

KHẢO SÁT ĐỘ NHẦY CỦA CÁC KẾT QUẢ DỰ BÁO QUÝ ĐẢO BẢO TỚI CÁC SƠ ĐỒ THAM SỐ HÓA VẬT LÝ TRONG MÔ HÌNH WRF

ThS. Võ Văn Hòa

Trung tâm Dự báo Khí tượng Thủy văn Trung ương

Mục đích của bài báo này là khảo sát độ nhay của các kết quả dự báo quý đảo bảo tới các sơ đồ tham số hóa đối lưu và lớp biên hành tinh được tích hợp bên trong mô hình WRF. Trong nghiên cứu này, 4 tùy chọn sơ đồ tham số hóa đối lưu bao gồm sơ đồ Kain-Fritsch (KFS), Betts-Miller-Janjic (BMJ), Grell-Devenyi (GDS) và Arakawa-Schubert (ASS) và 3 tùy chọn sơ đồ tham số hóa lớp biên hành tinh bao gồm sơ đồ Yonsei (YSU), Mellor-Yamada-Janjic (MYJ) và MRF được sử dụng. Các kết quả đánh giá cho 68 trường hợp của 8 cơn bão hoạt động trên Biển Đông trong mùa bão 2006 đã cho thấy các kết quả dự báo quý đảo bảo dựa trên mô hình WRF là khá nhay với các tùy chọn sơ đồ tham số hóa đối lưu và lớp biên hành tinh. Trong 12 phương án thử nghiệm được đề xuất, các thử nghiệm sử dụng sơ đồ tham số hóa đối lưu KFS cho chất lượng dự báo quý đảo bảo tốt nhất. Ngược lại, kỹ năng dự báo tới nhất được tìm thấy trong các thử nghiệm sử dụng sơ đồ GDS. Ngoài ra, kết quả đánh giá hai thành phần sai số AT và CT đã chỉ ra rằng trong các thử nghiệm dự báo quý đảo bảo dựa trên mô hình WRF thường có giá trị AT dương và CT âm, đặt biệt sai số về hướng (CT) là lớn hơn sai số về tốc độ (AT).

1. Mở đầu

Cùng với sự phát triển mạnh mẽ của khoa học máy tính và những hiểu biết tốt hơn về nhiệt động lực học khí quyển, các mô hình dự báo số trị (NWP) đã trở thành một công cụ tham khảo hữu ích và không thể thiếu tại nhiều trung tâm dự báo khí tượng trên thế giới. Đối với công tác dự báo bão, các mô hình NWP không chỉ cung cấp các thông tin dự báo về quỹ đạo và cường độ bão mà còn có thể được ứng dụng trong các nghiên cứu mô phỏng cấu trúc và sự tiến triển của các cơn bão. Trong các nghiên cứu này, việc mô phỏng chính xác các quá trình vật lý khác nhau trong mô hình có tầm quan trọng tương đương như việc có được một trường ban đầu có độ chính xác cao. Trên thực tế, hai sơ đồ tham số hóa vật lý có ảnh hưởng lớn nhất tới các kết quả dự báo bão của một mô hình NWP là sơ đồ tham số đối lưu (CP) và lớp biên hành tinh (PBL), bởi vì hai sơ đồ vật lý này có tác động lớn tới sự duy trì và tiến triển của một cơn bão.

Cho đến nay, đã có rất nhiều nghiên cứu đánh

giá vai trò của các sơ đồ tham số hóa vật lý bên trong các mô hình NWP tới các kết quả dự báo bão (bao gồm quỹ đạo, cường độ, mưa, ...). Chẳng hạn, Heckley và cộng sự (1987) đã thử nghiệm dự báo quý đảo bảo dựa trên một mô hình toàn cầu và tìm thấy rằng các quỹ đạo bão được dự báo có độ nhay lớn tới các CPs. Kết luận này cũng được chỉ ra trong các nghiên cứu của Nagata và cộng sự (2001), Puri và Miller (1990). Baik và cộng sự (1990) đã nghiên cứu độ nhay của một cơn bão được mô phỏng tới các tham số trong sơ đồ tham số hóa đối lưu Betts-Miller và đã tìm thấy sự tiến triển của cơn bão là khá nhay với các tham số điều chỉnh đối lưu trong sơ đồ Bett-Miller như tham số độ hút bão hòa. Năm 1998, nghiên cứu của Karyampudi và cộng sự về tác động của điều kiện ban đầu, đồng hòa mưa và CPs lên các kết quả mô phỏng của cơn bão Florence (1988) đã cho thấy hiệu quả của sơ đồ đồng hòa mưa đối với sự phát triển của các hệ thống nhiệt đới có tổ chức phụ thuộc lớn vào lựa chọn CPs. Ngoài ra, độ nhay của các mô phỏng cường độ bão đối với các sơ đồ tham số hóa vi vật lý mây là yếu hơn so với

a. Thiết kế các thử nghiệm

Trong nghiên cứu này, 12 phương án thử nghiệm dự báo quỹ đạo bão dựa trên mô hình WRF sẽ tạo ra bằng cách tích hợp 4 tùy chọn CPS với 3 tùy chọn PBLs. Các CPS được chọn ở đây bao gồm các sơ đồ Kain-Fritsch (phiên bản mới so với phiên bản gốc năm 1990) [7], Betts-Miller-Janjic (Janjic, 2000) [6], Grell-Devenyi (2002) [3] và sơ đồ Arakawa-Schubert (một phiên bản đơn giản hóa của sơ đồ Arakawa-Schubert nguyên gốc) [2]. Trong khi đó, 3 tùy chọn PBLs bao gồm các sơ đồ MRF được sử dụng trong mô hình dự báo hạn vừa (Hong và Pan, 1996) [4], YSU của đại học Yonsei-Hàn Quốc (đây là phiên bản cải tiến của sơ đồ MRF) và sơ đồ MYJ (Janjic, 1996) [5]. Bảng 1 và 2 mô tả tên, ký hiệu và một vài đặc trưng cơ bản của các sơ đồ tham số hóa đối lưu và lớp biên hành tinh được sử dụng trong nghiên cứu độ nhay. Chi tiết về cơ sở lý thuyết của từng sơ đồ CPS và PBLs có thể tham khảo trong [8]. Trong các tùy chọn sơ đồ CPS, ngoài trừ sơ đồ BMJ là không tính đến dòng cuốn ra trong mây, các sơ đồ còn lại đều có tính đến hiệu ứng này. Bảng cách tích hợp 4 tùy chọn CPS và 3 tùy chọn PBLs nói trên, 12 phương án thử nghiệm độ nhay vật lý dựa trên mô hình WRF sẽ được tạo ra và được ký hiệu như trong bảng 3.

các CPS. Mặc dù có rất nhiều nghiên cứu về tầm quan trọng của các sơ đồ tham số hóa đối lưu trong các mô hình NWP, nhưng chỉ có một số nghiên cứu về vai trò của các PBLs. Nghiên cứu của Braun và Bao (2000) đã cho thấy trường mưa dự báo do bão là rất nhạy tới các công thức thực nghiệm trong các PBLs và cường độ bão là phụ thuộc lớn vào các thông lượng bề mặt hơn là quá trình xáo trộn thẳng đứng. Vai trò quan trọng của các thông lượng bề mặt trong sự phát triển của một cơn bão cũng được chỉ ra trong các nghiên cứu của Emanuel (1986) và Rotunno (1987). Bài báo này sẽ tiến hành khảo sát độ nhay của các kết quả dự báo quỹ đạo bão tới các CPS và PBLs trong mô hình WRF dựa trên 68 trường hợp của 8 cơn bão hoạt động trên Biển Đông năm 2006. Các phân tích theo sơ trình bày về các phương án thử nghiệm và mô tả khái quát về tập số liệu được sử dụng. Các kết quả nghiên cứu và đánh giá sẽ được trình bày chi tiết trong mục 3. Cuối cùng là một số kết luận ban đầu và các đề xuất các hướng nghiên cứu tiếp theo.

2. Thiết kế các thử nghiệm và mô tả tập số liệu nghiên cứu

Bảng 1. Đặc trưng của các sơ đồ CPS được lựa chọn trong nghiên cứu

TT	Tên sơ đồ	Ký hiệu	Dạng sơ đồ	Dòng cuốn ra trong mây
1	Arakawa-Schubert	ASS	Thông lượng khối	C6
2	Betts-Miller-Janjic	BMJ	Điều chỉnh đối lưu	Không
3	Grell-Devenyi	GDS	Thông lượng khối	C6
4	Kain-Fritsch	KFS	Thông lượng khối	C6

Bảng 2. Đặc trưng của các sơ đồ PBLs được lựa chọn trong nghiên cứu

TT	Tên sơ đồ	Ký hiệu	Dạng xáo trộn trong PBL bất ổn định	Tính toán dòng cuốn vào	Tính toán đỉnh PBL
1	Medium-Range Forecast Model	MRF	Dạng profile K + số hạng counter-gradient	Từ xáo trộn PBL	Từ hệ số K1
2	Yonsei University	YSU	Dạng profile K + số hạng counter-gradient	Giải hiển	Từ profile nổi
3	Mellor-Yamada-Janjic	MYJ	Dạng profile K từ TKE	Từ xáo trộn PBL	Từ dòng năng rối (TKE)

Bảng 3. Mô tả 12 thí nghiệm kiểm nghiệm độ nhạy được tạo ra từ 4 tùy chọn CPS và 3 tùy chọn PBLs trong mô hình WRF

Số thí nghiệm	PBLs	Số độ CPS			
		ASS	BMJ	GDS	KFS
		ASSMRF	BMJMRF	GDSMRF	KFSMRF
Số độ PBLs	MYJ	ASSMYJ	BMJMYJ	GDSMYJ	KFSMYJ
	YSU	ASSYSU	BMJYSU	GDSYSU	KFSYSU

Như đã trình bày ở trên, mô hình WRF với tùy chọn động lực ARW [8] sẽ được sử dụng trong nghiên cứu để khảo sát độ nhạy của các kết quả dự báo bão tới các tùy chọn sơ đồ vật lý. Tuy nhiên, do chỉ khảo sát độ nhạy đối với các sơ đồ CPS và PBLs, nên các tùy chọn tham số hóa vật lý khác như vật lý mây, bức xạ, ... nên được cố định cho cả 12 thí nghiệm nói trên. Bảng 4 đưa ra một số cấu hình động lực và vật lý của mô hình WRF sử dụng trong nghiên cứu độ nhạy này. Do hạn chế về mặt tính toán nên độ phân giải ngang được lựa chọn là 28km với 31 mức thẳng đứng và bước thời gian là 120 giây.

Bảng 4. Một số đặc trưng cấu hình mô hình WRF được sử dụng trong nghiên cứu

TT	Mô tả cấu hình	Đặc trưng cấu hình
1	Nguồn động lực	ARW, phi thủy tĩnh
2	Độ phân giải ngang, thẳng đứng, bước thời gian	28km, 31 mức, 120 giây
3	Lưới sai phân ngang, Hệ tọa độ thẳng đứng	Arakawa-C, η theo địa hình
4	Sơ đồ cấp nhập biên	Điều kiện biên chỉ định
5	Sơ đồ tham số hóa bức xạ sóng dài	Sơ đồ RRTM (Mlawer, 1997)
6	Sơ đồ tham số hóa bức xạ sóng ngắn	Sơ đồ Dudhia (Dudhia, 1989)
7	Sơ đồ tham số hóa vi vật lý mây	Sơ đồ Lin (Lin, 1983)
8	Mô hình đất-bề mặt	Mô hình RUC (Smitova, 2000)
9	Sơ đồ vật lý lớp bề mặt	Sơ đồ Monin-Obukhov (1954)

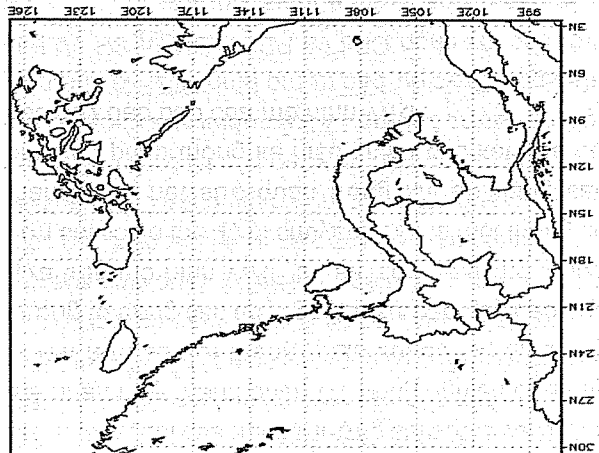
b. Mô tả tập số liệu nghiên cứu

Để khảo sát độ nhạy của các kết quả dự báo quỹ đạo bão tới các tùy chọn CPS và PBLs trong mô hình WRF, 68 trường hợp của 8 cơn bão hoạt động trên Biển Đông trong mùa bão 2006 đã được lựa chọn trong nghiên cứu. Miền tính toán được lựa chọn bao phủ miền địa lý như được thấy trên hình 1 với tâm lưới tính toán có tọa độ ($17.10N; 112.050E$) và số nút lưới theo vĩ hướng và kinh hướng là 114 khoảng thời gian cấp nhập biên là 6 giờ.

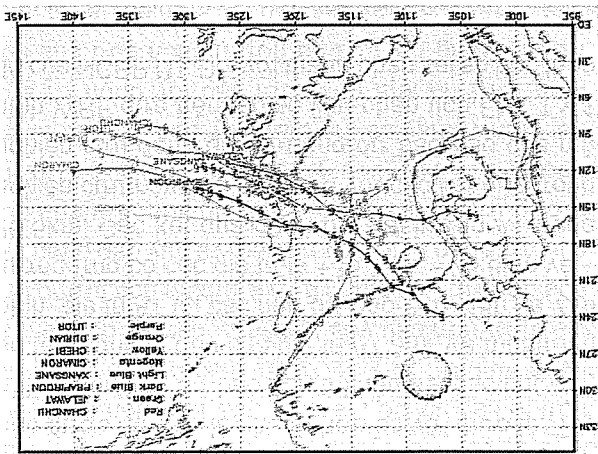
nút. Phép chiếu được chọn là Mercator với tọa độ điểm thập nhất bên góc trái miền tính toán là $2.470N$ và $97.170E$. Bảng 5 mô tả các thời điểm nghiên cứu của 8 cơn bão năm 2006. Quy đạo quan trắc của 8 cơn bão này được đưa ra trong hình vẽ 2. Điều kiện ban đầu và điều kiện biên cho mô hình WRF được lấy từ các trường phân tích và dự báo 6 tiếng của mô hình toàn cầu GFS độ phân giải 1×1 độ với

Bảng 5. Danh sách các cơn bão năm 2006 được sử dụng trong nghiên cứu

TT	Tên quốc tế	ID quốc tế (Việt Nam)	Thời gian nghiên cứu (2 phiên một ngày tại 00Z và 12Z)	Số trường hợp
1	Chanchu	0601 (số 1)	12z 11/05/2006 - 00z 16/05/2006	10
2	Jelawat	0602 (số 2)	12z 24/06/2006 - 00z 27/06/2006	6
3	Prapiroon	0606 (số 3)	00z 30/07/2006 - 00z 03/08/2006	9
4	Xangsaane	0615 (số 6)	00z 27/09/2006 - 12z 30/09/2006	8
5	Cimaron	0619 (số 7)	00z 29/10/2006 - 12z 04/11/2006	14
6	Chebi	0620 (số 8)	12z 10/11/2006 - 12z 12/11/2006	5
7	Durtan	0621 (số 9)	12z 29/11/2006 - 12z 03/12/2006	9
8	Ulor	0622 (số 10)	12z 09/12/2006 - 12z 12/12/2006	7



Hình 1. Miền tích phân của mô hình WRF trong nghiên cứu độ nhảy



Hình 2. Quy đạo quan trắc của 8 cơn bão hoạt động trên Biển Đông năm 2006

Các kết quả khảo sát độ nhảy sẽ được đánh giá dựa trên các chỉ số thống kê như sai số dự báo khoảng cách tâm bão DPE (km), thành phần sai số dọc theo hướng di chuyển AT (km), thành phần sai số theo phương pháp tuyến với hướng chuyển động CT (km) và khoảng cách bình phương trung bình giữa các quỹ đạo dự báo hay là độ tán SP (km). Tất cả các đại lượng khoảng cách nói trên đều được tính theo công thức lượng giác cầu và đã được trình bày chi tiết trong [1].

3. Một số kết quả nghiên cứu

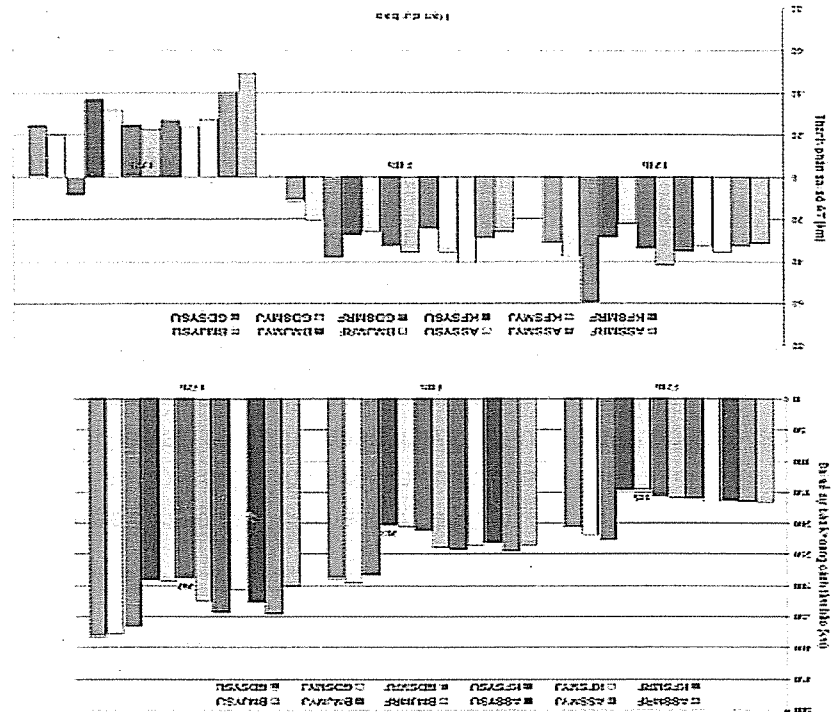
Kết quả đánh giá sai số dự báo vị trí tâm bão tại

các hạn dự báo 24h, 48h và 72h cho 12 phương án thử nghiệm được đưa ra trong hình 3. Từ hình 3 có thể nhận thấy chất lượng dự báo quỹ đạo của 12 phương án thử nghiệm là rất khác nhau, điều này chứng tỏ quỹ đạo bão được dự báo từ mô hình WRF là rất nhạy với các tùy chọn sơ đồ tham số hóa đối lưu và lớp biên. Giá trị DPE nhỏ nhất cho hạn dự báo 24h, 48h và 72h tương ứng được tìm thấy là 145km (phương án KFSMYJ), 203km (KFSYSU) và 287km cho phương án KFSMRF. Về mặt trung bình, có thể nhận thấy 3 phương án thử nghiệm dựa trên sơ đồ tham số hóa đối lưu Kain-Fritsch (tiền tố KFS) là cho kỳ năng dự báo tốt nhất (giá trị DPE nhỏ nhất)

tại tất cả các hạn dự báo. Ngược lại, các thử nghiệm dự báo quỹ đạo dựa trên sơ đồ Grell (tiền tố GDS) là cho kỳ năng dự báo thấp nhất. Kỳ năng dự báo của các thử nghiệm dựa trên hai sơ đồ tham số hóa đối lưu ASS và BMJ là có kỳ năng dự báo gần tương đương nhau khi cùng lựa chọn với một sơ đồ tham số hóa lớp biên.

Các kết quả đánh giá cho 2 thành phần sai số từ đại lượng DPE là AT và CT được đưa ra trong các hình vẽ 4 và 5. Nói chung, một đặc điểm có thể dễ dàng nhận thấy là khuynh hướng sai số của 12 phương án thử nghiệm là khá đồng nhất ngoại trừ phương án GDSTRF tại hạn dự báo 72h. Đối với thành phần sai số AT, tại các hạn dự báo 24h và 48h tất cả các phương án thử nghiệm đều cho giá trị AT dương, điều này chứng tỏ tốc độ di chuyển của cơn bão được dự báo là nhanh hơn so với thực tế. Tuy nhiên, đến hạn dự báo 48h thì hầu hết các phương án thử nghiệm đều cho giá trị AT âm. Về mặt trung bình, giá trị AT tại các hạn dự báo 24h, 48h và 72h tương ứng có các giá trị là +35.2km, +28.8km và -26.5km. Các kết quả đánh giá đại lượng AT trong nghiên cứu này khá phù hợp với các kết quả trong nghiên cứu đánh giá kỳ năng dự báo bão của mô hình WRF dựa trên tập số liệu phân tích FNL 1 x 1 độ của NCEP [1]. Đối với thành phần sai số dọc theo

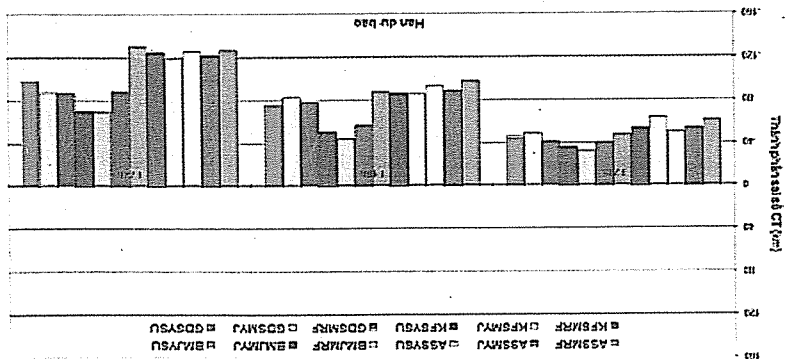
phương pháp tuyến với hướng chuyển động của bão (CT), các kết quả đánh giá cho thấy tất cả các phương án thử nghiệm đều cho giá trị AT âm tại tất cả các hạn dự báo. Hay nói cách khác, về mặt trung bình toàn bộ 12 thử nghiệm đều cho quỹ đạo dự báo lệch về phía trái so với quỹ đạo thực. Về mặt trung bình, giá trị CT tại các hạn dự báo 24h, 48h và 72h tương ứng có các giá trị là -47.5km, -76.9km và -103.8km. Kết quả này cũng phù hợp với các nghiên cứu dựa trên bộ số liệu phân tích cho mùa bão năm 2006 [1]. Từ hình 5 có thể nhận thấy giá trị CT lớn được tìm thấy trong các thử nghiệm dựa trên các sơ đồ tham số hóa đối lưu Arakawa-Chubert (ASS) và Betts-Miller-Janjic (BMJ). Trong khi đó, các thử nghiệm dự báo quỹ đạo bão dựa trên sơ đồ Kain-Fritsch là cho đại lượng CT nhỏ nhất. Nếu so sánh giá trị tuyệt đối của hai đại lượng sai số AT và CT, có thể nhận thấy thành phần CT trong nghiên cứu này là lớn hơn so với thành phần sai số AT, điều này chứng tỏ trong các thử nghiệm dự báo quỹ đạo bão dựa trên mô hình WRF thì sai số về hướng là lớn hơn sai số về tốc độ di chuyển. Đây là một thông tin tham khảo hết sức quan trọng khi áp dụng các phương pháp thông kê hiệu chỉnh các kết quả dự báo quỹ đạo bão của mô hình WRF.



Hình 3. Kết quả đánh giá đại lượng DPE (km) cho 12 phương án thử nghiệm

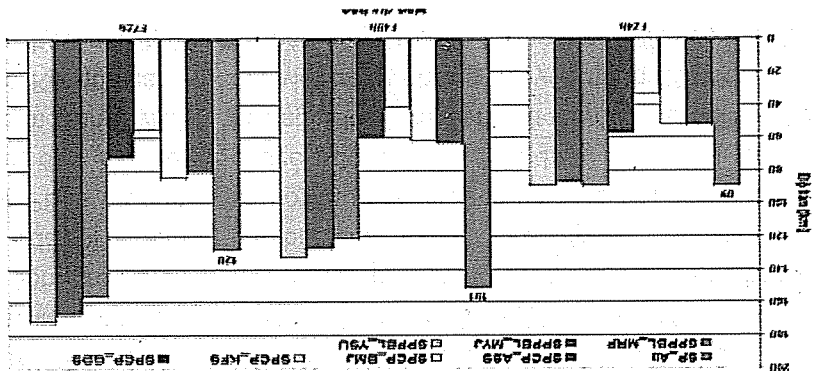
Hình 4. Kết quả đánh giá đại lượng AT (km) cho 12 phương án thử nghiệm

Hình 5. Kết quả đánh giá dài lượng CT (km) cho 12 phương án thử nghiệm

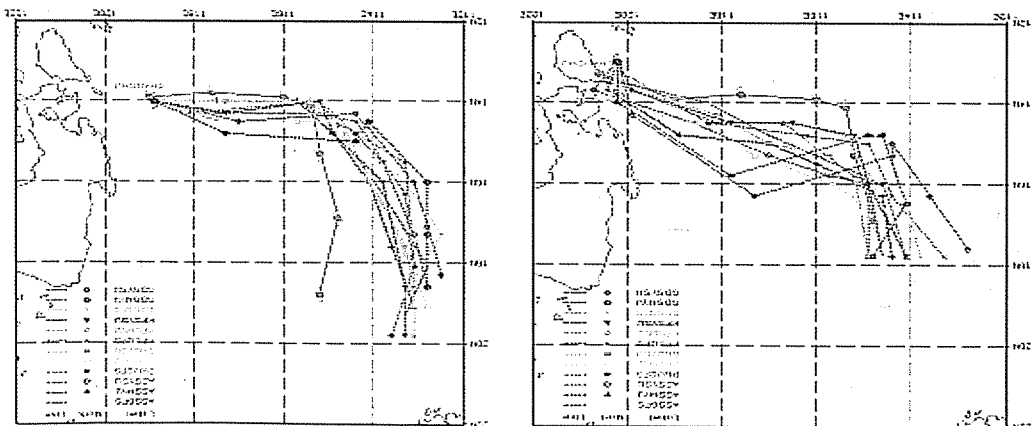


Đề có thể thấy rõ hơn độ nhảy của các kết quả dự báo quỹ đạo dựa trên mô hình WRF tới các tùy chọn sơ đồ CPS và PBLs, dài lượng độ tán (SP) hay khoảng cách bình phương trung bình giữa 12 dự báo thử nghiệm được sử dụng. Hình 6 minh họa kết quả đánh giá dài lượng độ tán và SPPBL thì các kết quả đánh giá dài lượng độ tán cho thấy quỹ đạo được dự báo từ mô hình WRF là nhạy với các tùy chọn sơ đồ tham số hóa đối lưu hơn là các sơ đồ tham số hóa lớp biên hành tinh (xem hình 6). Hãy nói cách khác, sự đóng góp tới giá trị SP lớn chủ yếu là đến từ các sơ đồ tham số hóa đối lưu. Các hình vẽ 7 và 8 minh họa tương ứng chùm dự báo từ 12 thử nghiệm và quỹ đạo quan trắc tương ứng một số thời điểm nghiên cứu của cơn bão CHANCHU (0601), và XANGSANE (0615). Từ hai hình vẽ này có thể thấy quỹ đạo dự báo từ mô hình WRF là khá nhạy với các tùy chọn CPS và PBLs. Trong hai trường hợp nghiên cứu của cơn bão CHANCHU, 12 dự báo thử nghiệm là rất khác nhau, đặc biệt là vào các thời điểm xảy ra sự chuyển hướng của cơn bão. Ngược lại, trong 2 trường hợp nghiên cứu của cơn bão XANGSANE thì các phương án thử nghiệm là khá thống nhất về mặt quỹ đạo, điều này dẫn đến độ tán giữa các thử nghiệm là nhỏ.

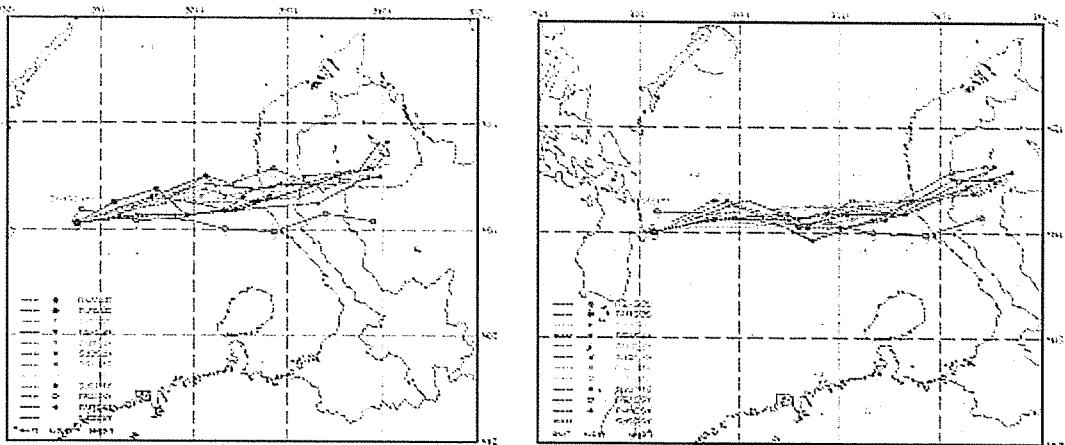
Đề có thể thấy rõ hơn độ nhảy của các kết quả dự báo quỹ đạo dựa trên mô hình WRF tới các tùy chọn sơ đồ CPS và PBLs, dài lượng độ tán (SP) hay khoảng cách bình phương trung bình giữa 12 dự báo thử nghiệm được sử dụng. Hình 6 minh họa kết quả đánh giá dài lượng độ tán và SPPBL thì các kết quả đánh giá dài lượng độ tán cho thấy quỹ đạo được dự báo từ mô hình WRF là khá nhạy với các tùy chọn CPS và PBLs. Giá trị SP_ALL tại các hạn dự báo 24h, 48h và 72h tương ứng là 89, 151 và 128km. Giá trị SP lớn thường được tìm thấy trong các dự báo cho các cơn bão có quỹ đạo cong (cơn bão CHANCHU), phức tạp (cơn bão CIMARON) và có cường độ yếu (cơn bão JELAWAT). Ngược lại, sự thống nhất về quỹ đạo dự báo (giá trị SP nhỏ) giữa 12 thử nghiệm thường



Hình 6. Kết quả đánh giá độ tán cho toàn bộ 12 thử nghiệm và cho từng tùy chọn tham số hóa CPS và PBLs.



Hình 7. Quỹ đạo quan trắc (đường liền nét màu đỏ có ký hiệu bão) và các quỹ đạo dự báo từ 12 giờ nghiệm của cơn bão CHANCHU (con bão số 1) tại thời điểm 00Z (bên trái) và 12Z (bên phải) ngày 13/05/2006.



Hình 8. Quỹ đạo quan trắc (đường liền nét màu đỏ có ký hiệu bão) và các quỹ đạo dự báo từ 12 giờ nghiệm của cơn bão XANGSANE (con bão số 6) tại thời điểm 12Z (bên trái) ngày 28/09/2006 và 00Z (bên phải) ngày 29/09/2006

4. Kết luận

Bài báo này đã tiến hành khảo sát độ nhạy của các kết quả dự báo quỹ đạo bão từ mô hình WRF tới các tùy chọn sơ đồ tham số hóa đối lưu (CPS) và lớp biên hành tinh (PBLs) dựa trên tập số liệu bao gồm 68 trường hợp của 8 cơn bão hoạt động trên Biển Đông năm 2006. Các kết quả đánh giá đã chỉ ra rằng việc thay đổi các tùy chọn CPS và PBLs có ảnh hưởng lớn tới chất lượng dự báo quỹ đạo, hay nói cách khác là dự báo quỹ đạo bão của mô hình WRF là khá nhạy với tùy chọn CPS và PBLs. Kết quả đánh giá dài lượng sai số DPE đã cho thấy các thứ

nghiệm dự báo quỹ đạo bão dựa trên sơ đồ tham số hóa đối lưu Kain-Fritsch là có chất lượng tốt nhất. Ngược lại, sơ đồ Grell-Deneyvi lại cho kỳ năng dự báo tồi nhất. Ngoài ra, các kết quả khảo sát hai thành phần sai số AT và CT đã cho thấy một khuynh hướng sai số hệ thống trong các kết quả dự báo quỹ đạo bão của mô hình WRF, đó là thường chậm hơn so với thực tế và lệch về phía trái so với hướng chuyển động thực. Đặc biệt, giá trị sai số theo hướng là lớn hơn rất nhiều so với giá trị sai số về tốc độ. Một trong những nguyên nhân dẫn đến sai số dự báo quỹ đạo bão từ mô hình WRF có thể được

xem xét ở đây chính là do sai số về vị trí và cường độ của bão trong các trường phân tích của mô hình toàn cầu GFS. Cụ thể, sai số vị trí khoảng cách tầm bão, áp suất cực tiểu tại tâm và vận tốc góc cực đại trung bình trong trường phân tích tương ứng là 58.3km, 33.2mb và -12.6m/s. Chính sai số lớn trong trường phân tích này dẫn đến những sai số lớn trong dự báo cường độ, do đó việc khảo sát độ nhạy của các kết quả dự báo cường độ không được đề cập đến trong bài báo này. Như vậy, có hai hướng tiếp cận để cải thiện chất lượng dự báo quỹ đạo và cường độ bão từ mô hình WRF: 1) áp dụng các phương pháp thông kê xử lý sau mô hình để loại bỏ sai số hệ thống hoặc thử nghiệm áp dụng dự báo tổ hợp, 2) áp dụng sơ đồ đồng hóa số liệu hoặc sơ đồ cải xoáy ba chiều để nâng cao chất lượng trường đầu vào. Trong 2 hướng tiếp cận nói trên, cách tiếp cận thứ nhất cho chi phí tính toán và nghiên cứu ít hơn cách tiếp cận thứ hai. Hiện tại, nhóm nghiên cứu đang theo cách tiếp cận thứ nhất để cải thiện chất lượng dự báo bão từ mô hình WRF, đó là: 1) áp dụng lọc Kalman để hiệu chỉnh các kết quả dự báo, 2) thử nghiệm dự báo tổ hợp dựa trên phương pháp trung bình trẻ (LAF) và 3) kết hợp cả hai phương án nêu trên. Đặc biệt, các nghiên cứu tạo bản đồ dự báo xác suất đường đi và cường độ của bão từ các dự báo của mô hình WRF sẽ được thực hiện.

Tài liệu tham khảo

1. Võ Văn Hòa: Đánh giá kỹ năng dự báo của mô hình WRF. Tập chí KTTV, số 567, tr 37-46, 3/2008.
2. Arakawa, A., and W. H. Schubert, 1974: Interaction of a cumulus cloud ensemble with the large-scale environment, Part I. *J. Atmos. Sci.*, 31, 674-701.
3. Grell G. A. and D. Devenyi, 2002: A generalized approach to parameterizing convection combining ensemble and data assimilation techniques. *Geophys. Res. Lett.*, 29(14), Article 1693.
4. Hong S. Y. and H. L. Pan, 1996: Nonlocal boundary layer vertical diffusion in a medium range forecast model. *Mon. Wea. Rev.*, 126, 2621-2639.
5. Janjic Z. I., 1996: The surface layer in the NCEP Eta model, *Eleventh Conference on NWP*, Norfolk, VA, 19-23 August, Amer. Meteor. Soc., Boston, MA, 354-355.
6. Janjic Z. I., 2000: Comments on "Development and Evaluation of a convection scheme for use in climate model". *J. Atmos. Sci.*, 57, p 3686.
7. Kain, J. S. and J. M. Frisch, 1990: A one-dimensional entraining/detraining plume model and its application in convective parameterization. *J. Atmos. Sci.*, 47, 2784-2802.
8. William C. Skamarock, etc, 2005: A description of the Advanced Research WRF.