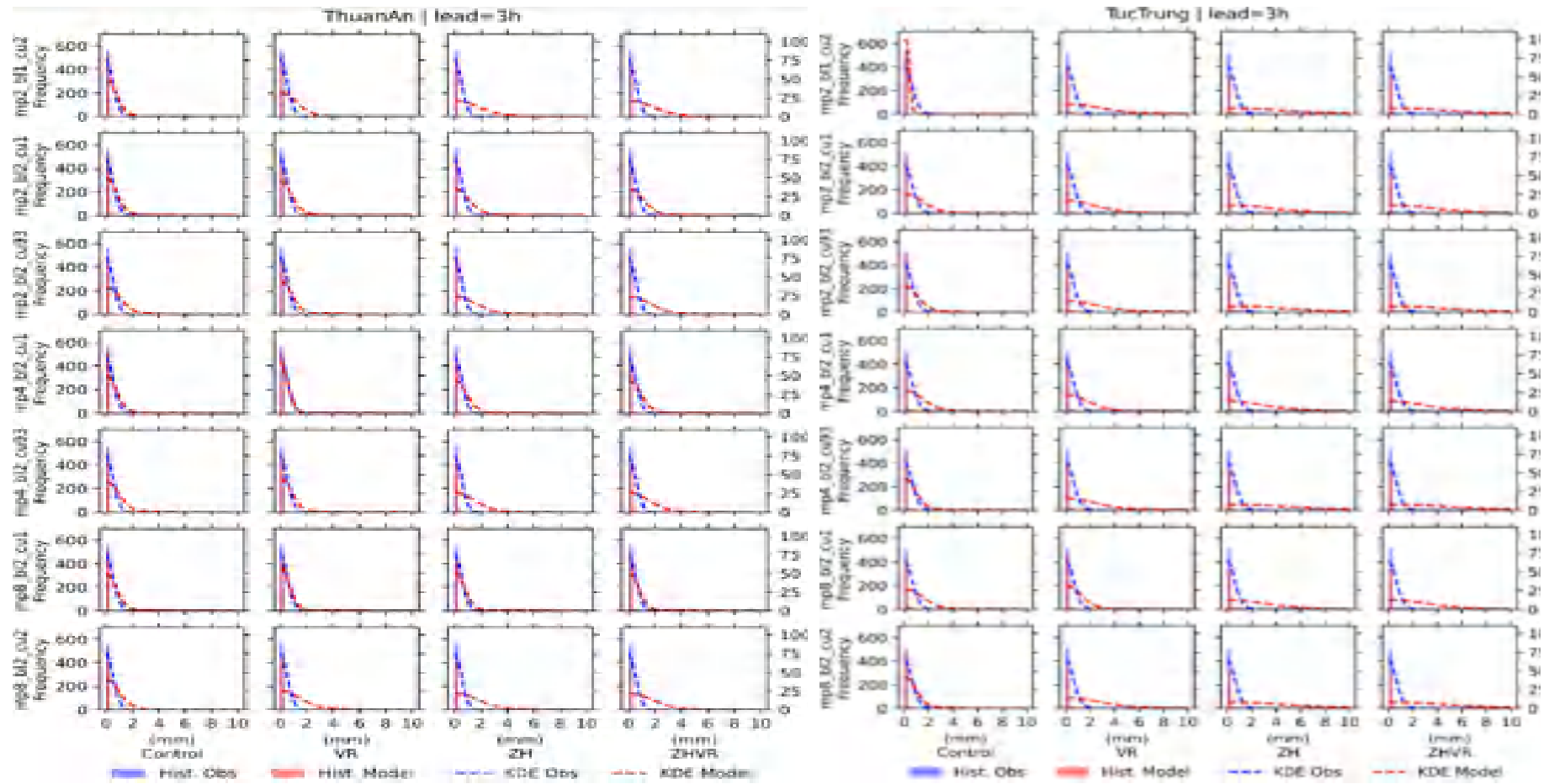


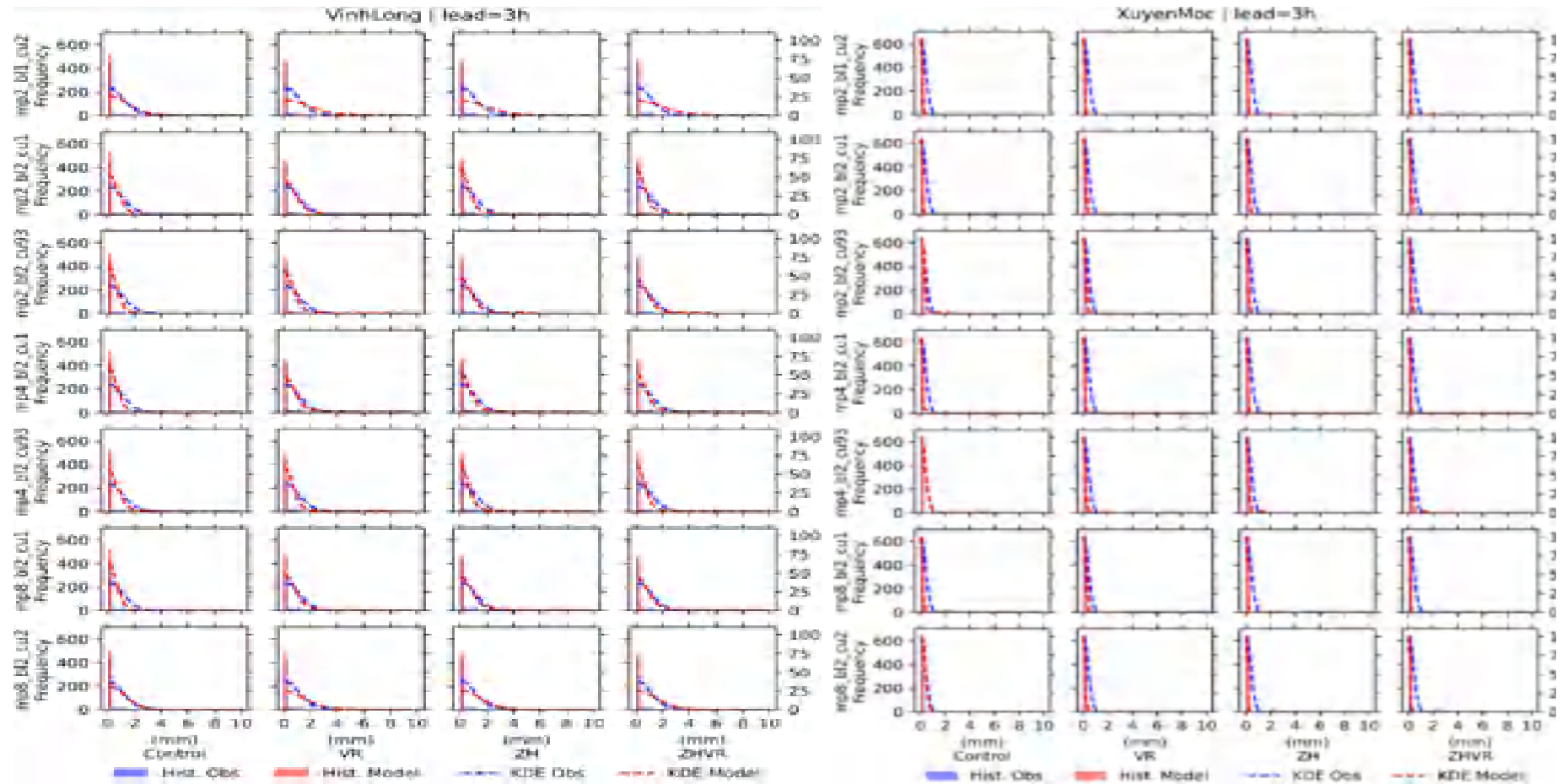






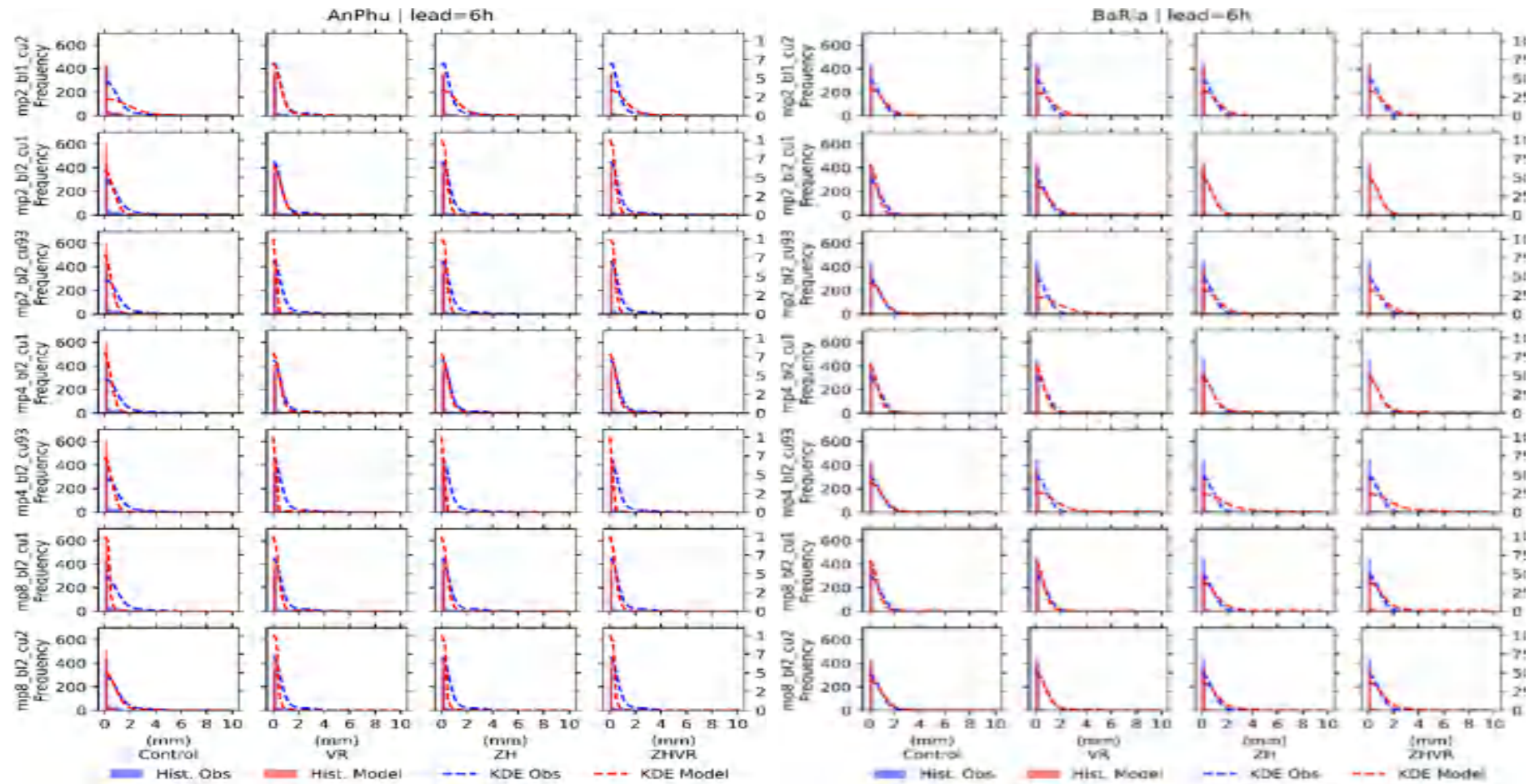


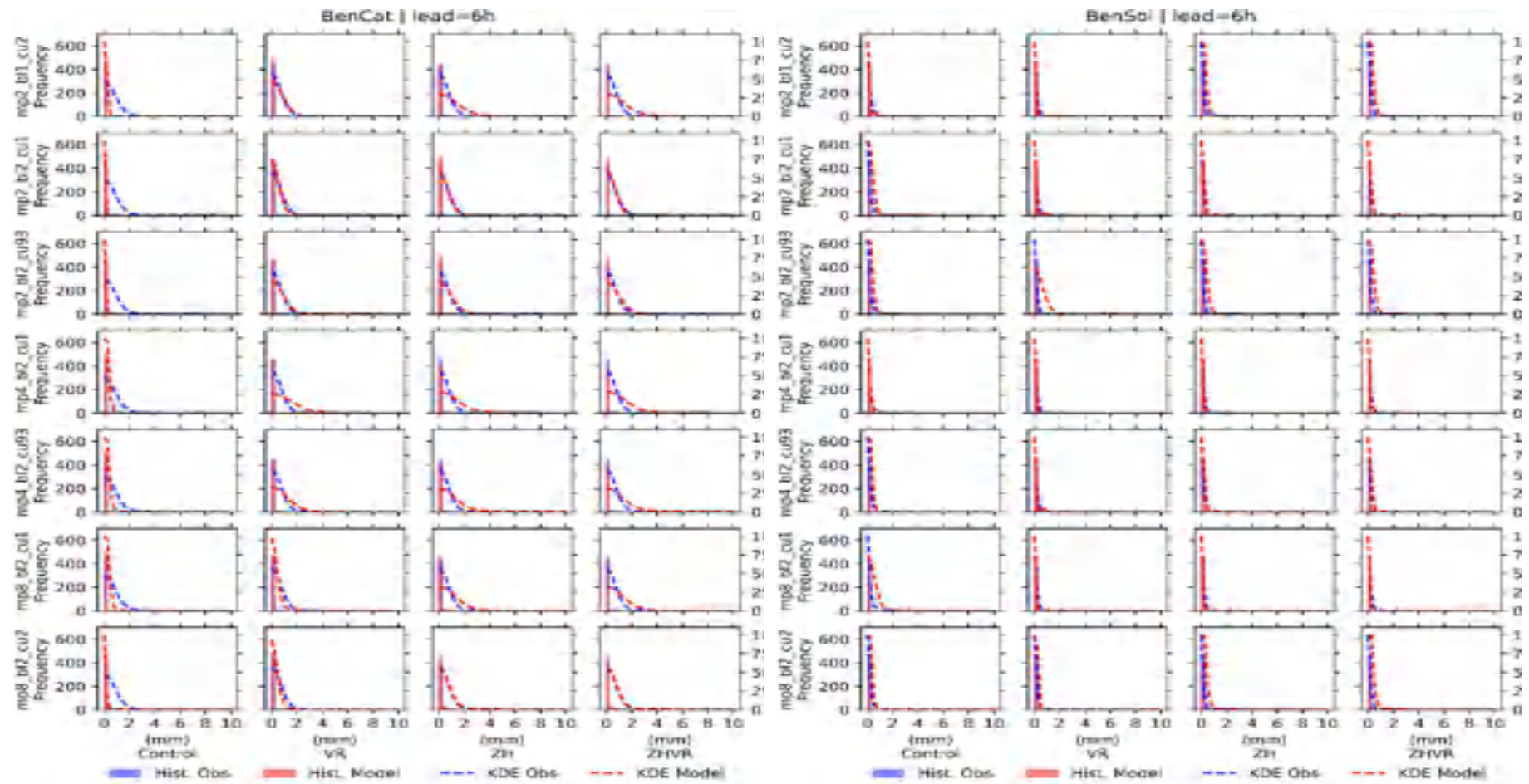


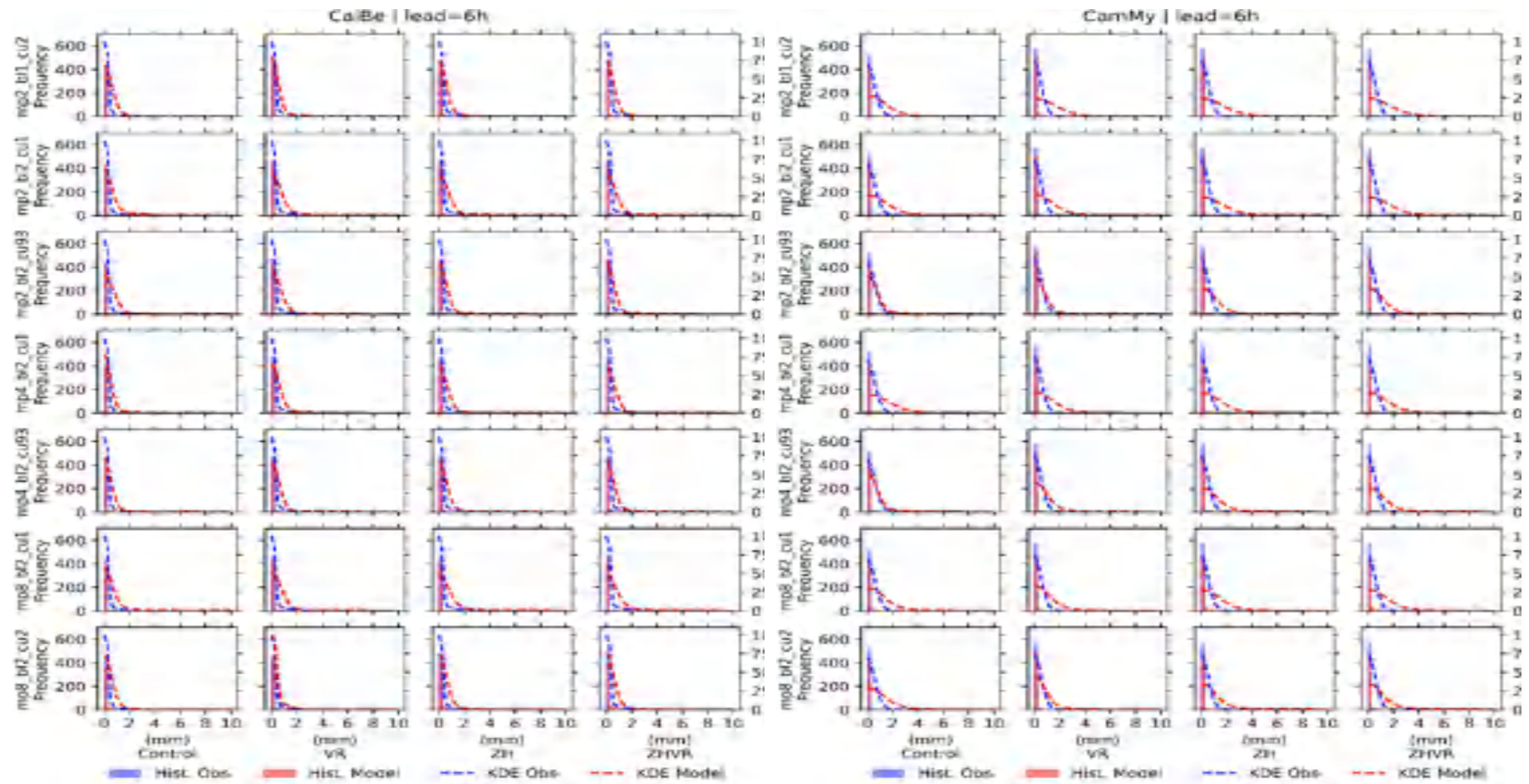


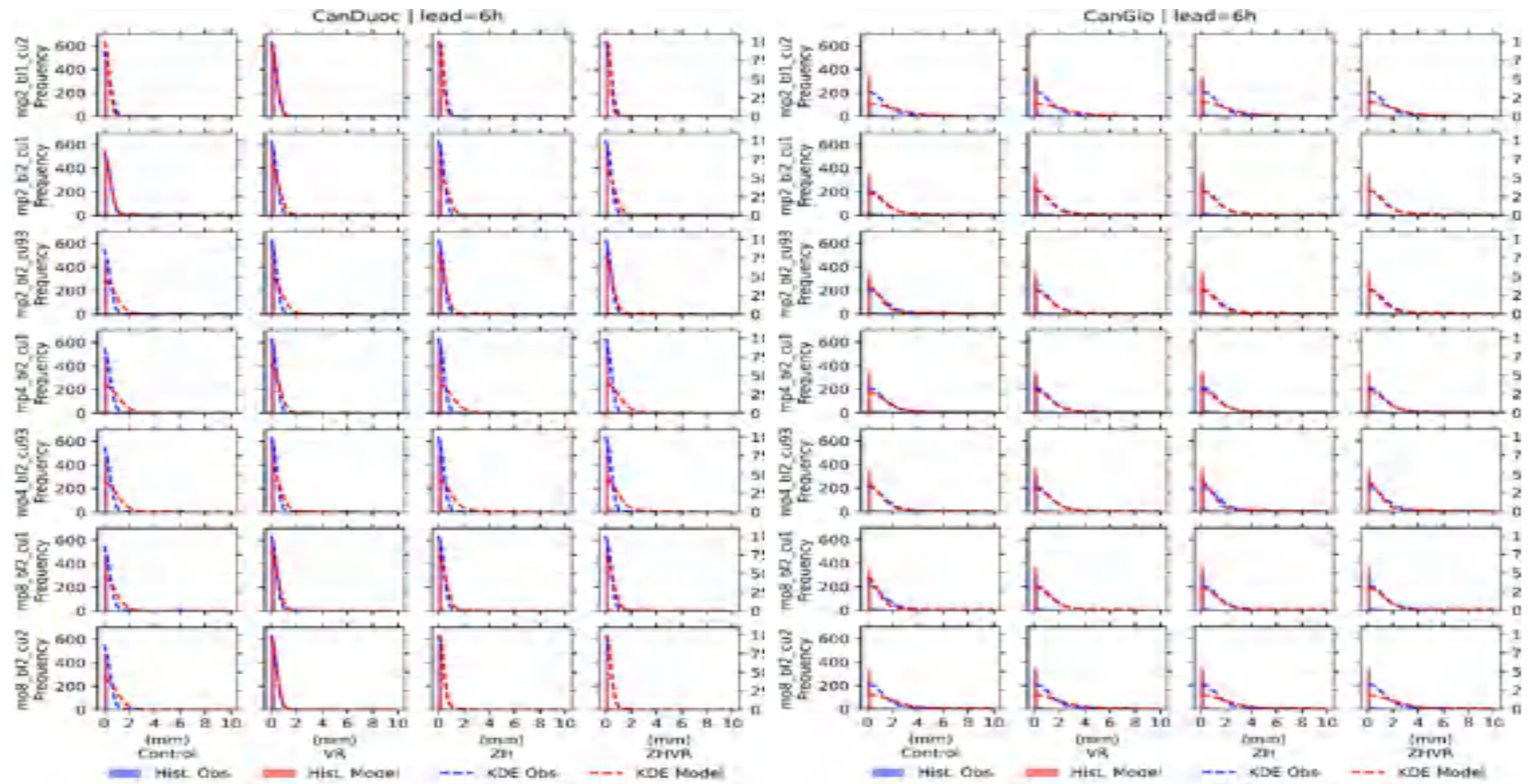
PL-Hình 3.16. Biểu đồ tần suất- histogram đối với mưa hạn 3h giữa mưa quan trắc (cột màu xanh) mưa dự báo (cột màu đỏ) và KDE-histogram quan trắc (nét đứt xanh) và KDE-histogram quan trắc (nét đứt xanh) tại vị trí trạm quan trắc với thử nghiệm không

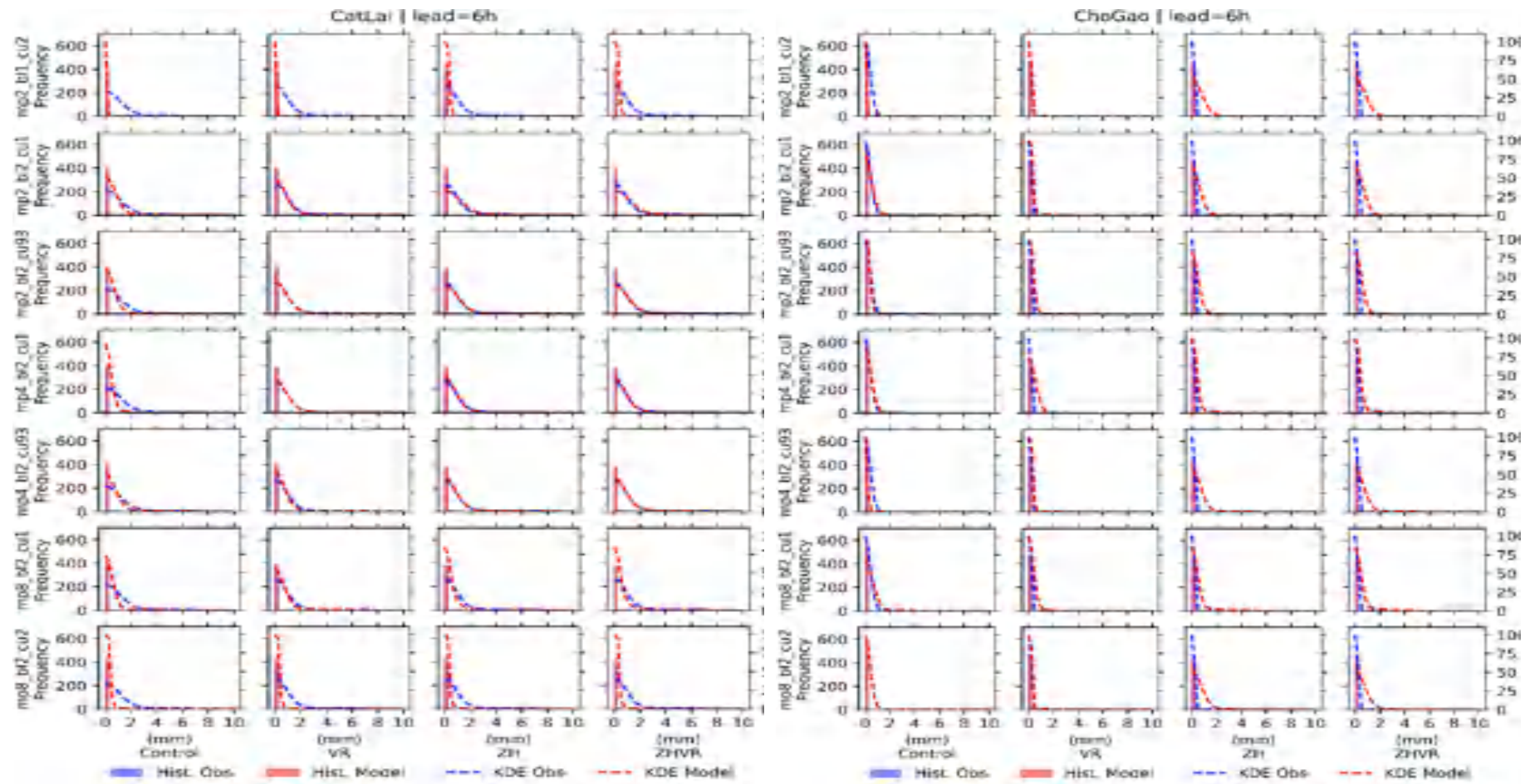
đồng hóa (bên trái), đồng hóa VR (trái-giữa), ZH (phải-giữa) và ZHVR (phải) đối với các cấu hình kết hợp tham số hóa vật lý khác nhau

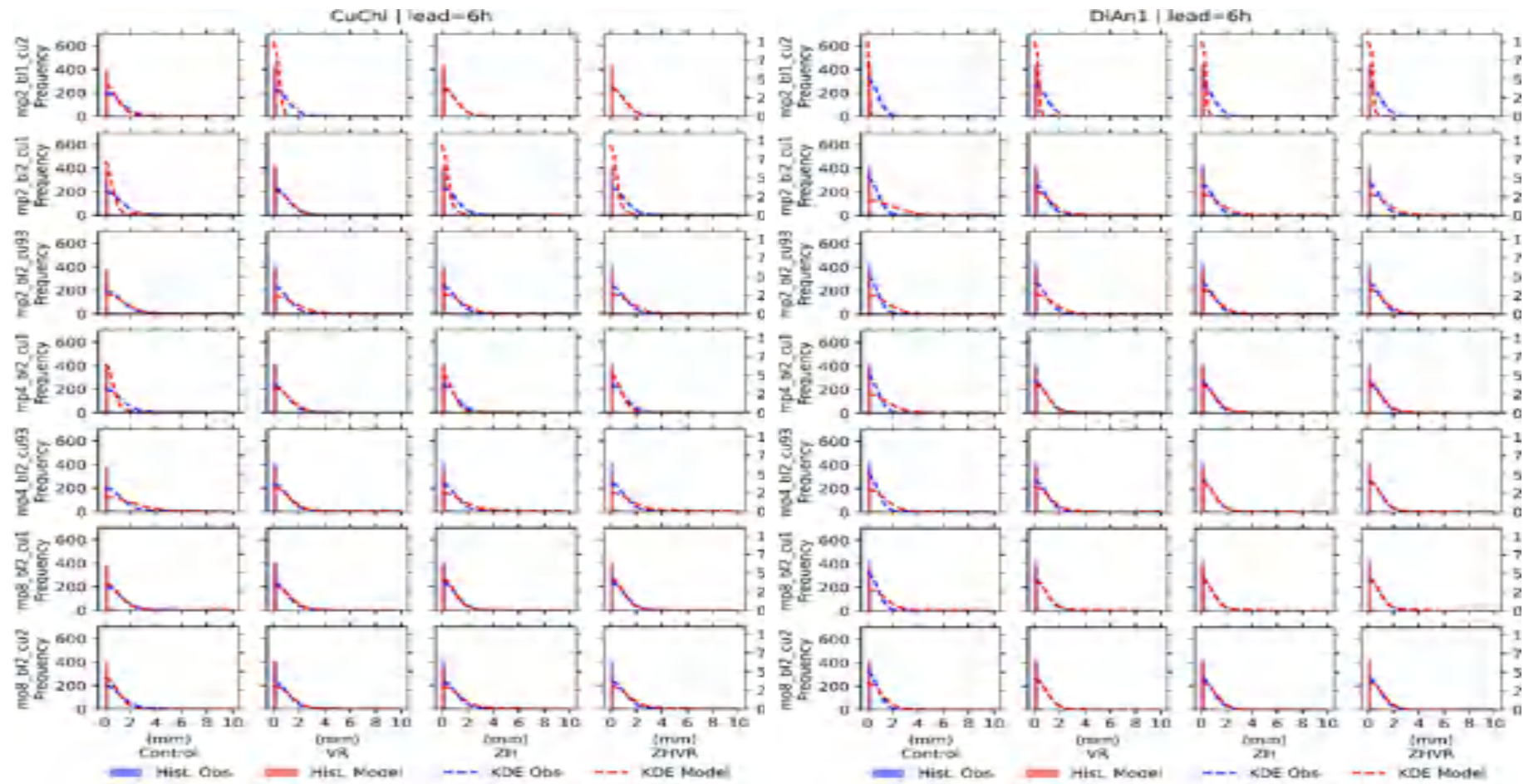


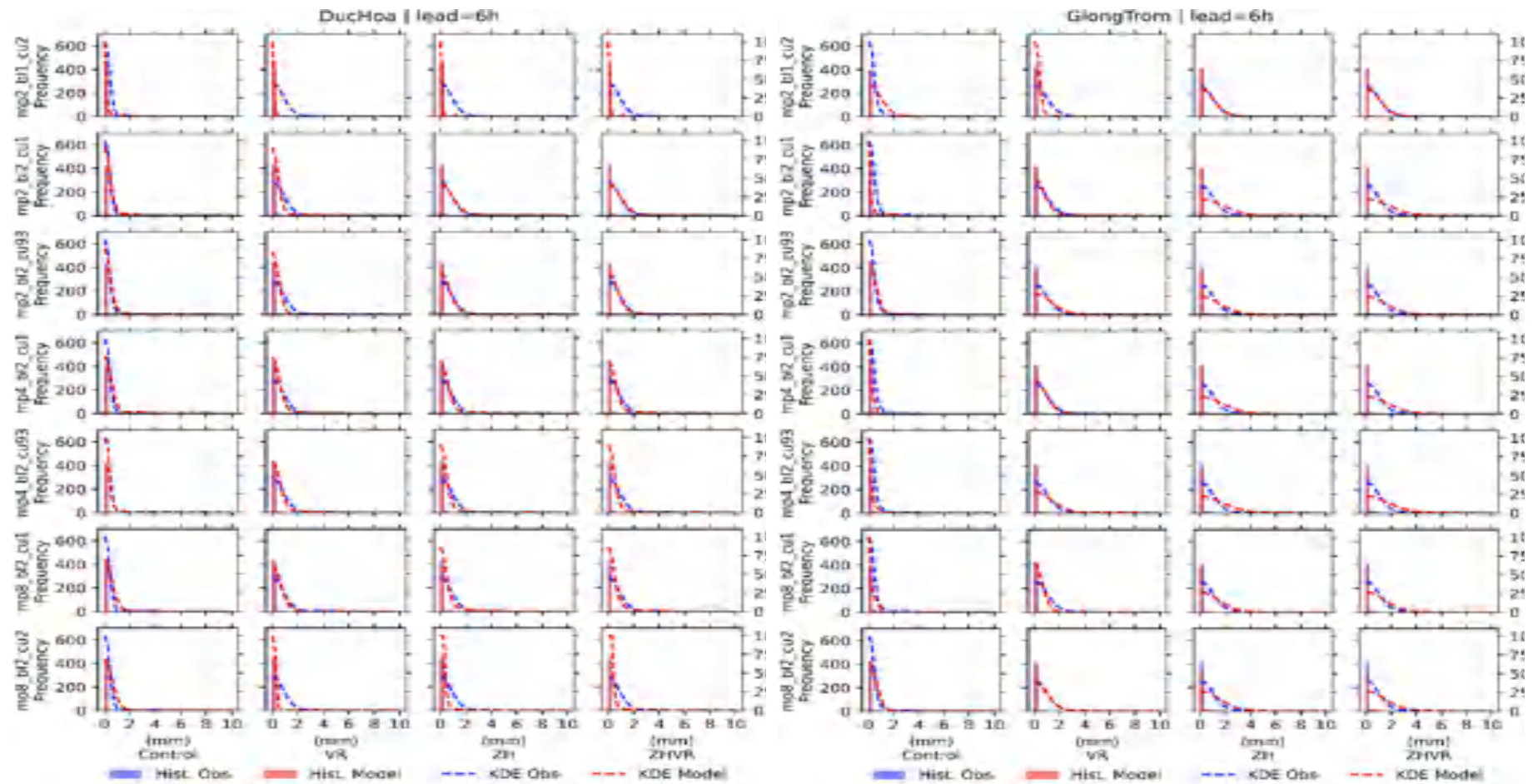


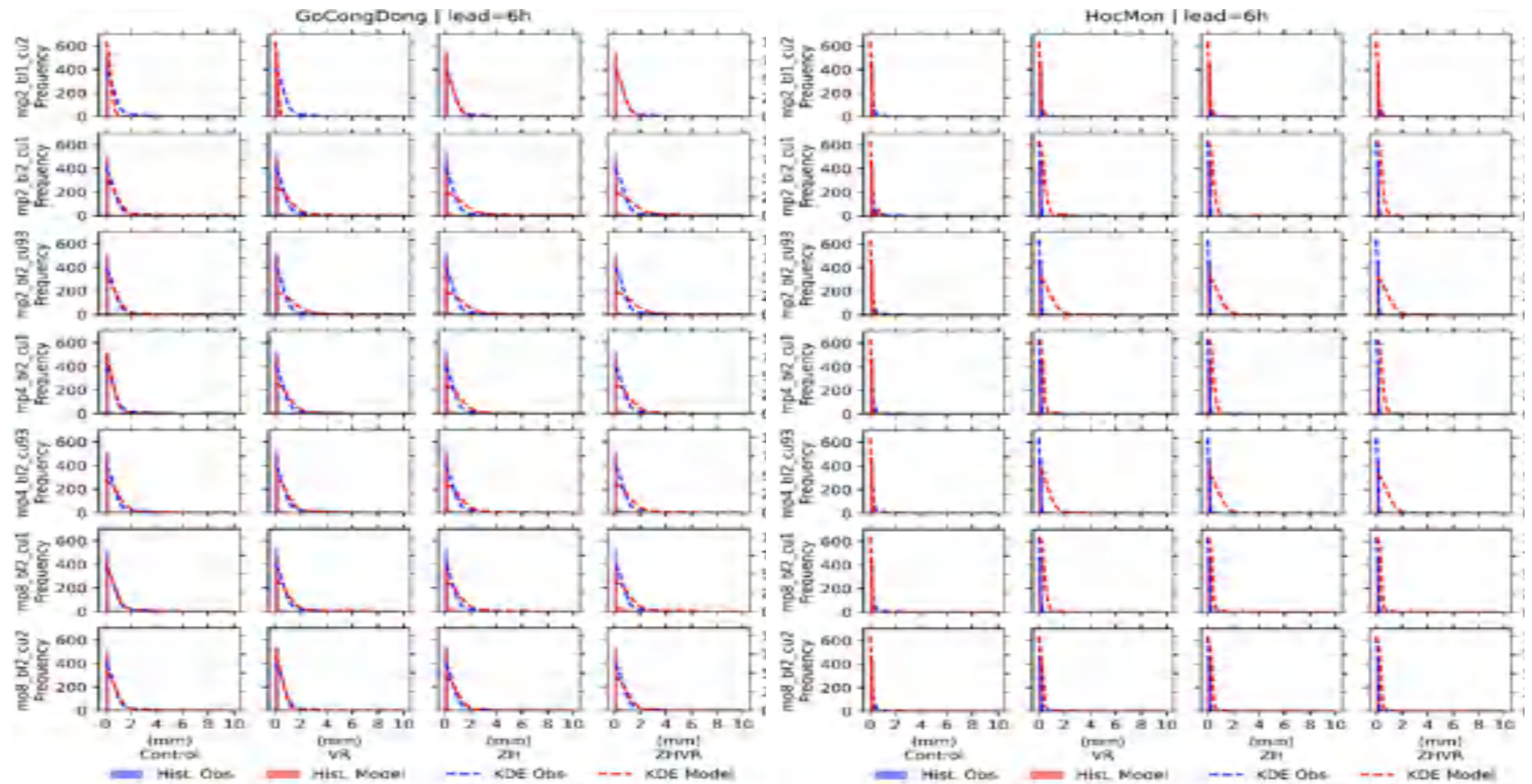


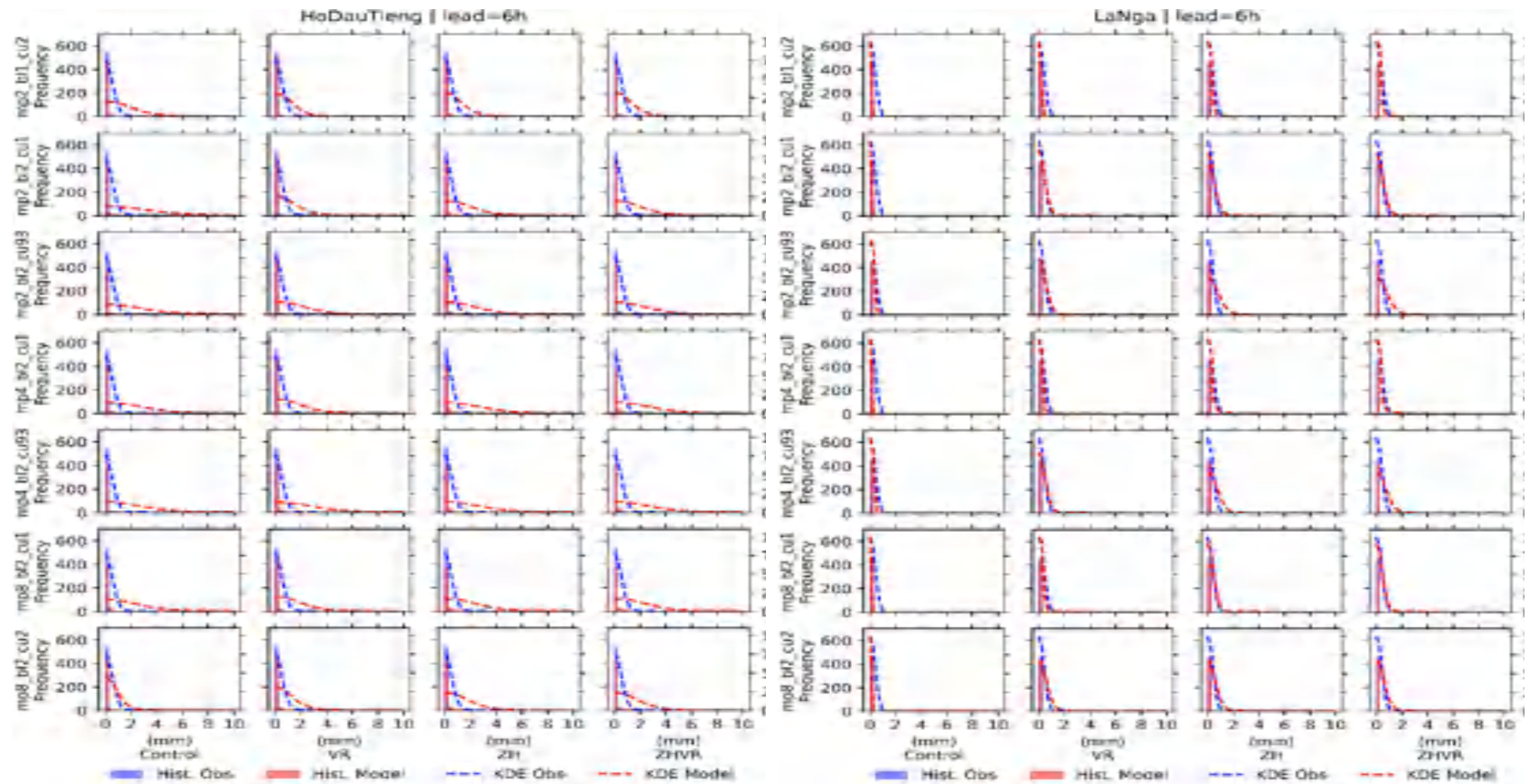


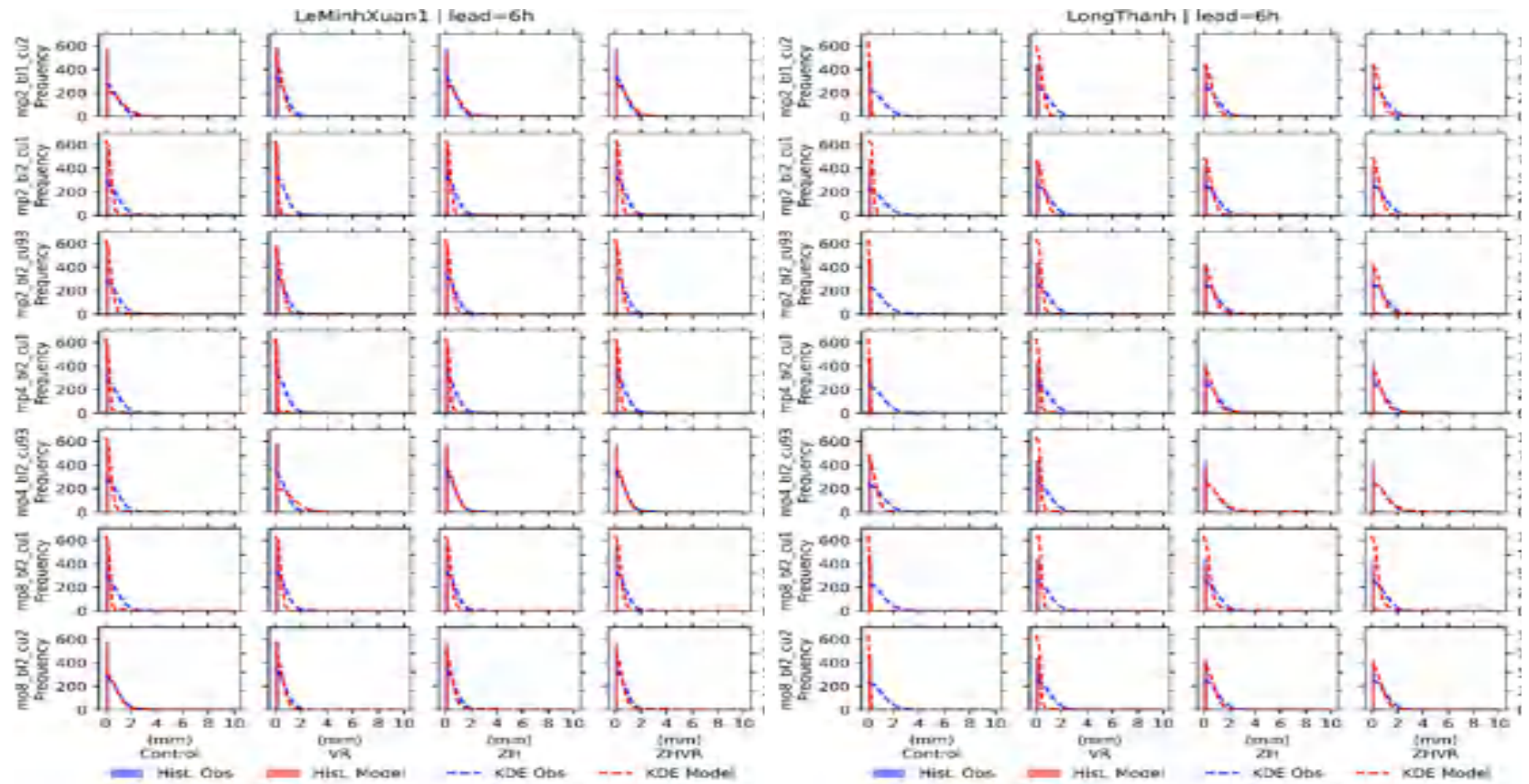


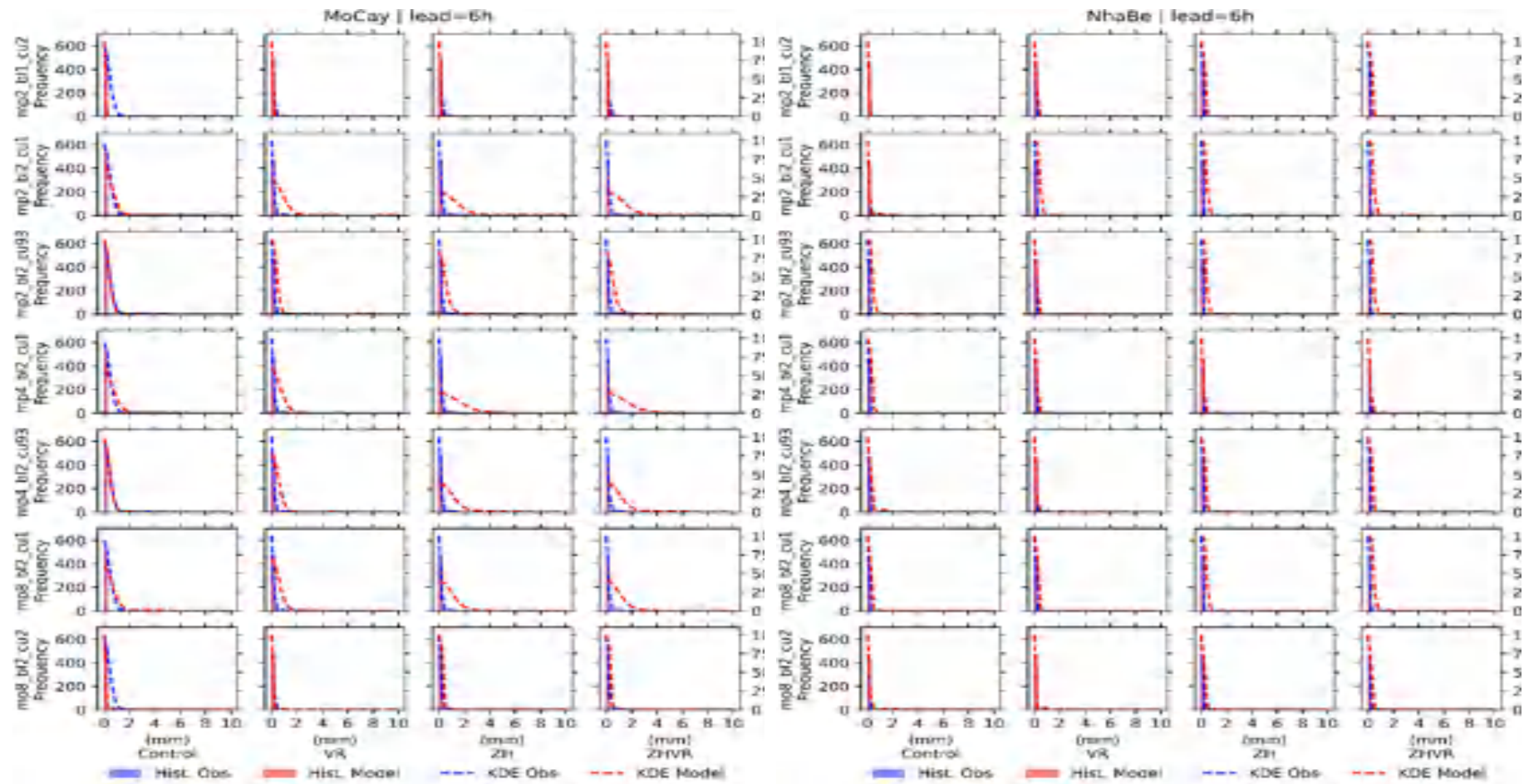


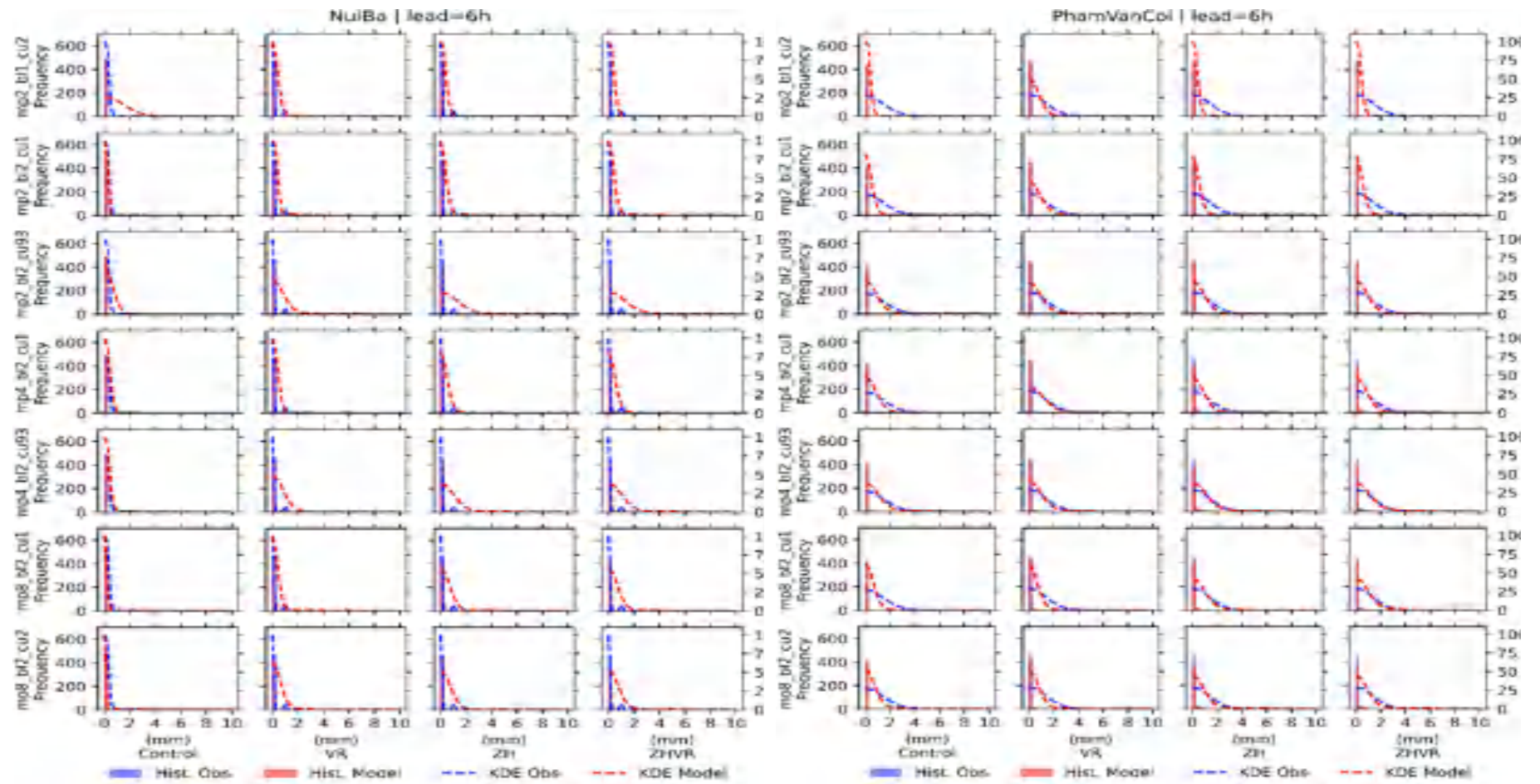


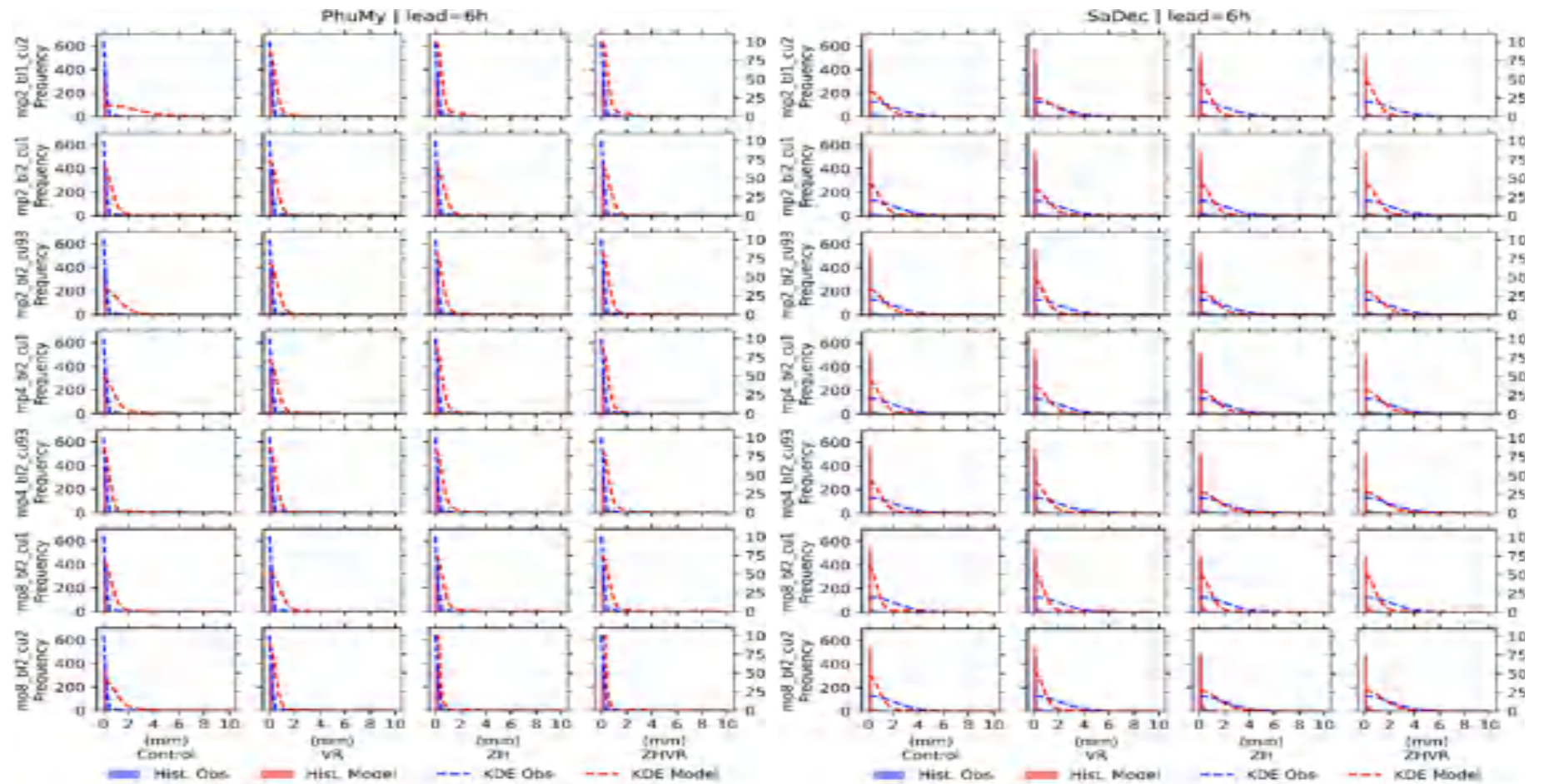


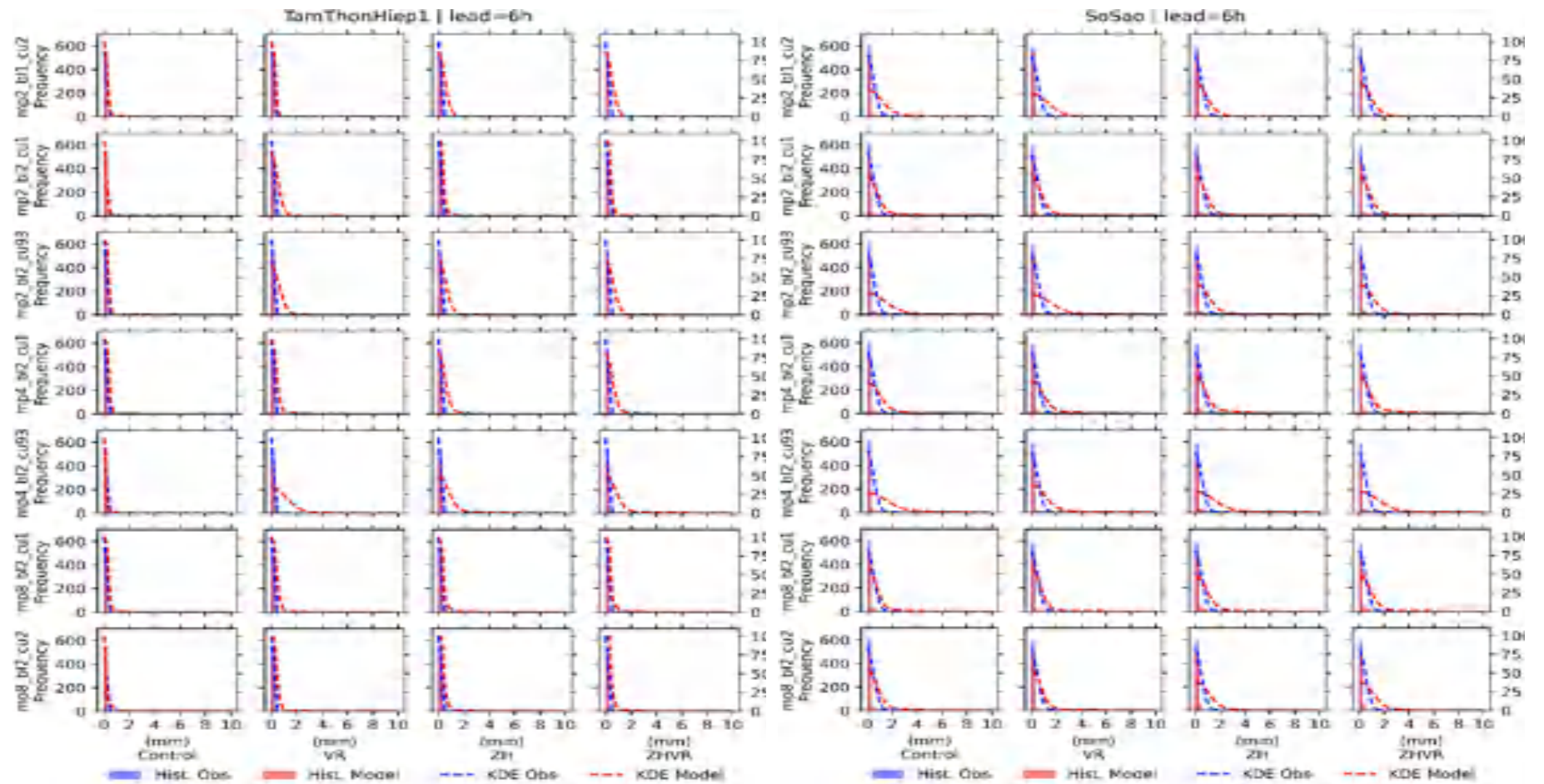


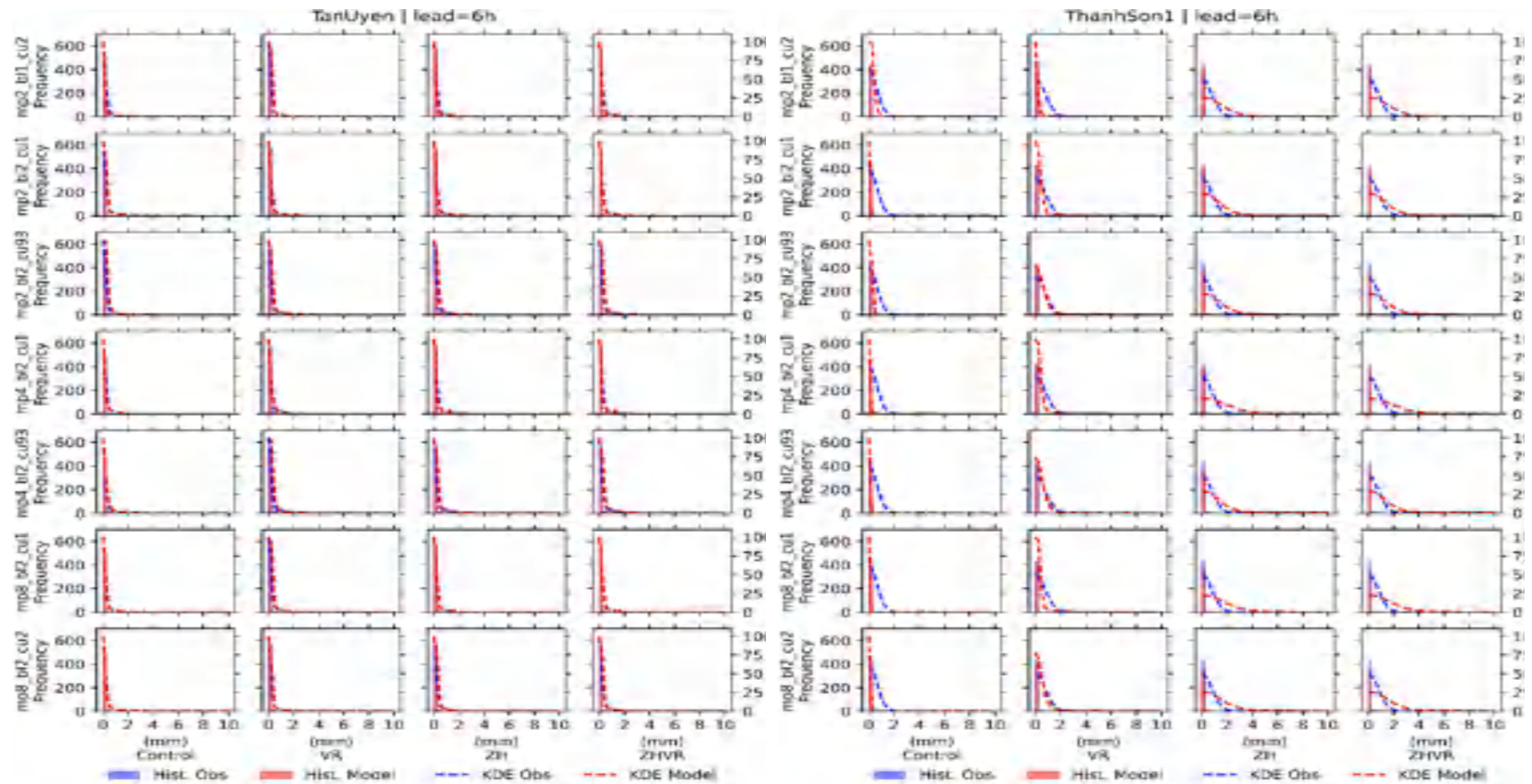


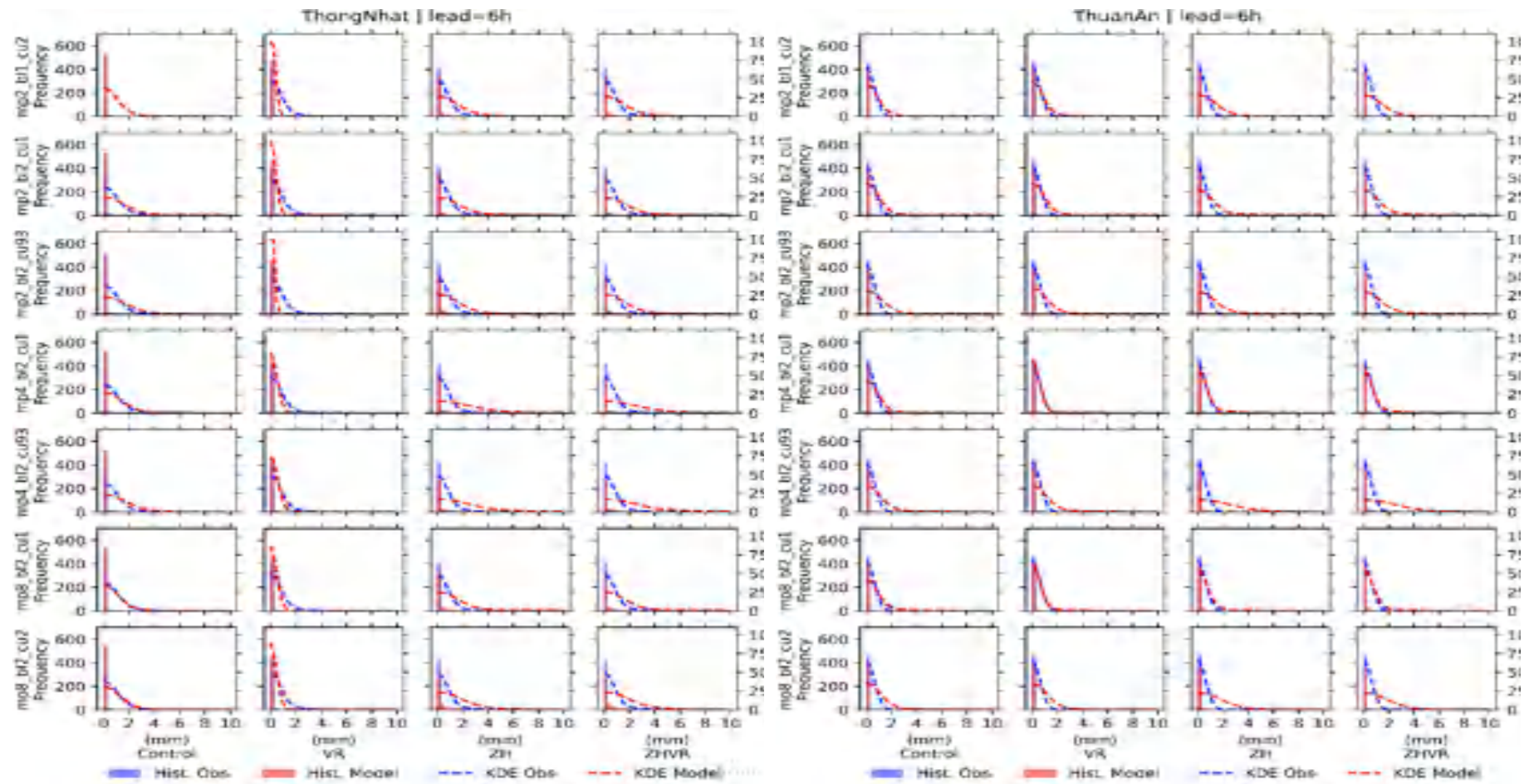


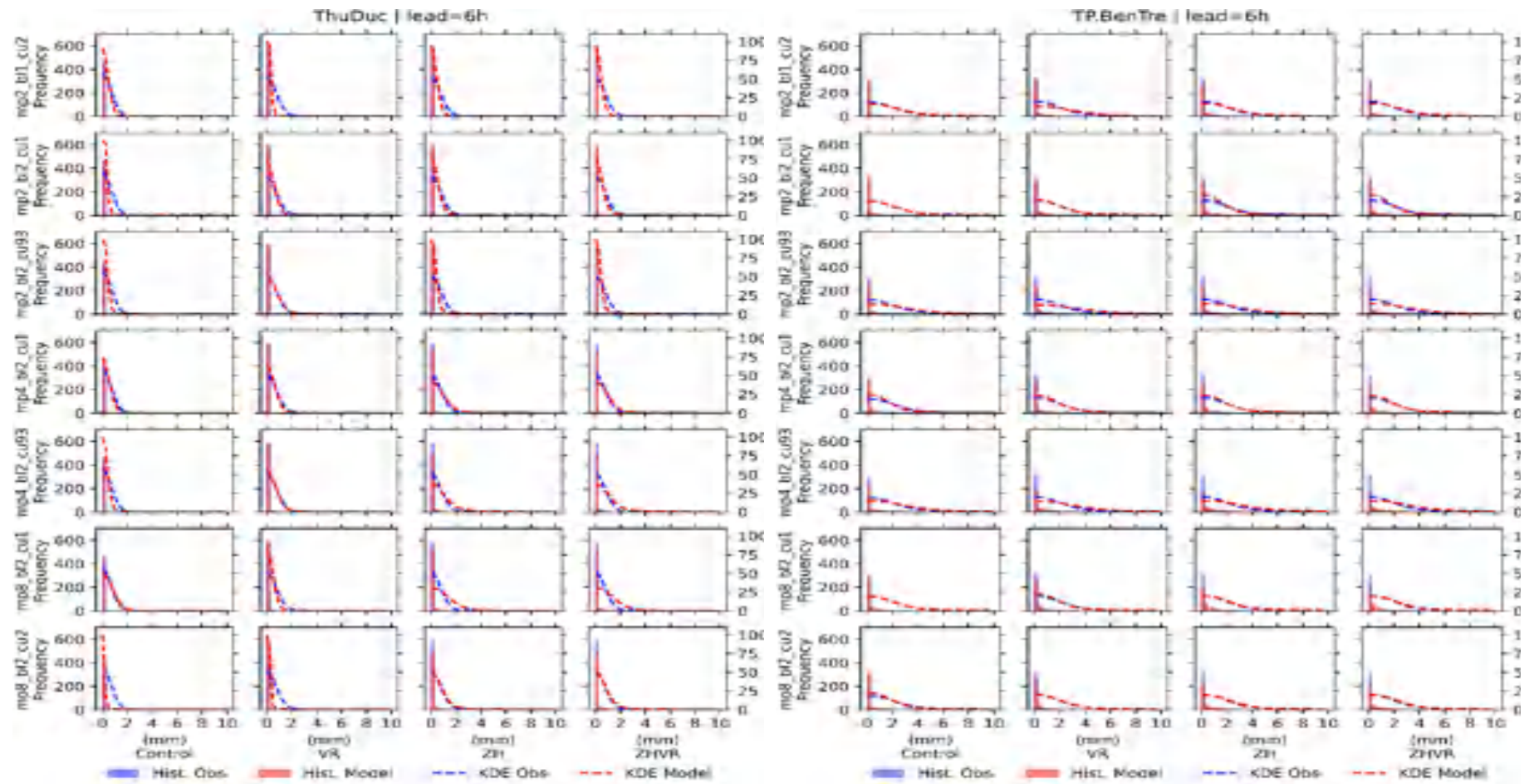


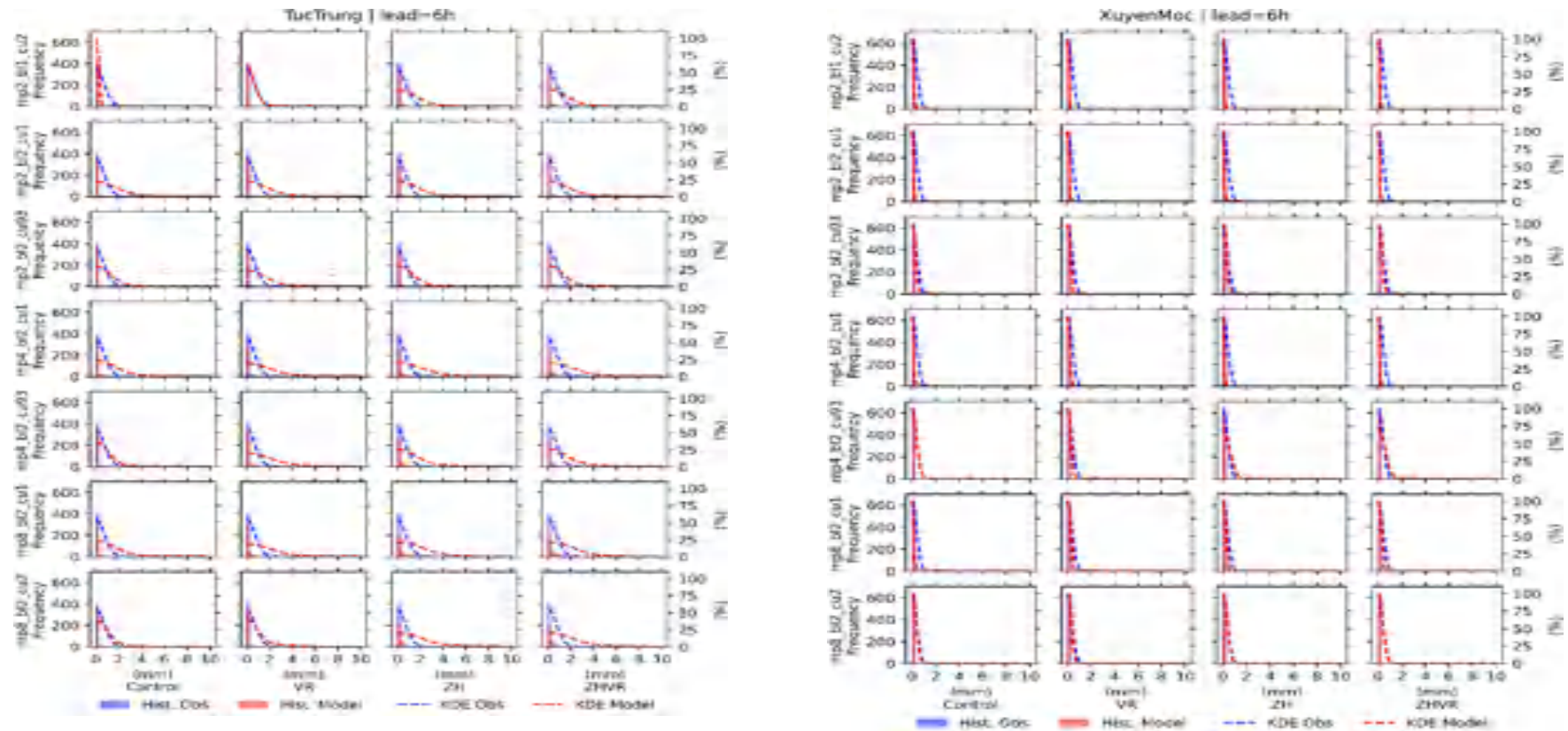












PL-Hình 3.17. Biểu đồ tần suất- histogram đối với mưa hạn 6h giữa mưa quan trắc (cột màu xanh) mưa dự báo (cột màu đỏ) và KDE-histogram quan trắc (nét đứt xanh) và KDE-histogram quan trắc (nét đứt xanh) tại vị trí trạm quan trắc với thử nghiệm không đồng hóa (bên trái), đồng hóa VR (trái-giữa), ZH (phải-giữa) và ZHVR (phải) đối với các cấu hình kết hợp tham số hóa vật lý khác nhau

PL-Bảng 4.1. Chỉ số đánh giá dự báo của các phương án với hạn dự báo 1h, 3h và 6h tại các ngưỡng mưa (CTL)

Chỉ số	Sơ đồ	Hạn 1h						Hạn 3h						Hạn 6h					
		0.1mm	1mm	2mm	3mm	4mm	5mm	0.1mm	1mm	2mm	3mm	4mm	5mm	0.1mm	1mm	2mm	3mm	4mm	5mm
FBI	mp2_bl1_cu2	0.84	0.91	1.01	1.09	1.05	0.77	0.88	0.95	1.04	1.12	1.07	0.81	0.94	1.02	1.13	1.21	1.16	0.84
	mp2_bl2_cu1	0.94	1.06	1.13	1.17	1.12	0.83	0.99	1.10	1.16	1.20	1.15	0.86	1.05	1.18	1.25	1.30	1.24	0.94
	mp2_bl2_cu93	1.09	1.28	1.37	1.43	1.43	0.93	1.15	1.34	1.41	1.46	1.47	0.96	1.21	1.42	1.51	1.57	1.58	1.09
	mp4_bl2_cu1	1.00	1.08	1.14	1.20	1.16	0.97	1.05	1.13	1.18	1.23	1.19	1.02	1.12	1.20	1.27	1.32	1.29	1.00
	mp4_bl2_cu93	1.09	1.19	1.26	1.34	1.26	0.97	1.15	1.24	1.30	1.37	1.28	1.01	1.21	1.32	1.40	1.48	1.39	1.09
	mp8_bl2_cu1	1.02	1.13	1.19	1.20	1.16	1.04	1.08	1.18	1.22	1.23	1.19	1.09	1.14	1.26	1.32	1.32	1.28	1.02
	mp8_bl2_cu2	0.96	1.09	1.14	1.15	1.14	1.03	1.01	1.13	1.17	1.18	1.17	1.05	1.02	1.15	1.19	1.19	1.19	0.96
POD	mp2_bl1_cu2	0.12	0.08	0.07	0.05	0.04	0.19	0.13	0.09	0.07	0.05	0.04	0.20	0.14	0.10	0.07	0.06	0.04	0.12
	mp2_bl2_cu1	0.12	0.09	0.07	0.06	0.05	0.17	0.12	0.09	0.07	0.06	0.05	0.18	0.13	0.09	0.07	0.07	0.05	0.12
	mp2_bl2_cu93	0.13	0.10	0.08	0.07	0.08	0.19	0.14	0.11	0.09	0.08	0.08	0.19	0.14	0.11	0.09	0.08	0.08	0.13
	mp4_bl2_cu1	0.13	0.10	0.09	0.08	0.07	0.22	0.14	0.10	0.09	0.08	0.07	0.23	0.14	0.11	0.10	0.09	0.07	0.13
	mp4_bl2_cu93	0.14	0.10	0.09	0.08	0.07	0.21	0.15	0.10	0.09	0.08	0.07	0.22	0.15	0.11	0.10	0.09	0.07	0.14
	mp8_bl2_cu1	0.13	0.10	0.09	0.08	0.06	0.24	0.14	0.10	0.09	0.08	0.07	0.25	0.15	0.11	0.10	0.09	0.07	0.13
	mp8_bl2_cu2	0.12	0.08	0.07	0.05	0.04	0.20	0.12	0.08	0.07	0.05	0.04	0.21	0.13	0.08	0.07	0.06	0.05	0.12
FAR	mp2_bl1_cu2	0.85	0.91	0.93	0.95	0.96	0.75	0.85	0.91	0.93	0.95	0.96	0.75	0.85	0.91	0.93	0.95	0.96	0.85
	mp2_bl2_cu1	0.88	0.92	0.94	0.95	0.96	0.79	0.88	0.92	0.94	0.95	0.96	0.79	0.88	0.92	0.94	0.95	0.96	0.88
	mp2_bl2_cu93	0.88	0.92	0.94	0.95	0.95	0.80	0.88	0.92	0.94	0.95	0.95	0.80	0.88	0.92	0.94	0.95	0.95	0.88
	mp4_bl2_cu1	0.87	0.91	0.92	0.93	0.94	0.77	0.87	0.91	0.92	0.93	0.94	0.77	0.87	0.91	0.92	0.94	0.94	0.87
	mp4_bl2_cu93	0.87	0.92	0.93	0.94	0.94	0.78	0.87	0.92	0.93	0.94	0.94	0.78	0.88	0.92	0.93	0.94	0.95	0.87
	mp8_bl2_cu1	0.87	0.91	0.93	0.94	0.94	0.77	0.87	0.91	0.93	0.94	0.94	0.77	0.87	0.91	0.93	0.94	0.94	0.87
	mp8_bl2_cu2	0.88	0.93	0.94	0.95	0.96	0.81	0.88	0.93	0.94	0.95	0.96	0.80	0.88	0.93	0.94	0.95	0.96	0.88
CSI	mp2_bl1_cu2	0.07	0.05	0.03	0.03	0.02	0.12	0.07	0.05	0.03	0.03	0.02	0.13	0.08	0.05	0.04	0.03	0.02	0.07

Chi số	Sơ đồ	Hạn 1h						Hạn 3h						Hạn 6h					
		0.1mm	1mm	2mm	3mm	4mm	5mm	0.1mm	1mm	2mm	3mm	4mm	5mm	0.1mm	1mm	2mm	3mm	4mm	5mm
	mp2_bl2_cu1	0.06	0.04	0.03	0.03	0.02	0.11	0.07	0.04	0.03	0.03	0.02	0.11	0.07	0.05	0.03	0.03	0.02	0.06
	mp2_bl2_cu93	0.07	0.05	0.04	0.03	0.03	0.11	0.07	0.05	0.04	0.03	0.03	0.11	0.07	0.05	0.04	0.03	0.03	0.07
	mp4_bl2_cu1	0.07	0.05	0.04	0.04	0.03	0.12	0.07	0.05	0.04	0.04	0.03	0.13	0.07	0.05	0.04	0.04	0.03	0.07
	mp4_bl2_cu93	0.07	0.05	0.04	0.04	0.03	0.12	0.07	0.05	0.04	0.04	0.03	0.13	0.07	0.05	0.04	0.04	0.03	0.07
	mp8_bl2_cu1	0.07	0.05	0.04	0.04	0.03	0.13	0.07	0.05	0.04	0.04	0.03	0.14	0.07	0.05	0.04	0.04	0.03	0.07
	mp8_bl2_cu2	0.06	0.04	0.03	0.03	0.02	0.11	0.06	0.04	0.03	0.03	0.02	0.12	0.07	0.04	0.03	0.03	0.02	0.06

Bảng 4.2. Chỉ số đánh giá dự báo của các phương án với hạn dự báo 1h, 3h và 6h tại các ngưỡng mưa (VR)

Chỉ số	Sơ đồ	Hạn 1h						Hạn 3h						Hạn 6h					
		0.1mm	1mm	2mm	3mm	4mm	5mm	0.1mm	1mm	2mm	3mm	4mm	5mm	0.1mm	1mm	2mm	3mm	4mm	5mm
FBI	mp2_bl1_cu2	0.85	0.88	0.98	1.03	1.10	1.09	0.82	1.01	1.15	1.21	1.26	1.26	0.73	0.81	0.90	0.96	1.00	0.99
	mp2_bl2_cu1	1.00	1.15	1.30	1.41	1.51	1.48	1.04	1.27	1.41	1.47	1.55	1.50	0.98	1.11	1.26	1.31	1.36	1.36
	mp2_bl2_cu93	1.06	1.27	1.49	1.61	1.71	1.74	1.17	1.52	1.76	1.92	2.01	1.96	1.09	1.39	1.61	1.72	1.81	1.82
	mp4_bl2_cu1	1.02	1.13	1.28	1.36	1.41	1.38	1.09	1.31	1.45	1.51	1.49	1.43	1.14	1.29	1.43	1.48	1.48	1.39
	mp4_bl2_cu93	1.05	1.20	1.36	1.46	1.54	1.51	1.25	1.54	1.75	1.88	1.93	1.90	1.26	1.51	1.69	1.74	1.78	1.74
	mp8_bl2_cu1	0.89	0.97	1.08	1.13	1.18	1.17	1.08	1.15	1.24	1.25	1.29	1.25	1.16	1.21	1.32	1.41	1.43	1.35
	mp8_bl2_cu2	0.93	1.10	1.26	1.32	1.37	1.36	1.18	1.38	1.58	1.66	1.80	1.76	1.16	1.12	1.23	1.24	1.26	1.20
POD	mp2_bl1_cu2	0.21	0.12	0.09	0.07	0.06	0.04	0.23	0.14	0.08	0.06	0.06	0.05	0.22	0.15	0.10	0.09	0.07	0.06
	mp2_bl2_cu1	0.25	0.16	0.12	0.10	0.09	0.08	0.25	0.17	0.13	0.08	0.07	0.05	0.22	0.15	0.11	0.09	0.09	0.09
	mp2_bl2_cu93	0.25	0.17	0.14	0.13	0.12	0.10	0.27	0.19	0.15	0.14	0.12	0.12	0.24	0.18	0.13	0.13	0.12	0.11
	mp4_bl2_cu1	0.24	0.15	0.12	0.09	0.07	0.06	0.26	0.18	0.13	0.10	0.09	0.09	0.27	0.17	0.12	0.10	0.09	0.08
	mp4_bl2_cu93	0.25	0.16	0.13	0.12	0.10	0.09	0.27	0.19	0.15	0.14	0.14	0.12	0.28	0.19	0.15	0.13	0.11	0.10
	mp8_bl2_cu1	0.22	0.14	0.11	0.07	0.05	0.05	0.25	0.15	0.12	0.10	0.09	0.08	0.26	0.16	0.11	0.10	0.09	0.07
	mp8_bl2_cu2	0.21	0.13	0.10	0.08	0.06	0.06	0.25	0.16	0.11	0.09	0.08	0.07	0.28	0.14	0.10	0.09	0.08	0.07
FAR	mp2_bl1_cu2	0.75	0.87	0.91	0.93	0.95	0.96	0.72	0.87	0.93	0.95	0.96	0.96	0.70	0.81	0.88	0.91	0.93	0.94
	mp2_bl2_cu1	0.75	0.86	0.91	0.93	0.94	0.95	0.76	0.86	0.91	0.94	0.96	0.97	0.77	0.87	0.91	0.93	0.94	0.94
	mp2_bl2_cu93	0.76	0.87	0.91	0.92	0.93	0.94	0.77	0.87	0.92	0.93	0.94	0.94	0.78	0.87	0.92	0.93	0.93	0.94
	mp4_bl2_cu1	0.76	0.87	0.91	0.94	0.95	0.96	0.76	0.86	0.91	0.93	0.94	0.94	0.76	0.87	0.92	0.93	0.94	0.94
	mp4_bl2_cu93	0.76	0.86	0.90	0.92	0.94	0.94	0.78	0.88	0.91	0.93	0.93	0.94	0.78	0.87	0.91	0.93	0.94	0.94
	mp8_bl2_cu1	0.76	0.86	0.90	0.94	0.95	0.96	0.77	0.87	0.91	0.92	0.93	0.93	0.77	0.87	0.92	0.93	0.94	0.95
	mp8_bl2_cu2	0.77	0.88	0.92	0.94	0.96	0.96	0.78	0.88	0.93	0.94	0.95	0.96	0.76	0.88	0.92	0.93	0.94	0.94
CSI	mp2_bl1_cu2	0.13	0.07	0.05	0.03	0.03	0.02	0.15	0.07	0.04	0.03	0.03	0.02	0.14	0.09	0.06	0.05	0.04	0.03
	mp2_bl2_cu1	0.14	0.08	0.05	0.05	0.04	0.03	0.14	0.08	0.05	0.03	0.03	0.02	0.13	0.07	0.05	0.04	0.04	0.04

Chỉ số	Sơ đồ	Hạn 1h						Hạn 3h						Hạn 6h					
		0.1mm	1mm	2mm	3mm	4mm	5mm	0.1mm	1mm	2mm	3mm	4mm	5mm	0.1mm	1mm	2mm	3mm	4mm	5mm
	mp2_bl2_cu93	0.14	0.08	0.06	0.05	0.05	0.04	0.14	0.08	0.06	0.05	0.04	0.04	0.13	0.08	0.05	0.05	0.04	0.04
	mp4_bl2_cu1	0.14	0.08	0.05	0.04	0.03	0.02	0.14	0.08	0.06	0.04	0.04	0.04	0.14	0.08	0.05	0.04	0.04	0.03
	mp4_bl2_cu93	0.14	0.08	0.06	0.05	0.04	0.04	0.14	0.08	0.06	0.05	0.05	0.04	0.14	0.08	0.06	0.05	0.04	0.04
	mp8_bl2_cu1	0.13	0.07	0.05	0.03	0.03	0.02	0.14	0.08	0.06	0.05	0.04	0.04	0.14	0.08	0.05	0.04	0.04	0.03
	mp8_bl2_cu2	0.12	0.06	0.05	0.03	0.03	0.02	0.13	0.07	0.05	0.04	0.03	0.03	0.15	0.07	0.05	0.04	0.04	0.03

Bảng 4.3. Chỉ số đánh giá dự báo của các phương án với hạn dự báo 1h, 3h và 6h tại các ngưỡng mưa (ZH)

Chỉ số	Sơ đồ	Hạn 1h						Hạn 3h						Hạn 6h					
		0.1mm	1mm	2mm	3mm	4mm	5mm	0.1mm	1mm	2mm	3mm	4mm	5mm	0.1mm	1mm	2mm	3mm	4mm	5mm
FBI	mp2_bl1_cu2	1.57	1.70	1.99	2.24	2.45	2.51	1.56	2.12	2.54	2.83	3.08	3.09	1.13	1.21	1.31	1.43	1.51	1.50
	mp2_bl2_cu1	1.68	1.92	2.28	2.56	2.83	2.91	1.70	2.45	2.97	3.26	3.47	3.52	1.25	1.45	1.61	1.70	1.79	1.74
	mp2_bl2_cu93	1.71	2.01	2.46	2.79	3.13	3.24	1.78	2.67	3.26	3.64	3.98	4.03	1.42	1.75	1.98	2.13	2.21	2.17
	mp4_bl2_cu1	1.67	1.73	1.94	2.17	2.28	2.30	1.73	2.51	3.01	3.26	3.46	3.50	1.63	1.87	1.96	2.00	1.99	1.90
	mp4_bl2_cu93	1.68	1.84	2.12	2.37	2.58	2.66	1.83	2.70	3.29	3.74	4.06	4.06	1.75	2.11	2.28	2.41	2.50	2.39
	mp8_bl2_cu1	1.90	1.67	1.80	1.95	2.05	2.05	1.68	2.34	2.76	2.99	3.13	3.10	1.72	1.78	1.83	1.91	1.99	1.90
	mp8_bl2_cu2	1.94	1.73	1.93	2.11	2.29	2.35	1.81	2.46	2.93	3.24	3.51	3.43	1.82	1.75	1.84	1.85	1.86	1.76
POD	mp2_bl1_cu2	0.50	0.28	0.22	0.20	0.18	0.17	0.36	0.26	0.21	0.18	0.17	0.16	0.31	0.17	0.12	0.10	0.08	0.08
	mp2_bl2_cu1	0.52	0.32	0.25	0.22	0.19	0.19	0.38	0.31	0.26	0.25	0.22	0.20	0.27	0.15	0.11	0.10	0.10	0.09
	mp2_bl2_cu93	0.52	0.31	0.26	0.24	0.21	0.20	0.37	0.30	0.26	0.24	0.23	0.21	0.30	0.18	0.13	0.11	0.09	0.09
	mp4_bl2_cu1	0.52	0.29	0.20	0.18	0.13	0.13	0.38	0.32	0.27	0.23	0.19	0.18	0.35	0.22	0.14	0.12	0.10	0.09
	mp4_bl2_cu93	0.52	0.30	0.22	0.20	0.17	0.16	0.39	0.32	0.27	0.26	0.24	0.23	0.37	0.26	0.18	0.16	0.12	0.12
	mp8_bl2_cu1	0.62	0.32	0.21	0.18	0.15	0.14	0.37	0.29	0.25	0.23	0.21	0.19	0.38	0.21	0.15	0.14	0.12	0.10
	mp8_bl2_cu2	0.61	0.31	0.20	0.16	0.14	0.13	0.37	0.28	0.23	0.20	0.18	0.16	0.41	0.21	0.14	0.11	0.09	0.07
FAR	mp2_bl1_cu2	0.68	0.84	0.89	0.91	0.93	0.93	0.77	0.88	0.92	0.94	0.95	0.95	0.73	0.86	0.91	0.93	0.94	0.95
	mp2_bl2_cu1	0.69	0.83	0.89	0.91	0.93	0.94	0.78	0.87	0.91	0.92	0.94	0.94	0.79	0.89	0.93	0.94	0.95	0.95
	mp2_bl2_cu93	0.70	0.84	0.90	0.92	0.93	0.94	0.79	0.89	0.92	0.93	0.94	0.95	0.79	0.90	0.94	0.95	0.96	0.96
	mp4_bl2_cu1	0.69	0.83	0.90	0.92	0.94	0.94	0.78	0.87	0.91	0.93	0.94	0.95	0.79	0.88	0.93	0.94	0.95	0.96
	mp4_bl2_cu93	0.69	0.84	0.89	0.92	0.93	0.94	0.79	0.88	0.92	0.93	0.94	0.94	0.79	0.88	0.92	0.94	0.95	0.95
	mp8_bl2_cu1	0.67	0.81	0.88	0.91	0.93	0.93	0.78	0.87	0.91	0.92	0.93	0.94	0.78	0.88	0.92	0.93	0.94	0.95
	mp8_bl2_cu2	0.69	0.82	0.89	0.93	0.94	0.95	0.79	0.89	0.92	0.94	0.95	0.95	0.78	0.88	0.92	0.94	0.95	0.96
CSI	mp2_bl1_cu2	0.24	0.11	0.08	0.07	0.05	0.05	0.17	0.09	0.06	0.05	0.04	0.04	0.17	0.08	0.05	0.04	0.03	0.03
	mp2_bl2_cu1	0.24	0.12	0.08	0.07	0.05	0.05	0.16	0.10	0.07	0.06	0.05	0.05	0.14	0.07	0.05	0.04	0.04	0.03

Chỉ số	Sơ đồ	Hạn 1h						Hạn 3h						Hạn 6h					
		0.1mm	1mm	2mm	3mm	4mm	5mm	0.1mm	1mm	2mm	3mm	4mm	5mm	0.1mm	1mm	2mm	3mm	4mm	5mm
	mp2_bl2_cu93	0.24	0.12	0.08	0.07	0.05	0.05	0.16	0.09	0.06	0.06	0.05	0.04	0.14	0.07	0.04	0.04	0.03	0.03
	mp4_bl2_cu1	0.24	0.12	0.07	0.06	0.04	0.04	0.16	0.10	0.07	0.06	0.05	0.04	0.15	0.08	0.05	0.04	0.03	0.03
	mp4_bl2_cu93	0.24	0.12	0.08	0.06	0.05	0.04	0.16	0.10	0.07	0.06	0.05	0.05	0.16	0.09	0.06	0.05	0.04	0.04
	mp8_bl2_cu1	0.27	0.14	0.08	0.06	0.05	0.05	0.16	0.10	0.07	0.06	0.05	0.05	0.16	0.08	0.05	0.05	0.04	0.04
	mp8_bl2_cu2	0.26	0.13	0.07	0.05	0.04	0.04	0.15	0.09	0.06	0.05	0.04	0.04	0.17	0.08	0.05	0.04	0.03	0.03

Bảng 4.4. Chỉ số đánh giá dự báo của các phương án với hạn dự báo 1h, 3h và 6h tại các ngưỡng mưa (ZHVR)

Chỉ số	Sơ đồ	Hạn 1h						Hạn 3h						Hạn 6h					
		0.1mm	1mm	2mm	3mm	4mm	5mm	0.1mm	1mm	2mm	3mm	4mm	5mm	0.1mm	1mm	2mm	3mm	4mm	5mm
FBI	mp2_bl1_cu2	1.96	2.21	2.53	2.81	3.04	3.08	1.84	2.64	3.16	3.53	3.81	3.92	1.11	1.18	1.26	1.29	1.36	1.30
	mp2_bl2_cu1	2.12	2.50	2.92	3.32	3.64	3.75	1.95	2.80	3.34	3.70	4.00	3.95	1.14	1.26	1.39	1.46	1.51	1.45
	mp2_bl2_cu93	2.14	2.56	3.08	3.48	3.77	3.82	2.10	3.19	3.89	4.30	4.62	4.70	1.38	1.54	1.75	1.83	1.88	1.87
	mp4_bl2_cu1	2.06	2.30	2.59	2.81	2.96	2.97	1.97	2.84	3.39	3.77	4.03	3.99	1.60	1.74	1.87	1.91	1.93	1.84
	mp4_bl2_cu93	2.07	2.34	2.71	2.97	3.19	3.21	2.11	3.17	3.88	4.34	4.64	4.72	1.80	2.12	2.32	2.38	2.46	2.36
	mp8_bl2_cu1	2.22	2.08	2.27	2.48	2.60	2.59	1.90	2.61	3.06	3.33	3.51	3.44	1.77	1.73	1.76	1.73	1.81	1.73
	mp8_bl2_cu2	2.26	2.15	2.37	2.60	2.77	2.81	2.08	2.86	3.44	3.78	4.03	4.10	1.83	1.70	1.76	1.76	1.74	1.68
POD	mp2_bl1_cu2	0.58	0.35	0.28	0.26	0.22	0.21	0.43	0.34	0.28	0.24	0.22	0.21	0.29	0.20	0.13	0.12	0.11	0.10
	mp2_bl2_cu1	0.62	0.38	0.33	0.30	0.27	0.25	0.44	0.34	0.28	0.24	0.22	0.19	0.24	0.14	0.09	0.08	0.07	0.07
	mp2_bl2_cu93	0.61	0.38	0.35	0.32	0.28	0.26	0.45	0.38	0.34	0.30	0.28	0.26	0.30	0.18	0.14	0.12	0.11	0.10
	mp4_bl2_cu1	0.61	0.37	0.28	0.25	0.21	0.20	0.44	0.35	0.29	0.25	0.24	0.22	0.33	0.20	0.12	0.10	0.09	0.08
	mp4_bl2_cu93	0.60	0.36	0.29	0.25	0.22	0.21	0.45	0.37	0.33	0.30	0.28	0.27	0.37	0.25	0.17	0.15	0.13	0.11
	mp8_bl2_cu1	0.68	0.38	0.29	0.24	0.20	0.18	0.42	0.34	0.27	0.23	0.19	0.17	0.36	0.18	0.12	0.11	0.10	0.09
	mp8_bl2_cu2	0.67	0.36	0.27	0.22	0.19	0.17	0.43	0.33	0.27	0.24	0.22	0.20	0.42	0.21	0.14	0.11	0.09	0.08
FAR	mp2_bl1_cu2	0.70	0.84	0.89	0.91	0.93	0.93	0.76	0.87	0.91	0.93	0.94	0.95	0.73	0.83	0.89	0.90	0.92	0.92
	mp2_bl2_cu1	0.71	0.85	0.89	0.91	0.92	0.93	0.77	0.88	0.92	0.93	0.94	0.95	0.79	0.89	0.93	0.95	0.95	0.95
	mp2_bl2_cu93	0.71	0.85	0.89	0.91	0.93	0.93	0.78	0.88	0.91	0.93	0.94	0.94	0.79	0.88	0.92	0.94	0.94	0.94
	mp4_bl2_cu1	0.70	0.84	0.89	0.91	0.93	0.93	0.78	0.88	0.92	0.93	0.94	0.95	0.79	0.88	0.94	0.95	0.95	0.96
	mp4_bl2_cu93	0.71	0.85	0.89	0.92	0.93	0.94	0.79	0.88	0.92	0.93	0.94	0.94	0.79	0.88	0.93	0.94	0.95	0.95
	mp8_bl2_cu1	0.70	0.82	0.87	0.90	0.92	0.93	0.78	0.87	0.91	0.93	0.95	0.95	0.79	0.90	0.93	0.94	0.94	0.95
	mp8_bl2_cu2	0.70	0.83	0.89	0.92	0.93	0.94	0.79	0.89	0.92	0.94	0.95	0.95	0.77	0.88	0.92	0.93	0.95	0.95
CSI	mp2_bl1_cu2	0.24	0.12	0.08	0.07	0.06	0.05	0.18	0.10	0.07	0.06	0.05	0.04	0.16	0.10	0.06	0.06	0.05	0.05
	mp2_bl2_cu1	0.25	0.12	0.09	0.08	0.06	0.06	0.18	0.10	0.07	0.05	0.05	0.04	0.13	0.07	0.04	0.03	0.03	0.03

Chỉ số	Sơ đồ	Hạn 1h						Hạn 3h						Hạn 6h					
		0.1mm	1mm	2mm	3mm	4mm	5mm	0.1mm	1mm	2mm	3mm	4mm	5mm	0.1mm	1mm	2mm	3mm	4mm	5mm
	mp2_bl2_cu93	0.24	0.12	0.09	0.08	0.06	0.06	0.17	0.10	0.08	0.06	0.05	0.05	0.14	0.08	0.05	0.04	0.04	0.04
	mp4_bl2_cu1	0.25	0.13	0.08	0.07	0.06	0.05	0.17	0.10	0.07	0.06	0.05	0.05	0.15	0.08	0.04	0.04	0.03	0.03
	mp4_bl2_cu93	0.24	0.12	0.08	0.07	0.06	0.05	0.17	0.10	0.07	0.06	0.05	0.05	0.15	0.09	0.05	0.05	0.04	0.03
	mp8_bl2_cu1	0.27	0.14	0.10	0.08	0.06	0.05	0.17	0.10	0.07	0.06	0.04	0.04	0.15	0.07	0.05	0.04	0.04	0.04
	mp8_bl2_cu2	0.26	0.13	0.09	0.06	0.05	0.05	0.16	0.09	0.07	0.05	0.05	0.04	0.17	0.08	0.05	0.04	0.04	0.03