

Công thức thực nghiệm tính toán cường độ mưa từ độ phản hồi vô tuyến quan trắc bởi radar cho khu vực bắc Trung Bộ

Nguyễn Hương Điền*

*Khoa Khí tượng Thủy văn và Hải dương học, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQGHN
334 Nguyễn Trãi, Hà Nội, Việt Nam*

Nhận ngày 25 tháng 11 năm 2009

Tóm tắt. Để có thể tính được cường độ mưa I ở từng điểm trong vùng mưa, trên thế giới đã có nhiều công thức thực nghiệm liên hệ giữa nó với độ phản hồi radar Z được sử dụng. Ở Việt Nam, trước đây chưa có một công thức nào như vậy được xác lập. Bài báo này trình bày việc xây dựng các công thức như vậy dựa trên các số liệu đo mưa mặt đất của 6 trạm vũ lượng kí ở khu vực Bắc Trung Bộ hoặc lân cận và độ phản hồi vô tuyến mà radar TRS-2730 tại Vinh quan sát được trong 5 đợt mưa lớn diện rộng. Các công thức có dạng lũy thừa $Z = AI^b$ được tính cho từng trạm và chung cho cả vùng Bắc Trung Bộ, trong đó các hệ số thực nghiệm A và b được xác định theo phương pháp bình phương tối thiểu. Việc đánh giá sai số của các công thức này cho thấy chúng có độ chính xác chấp nhận được, các công thức riêng cho từng trạm có độ chính xác cao hơn công thức chung cho cả vùng và các công thức cho các trạm ở vùng bằng phẳng có sai số nhỏ hơn vùng địa hình bất đồng nhất.

1. Mở đầu

Mưa là một trong những yếu tố khí tượng được quan tâm nhiều nhất, nhưng cũng khó dự báo và tính toán nhất. Các radar thời tiết có thể quan sát được khá chính xác những vùng mưa hoặc mây, còn cường độ mưa thì được tính toán từ độ phản hồi vô tuyến của vùng mưa mà radarr quan trắc được.

Máy phát của radar tạo ra một sóng điện từ mạnh truyền vào khí quyển thông qua anten. Sóng điện từ gặp các mục tiêu, bị mục tiêu hấp thụ, tán xạ, một phần năng lượng có thể xuyên

qua mục tiêu và đi tiếp. Sóng điện từ tán xạ bởi mục tiêu theo mọi hướng, một phần quay trở lại anten và được anten thu lại, đưa vào máy thu xử lí và kết quả được hiển thị trên màn hình [1].

Nhờ phương trình radar:

$$P_r = \frac{C_r Z}{r^2} L_a, \quad (1)$$

trong đó

L_a - độ truyền qua khí quyển;

r - khoảng cách từ radar đến mục tiêu

C_r -hằng số radar (gộp các thông số của radar)

$$Z = \sum_{i=1}^N |K_i|^2 D_i^6 \quad (\text{độ phản hồi vô tuyến của}$$

mục tiêu hay độ phản hồi radar),

* ĐT: 84-4-38584943.

E-mail: diennh@vnu.edu.vn

$|K_i|^2$ - giá trị tùy thuộc trạng thái pha của hạt,

D_i - đường kính của hạt thứ i , N - số hạt trong một đơn vị thể tích,

radar có thể xác định được độ phản hồi của mục tiêu Z qua việc xác định P_r , r , L_a và biết trước C_r .

2. Phương pháp ước lượng mưa từ độ phản hồi vô tuyến của radar khí tượng

Có 3 phương pháp tính cường độ mưa từ:

- Độ phản hồi vô tuyến của vùng mây, mưa
- Độ suy yếu của năng lượng radar qua mưa
- Độ suy yếu và độ phản hồi vô tuyến đồng thời ở 2 bước sóng

Phương pháp đầu là thông dụng nhất. Ở Việt Nam có thể dùng phương pháp này.

Lí thuyết và thực nghiệm đều cho thấy giữa cường độ mưa (I) và độ phản hồi vô tuyến của vùng mưa do radar đo được (Z) có mối quan hệ.

Năm 1948, Marshall – Palmer đưa ra mối quan hệ thực nghiệm dạng $Z = A.I^b$ với $A=200$ và $b=1,6$, trong đó đơn vị đo của I là mm/h và của Z là mm^6/m^3 .

Sau này, nhiều tác giả đưa ra các công thức tương tự với các cặp hệ số A , b khác nhau, áp dụng cho các khu vực hoặc cho các dạng mưa khác nhau [2]. Các nguyên nhân gây ra sai số có khá nhiều và có thể liệt kê thành mấy nhóm sau [1]:

- Sai số do hệ thống thiết bị radar,
- Sai số do địa hình,
- Sai số do công thức tính cường độ mưa không bao hàm hết các đặc tính của vùng mưa,
- Sai số do các hiệu ứng xảy ra bên dưới mây (gió, bốc hơi, hợp nhất các hạt...).

Ở Việt Nam, cho đến nay chưa có một công thức nào được xây dựng mà vẫn dùng công thức của Marshall-Palmer, song sai số tính cường độ mưa thường rất lớn. Để giảm bớt sai số, chúng tôi thử nghiệm xây dựng các công thức như vậy cho khu vực Bắc Trung Bộ.

3. Phương pháp tính toán, qui toán số liệu và đánh giá kết quả

Dùng phương pháp bình phương tối thiểu [3] xác định các hệ số trong công thức thực nghiệm dựa trên các số liệu đo mưa bằng vũ lượng kí hoặc vũ lượng kế tại 6 trạm ở Bắc Trung Bộ và Bắc Bộ, số liệu quan trắc độ phản hồi vô tuyến Z' ($= 10\lg Z$ với đơn vị là dBz) do radar đặt tại Vinh đo được trong một số đợt mưa diện rộng. Sau đó, công thức thực nghiệm thu được sẽ được đánh giá sai số trên tập số liệu độc lập.

Để tiến hành xây dựng công thức, ta lần lượt thực hiện các bước sau:

+ Vẽ đồ thị $Z'-I$ (Scatter – plot) dựa trên các số liệu thực

+ Nhận định dạng đồ thị

+ Nhận định dạng công thức thực nghiệm

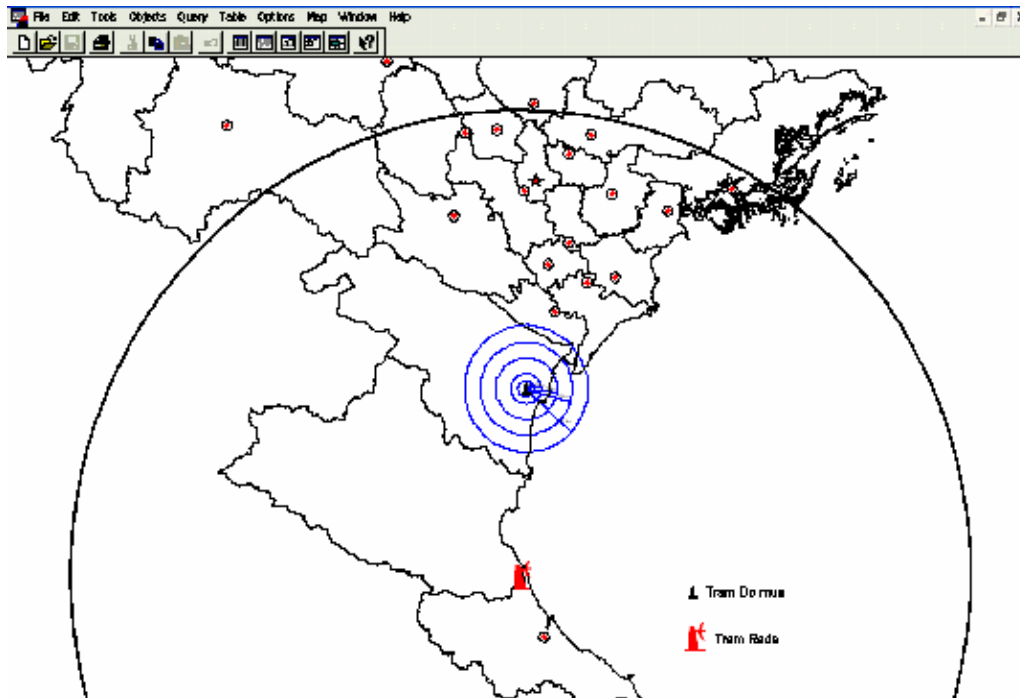
+ Sử dụng phương pháp bình phương tối thiểu để tính toán các hệ số của công thức.

- Số liệu và cách qui toán sơ bộ

+ Chọn số liệu đo mưa tại 6 trạm vũ lượng kí (Thanh Hoá, Quỳnh Lưu, Đô Lương, Hương Khê, Ninh Bình, Văn Lý) trong các đợt mưa diện rộng trong các năm 2001 – 2006.

+ Số liệu cường độ mưa qui toán theo lượng mưa trong từng 5 phút một từ giản đồ vũ lượng kí rồi qui ra cường độ mưa (mm/h).

+ Số liệu độ phản hồi từ các ảnh của Radar TRS-2730 tại Vinh, lấy trung bình trong một miền tròn bao quanh trạm vũ lượng kí có bán kính lần lượt là 10, 20, 30, 40 km ở cùng thời điểm với số liệu đo mưa (xem hình 1).



Hình 1. Sơ đồ miền lấy độ phân hồi trung bình quanh trạm đo mưa Thanh Hoá.

- Các chỉ số đánh giá [4]

+ Sai số trung bình ME:

$$ME = \frac{\sum_{i=1}^N (F_i - O_i)}{N}, \quad (2)$$

trong đó, F_i là giá trị dự báo, O_i là giá trị quan trắc và N là dung lượng mẫu.

+ Sai số trung bình tuyệt đối MAE:

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |F_i - O_i|}{N}, \quad (3)$$

+ Sai số trung bình bình phương MSE

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^N (F_i - O_i)^2}{N}, \quad (4)$$

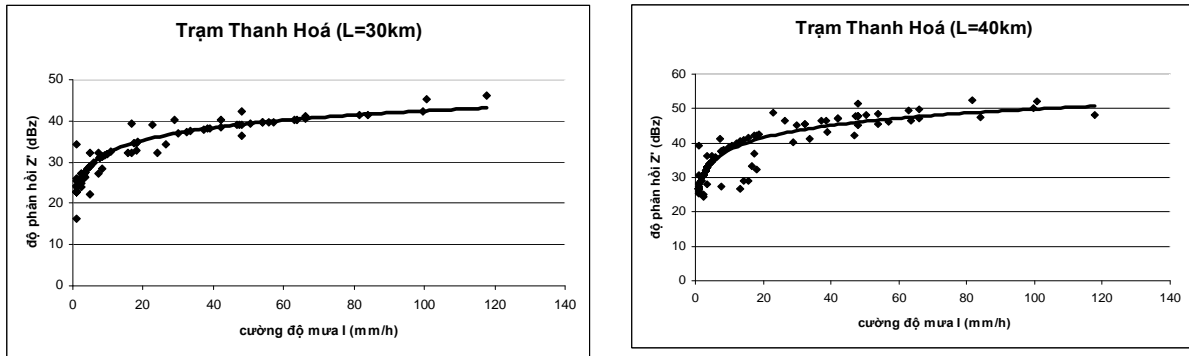
+ Sai số trung bình toàn phương RMSE:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - O_i)^2}, \quad (5)$$

4. Các kết quả xác định và đánh giá các công thức

4.1. Kết quả vẽ đồ thị theo số liệu thực và xác định công thức

Chúng tôi tiến hành xây dựng công thức thực nghiệm cho từng trạm, sau đó cho toàn vùng Bắc Trung Bộ (bao gồm cả 6 trạm), nhưng ở đây chỉ nêu kết quả ứng với một trạm nào đó như một ví dụ. Chẳng hạn, các kết quả vẽ đồ thị Z' -I (Scatter – plot) dựa trên các số liệu thực đối với trạm Thanh Hoá khi lấy Z' trung bình trong vòng tròn bán kính 10 và 40 km quanh trạm được cho trong hình 2.



Hình 2. Đồ thị Z'-I với độ phản hồi trung bình lấy trong vòng bán kính 10km và 40km quanh trạm Thanh Hoá.

Từ hình 2 ta thấy độ phản hồi vô tuyến Z' (dBZ) và cường độ mưa I (mm/h) có mối quan hệ phi tuyến dạng logarit. Do đó ta xây dựng công thức thực nghiệm thể hiện mối quan hệ theo dạng loga:

$$Z' = b' \lg I + A' \quad (6)$$

Theo phương pháp bình phương tối thiểu, các hệ số thực nghiệm A' và b' được xác định thông qua việc giải hệ phương trình sau đây:

$$\begin{cases} A'n + b' \sum \lg I = \sum Z' \\ A' \sum \lg I + b' \sum (\lg I)^2 = \sum Z' \lg I \end{cases} \quad (7)$$

trong đó n là dung lượng mẫu.

Để dễ dàng so sánh với công thức thực nghiệm do Marshall – Palmer đưa ra, ta biến đổi các công thức ở trên về dạng hàm mũ, lúc đó ta phải đưa độ phản hồi Z' (dBZ) về Z (mm⁶/m³). Khi ấy, công thức nhận được có dạng:

$$Z = AI^b \quad (8)$$

Các hệ số A, b được xác định như sau :

$$A = 10^{\frac{A'}{10}} \quad \text{và} \quad b = \frac{b'}{10}, \quad (9)$$

Với mỗi trạm và toàn vùng ta thu được mỗi nơi 4 công thức như vậy. Dưới đây chỉ nêu các công thức thực nghiệm ứng với trạm Thanh Hoá và toàn vùng như những ví dụ (bảng 1).

Bảng 1. Các công thức thu được ứng với trạm Thanh Hoá (các dòng trên) và toàn vùng Bắc Trung Bộ (các dòng dưới).

Bán kính (km)	Công thức dạng logarit Z' (dBZ) và I (mm/h)	Công thức dạng hàm mũ Z (mm ⁶ /m ³) và I (mm/h)
10km	$Z' = 7.6499 \lg I + 20.25306$	$Z = 106.0001I^{0.7649996}$
	$Z' = 9.27694 \lg I + 20.74107$	$Z = 118.6062I^{0.927694}$
20km	$Z' = 8.62996 \lg I + 20.71093$	$Z = 117.7859I^{0.8629962}$
	$Z' = 12.99035 \lg I + 22.48394$	$Z = 177.1717I^{1.299035}$
30km	$Z' = 10.10997 \lg I + 22.03117$	$Z = 159.6311I^{1.010997}$
	$Z' = 11.80842 \lg I + 23.323$	$Z = 214.9317I^{1.180842}$
40km	$Z' = 13.20998 \lg I + 25.65165$	$Z = 367.4217I^{1.320998}$
	$Z' = 15.66533 \lg I + 25.3992$	$Z = 346.6732I^{1.566533}$

4.2. Đánh giá công thức

Chúng tôi tiến hành tính toán các sai số cho tất cả các công thức tìm được cho từng trạm và

cả vùng, nhưng dưới đây chỉ nêu kết quả tính cho trạm Thanh Hoá, Hương Khê và cả vùng Bắc Trung Bộ làm ví dụ mà thôi (bảng 2).

Bảng 2. Các sai số của các công thức cho trạm Thanh Hoá (dòng đầu), Hương Khê (dòng 2), toàn vùng (dòng 3) và Marshall-Palmer (dòng 4) (đơn vị của ME, MAE, RMSE là mm/h; MSE là mm²/h²)

Bán kính	Sai số			
	ME	MAE	MSE	RMSE
10km	-2.18445	2.18445	54.981	7.44206
	-3.548700	3.548700	55.92776	7.478487
	-8.850877	8.850877	460.0404	20.13686
	-9.08583	9.321154	479.4512	21.89638
20km	-2.72541	2.72541	57.642	7.21246
	-3.794919	3.794919	58.56205	7.652585
	-4.336514	6.036514	257.1450	15.64767
	-4.62257	6.21222	267.9487	16.36914
30km	-3.131183	3.131183	32.26543	4.718626
	-3.839410	3.839410	59.00207	7.681281
	-2.936576	3.936576	70.24531	7.957974
	-2.59123	3.66328	74.96989	8.65852
40km	-2.750775	2.750775	15.60032	3.949724
	-2.796574	2.796574	58.52453	7.650133
	-2.304924	3.204924	60.22497	8.100841
	-2.24643	3.48427	69.87746	8.35927

- So sánh với công thức Marshall – Palmer
 $Z = 200I^{1.6}$

Công thức của Marshall – Palmer được đánh giá trên chính tập số liệu ta dùng để đánh giá các công thức cho vùng Bắc Trung Bộ của Việt Nam. Trong bảng 2 còn có các sai số của công thức của Marshall – Palmer; còn hình 3 biểu diễn các đồ thị so sánh sai số của công thức tự tính và công thức Marshall-Palmer cho trạm Hương Khê.

Các chỉ số đánh giá trong bảng 2 và hình 3 cho thấy:

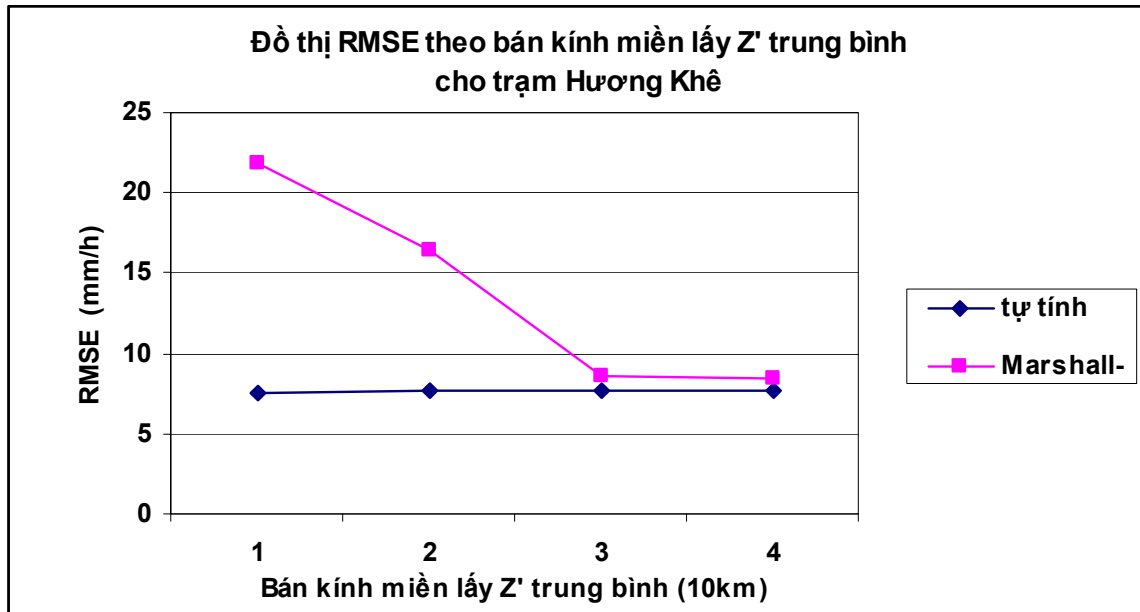
- ME và MAE giống nhau về trị số nhưng khác nhau về dấu, điều này chứng tỏ giá trị ước lượng từ radar theo các công thức thu được (kể cả công thức Marshall-Palmer) luôn nhỏ hơn giá trị đo.

- Các công thức cho toàn vùng có sai số tương đương hoặc nhỏ hơn một chút so với sai số của công thức Marshall – Palmer và chấp nhận được, mặc dù còn khá lớn (sai số vào khoảng 80%).

- Sai số của công thức tính cho cả vùng hoặc công thức Marshall-Palmer lớn hơn rõ rệt sai số ước lượng cường độ mưa của công thức tính cho một trạm.

- Sai số của công thức tính cho vùng Thanh Hoá có phần nhỏ hơn Hương Khê, có thể do địa hình ở quanh trạm Thanh Hoá tương đối bằng phẳng, trong khi Hương Khê thì ngược lại, có nhiều núi đồi, ảnh hưởng tới sự quan trắc của radar.

- Chỉ số ME (BIAS) đánh giá cho công thức của Marshall – Palmer cũng nhỏ hơn 0 chứng tỏ, ước lượng cường độ mưa từ công thức của Marshall – Palmer cho giá trị nhỏ hơn giá trị thực đo được.



Hình 3. Đồ thị so sánh sai số RMSE theo bán kính miền lấy Z' trung bình của công thức tự tính và Marshall-Palmer cho trạm Hương Khê.

5. Kết luận

Từ những kết quả tính toán được ở trên, bước đầu cho thấy:

- Các công thức thực nghiệm ước lượng cường độ mưa (I) từ độ phản hồi vô tuyến của radar thời tiết (Z') cho vùng Bắc Trung Bộ có độ chính xác chấp nhận được.

- Ước lượng mưa từ công thức tính được luôn có giá trị nhỏ hơn cường độ mưa đo được (thể hiện ở sai số trung bình ME luôn thiên âm).

- Sai số tính cho từng trạm nhỏ hơn so với sai số tính trên toàn vùng hoặc sai số của công thức Marshall – Palmer.

- Ngoài ra, sai số của công thức cho các trạm khí tượng ở vùng địa hình đồng nhất có

phần nhỏ hơn các trạm nằm trong địa hình đồi núi (bất đồng nhất).

Tài liệu tham khảo

- [1] Nguyễn Hương Điền, Tạ Văn Đa, *Khí tượng radar*, giáo trình giảng dạy của trường ĐHKHTN, ĐHQGHN, 2007.
- [2] Ronald E. Rinechart, *Radar for Meteorologists*, University of North Dakota, USA, 1992.
- [3] L.Z. Rumsicki, *Phương pháp toán học xử lý các kết quả thực nghiệm*, Nhà xuất bản khoa học kỹ thuật Hà Nội (dịch bởi Hoàng Hữu Như, Nguyễn Bắc Vãn), 1972.
- [4] Phan Văn Tân, *Các phương pháp trong thống kê*, NXB Đại học Quốc gia Hà Nội, Hà Nội, 2003.

Empirical formulas for calculating rainrate from radar reflectivity for the North Central region of Vietnam

Nguyen Huong Dien

*Faculty of Hydro-Meteorology & Oceanography, College of Science, VNU
334 Nguyen Trai, Hanoi, Vietnam*

To calculate the rainrate I at each point, many relationships between it and the radar reflectivity Z were determined in the world. In Vietnam, there is no such formula before. This article presents the construction of the empirical formulas based on the measured rainfall data of 6 ground stations in the North Central or neighboring and the reflectivity observed by radar TRS-2730 installed at Vinh station in 5 large scale heavy rain. The formulas are in the power form $Z = AI^b$, calculated for each station and for the North Central region of Vietnam, where the empirical coefficients A and b are determined by least square method. The evaluation of error of these formulas shows that they have acceptable accuracy, the formula for each station has a higher accuracy than for the whole region and the formula for station in the flat region has the smaller error than in the mountainous region.