

محاسبه بردار کیو و بررسی دقت نتایج در یک مطالعه موردی روی ایران

سامان مرتضی پور¹، رسول میرزائی شیري²، مهیار مقصودی فلاح³، سرمد قادر⁴، علیرضا محب‌الحجه⁵

¹دانش آموخته کارشناسی ارشد هواشناسی، گروه فیزیک فضا، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، mortezapoor.saman@yahoo.com

²دانشجوی دکتری هواشناسی، گروه فیزیک فضا، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، r_mirzaei@ut.ac.ir

³دانش آموخته کارشناسی ارشد هواشناسی، گروه فیزیک فضا، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، maghsudi_66@yahoo.com

⁴دانشیار، گروه فیزیک فضا، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، sghader@ut.ac.ir

⁵استاد، گروه فیزیک فضا، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، amoheb@ut.ac.ir

چکیده

در این مطالعه با استفاده از داده‌های خروجی مدل جهانی GFS با تفکیک افقی 0/5 درجه برای بازه زمانی 25 تا 26 فوریه 2020، بردار کیو (Q) و همگرایی آن با روش عددی تفاضل متناهی مرتبه دوم مرکزی محاسبه شد. برای کاهش نوفه عددی ناشی از تفکیک بالای شبکه به کاررفته، از یک پالایه عددی استفاده شد. نقشه‌های مربوط به همگرایی بردار کیو که نشان‌دهنده حرکات صعودی جو است، ترسیم و با پهنه‌بندی مقادیر بارش تجمعی گزارش شده مقایسه شد. نتایج به دست آمده با مقادیر بارش تجمعی با دقت خوبی مطابقت داشت. با توجه به گستره فعالیت سامانه مشخص شد که بردار کیو برای مناطق غرب کشور و امتداد زاگرس در سطح 500 هکتوپاسکال و برای مناطق دامنه‌های جنوبی البرز در سطح 700 هکتوپاسکال همگرایی بالاتری داشته و با نقشه‌های بارش تجمعی مشاهده شده تطابق بیشتری دارد.

واژه‌های کلیدی: بردار کیو، همگرایی، بارش تجمعی، حرکات صعودی

Calculation of Q vector and evaluation of the accuracy of results in a case study over Iran

Saman Mortezaipoor¹, Rasoul Mirzaei Shiri², Mahyar Maghsoudi Falah³, Sarmad Ghader⁴, Alireza Mohebalhojeh⁵

¹M. Sc. graduate of Meteorology, Space Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Gilan Meteorological office

²Ph.D. Candidate of Meteorology, Space Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran

³M.Sc. graduate of Meteorology, Space Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran

⁴Associate Professor, Space Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran

⁵Professor, Space Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran

Abstract

In this study, using the global GFS model output data with a horizontal resolution of 0.5 degrees for the period of 25 to 26 February 2020, the Q vector and its convergence were calculated using the central second-order finite difference method and the numerical noise arising from high spatial resolution was reduced using a discrete spatial filter. Convergence maps of the Q vector representing the upward motion were plotted and compared with the reported accumulated precipitation maps. The results were in good agreement with the accumulated precipitation values. Regarding the scope of the system activity, it was found that the convergence of Q vector at the level of 500 hPa for the western regions of the country and along the Zagros and at the level of 700hPa for the southern areas of Alborz mountains was more consistent with the observed accumulated precipitation maps.

Keywords: Q vector, convergence, accumulated precipitation, upward motion

1 مقدمه

برای حالت شبه‌زمینگرد، معادله گرایش زمانی ژئوپتانسیل با داشتن داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیلی بر روی سطوح هم‌فشار در زمان مشخص، تحول زمانی را برای حالت ترمودینامیکی بی‌دررو پیش‌یابی می‌کند. با داشتن توزیع مکانی مقادیر ارتفاع ژئوپتانسیلی و با توجه به معادلات حاکم در شرایط شبه‌زمینگرد، دما و باد افقی فرایابی و تاوایی شبه‌زمینگرد و ارتفاع ژئوپتانسیلی پیش‌یابی می‌شوند (هولتون، 2004).

در مدل شبه‌زمینگرد، حرکت قائم ناشی از همگرایی یا واگرایی قسمت آزمینگرد باد افقی است. معادله آمگا با داشتن توزیع مکانی ارتفاع ژئوپتانسیلی، توزیع مکانی سرعت قائم را فرایابی می‌کند. معادله آمگا علاوه بر اینکه نسبت به روش‌های دیگر محاسبه سرعت قائم دقت خوبی دارد، تنها با داشتن توزیع مکانی ارتفاع ژئوپتانسیلی، مقدار آمگا را فرایابی می‌کند (ترنبرت، 1978؛ سو، 1992؛ هولتون، 2004). برای اینکه معادله آمگا دارای توصیف و تحلیل مناسب‌تری باشد و همچنین برای ترکیب جملاتی در معادله که تا حدودی همدیگر را خنثی می‌کنند، بردار کیو (Q) تعریف و در معادله جایگزین شده است. همگرایی و واگرایی این بردار به ترتیب، حرکات صعودی و نزولی جو را نشان می‌دهند (هاسکینز و پدر، 1980؛ دیویس-جونز، 1991؛ ینگ و همکاران، 2007).

2 معادله آمگا و بردار کیو

معادلات حاکم بر حرکات شبه‌زمینگرد شامل پایستگی تکانه، توازن آب‌ایستایی، پیوستگی جرم و پایستگی انرژی است. با استفاده از معادلات گرایش زمانی ارتفاع ژئوپتانسیلی و پایستگی انرژی ترمودینامیکی، معادله آمگا به دست می‌آید (هولتون، 2004). معادله آمگا با داشتن توزیع مکانی ارتفاع ژئوپتانسیلی، توزیع مکانی آمگا را به دست می‌دهد. طرف چپ این معادله متناسب با سرعت قائم در مختصه ارتفاع (W) است که مقدار مثبت و منفی آن به ترتیب بیانگر حرکات صعودی و نزولی جو است. اگرچه جملات سمت راست بیان‌کننده اثرات فرایندهای فیزیکی مشخص و جداگانه‌ای هستند اما به میزان قابل توجهی همدیگر را خنثی می‌کنند. به همین دلیل برای تفسیر و تحلیل مناسب‌تر فرایندهای فیزیکی منجر به حرکات قائم، بردار کیو با رابطه

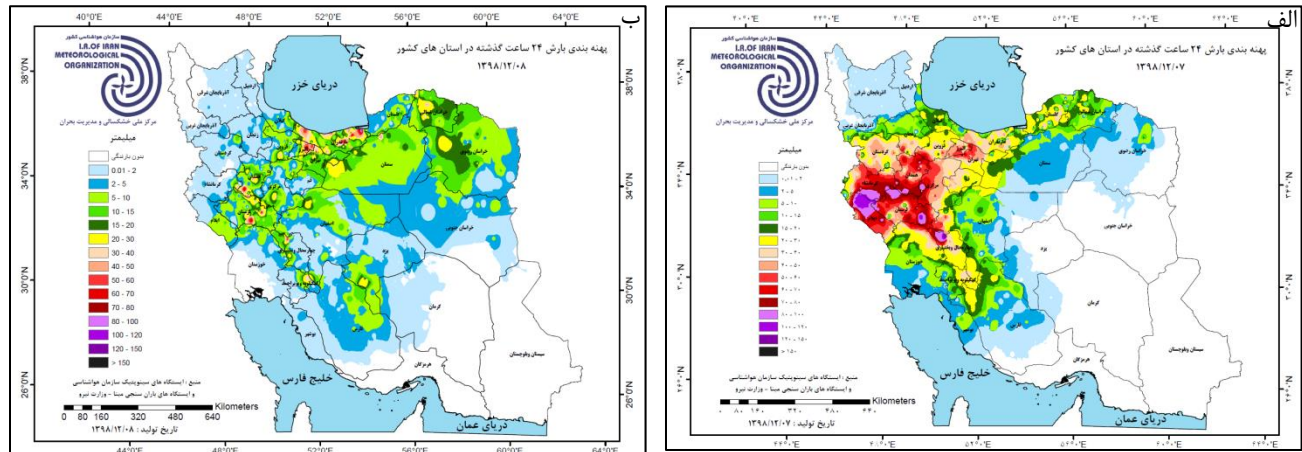
$$\mathbf{Q} \equiv (Q_1, Q_2) = \left(-\frac{R}{p} \frac{\partial \mathbf{V}_g}{\partial x} \cdot \nabla T, -\frac{R}{p} \frac{\partial \mathbf{V}_g}{\partial y} \cdot \nabla T \right) \quad (1)$$

معرفی و معادله آن برای تحلیل حرکات مقیاس همدید به کار برده می‌شود. در رابطه (1)، \mathbf{V}_g بردار باد زمینگرد، p فشار، T دما، R ثابت جهانی گازها و نماد ∇ بیانگر عملگر شیو است که همه این کمیت‌ها روی سطح افقی هم‌فشار در نظر گرفته می‌شود. با جایگزینی بردار کیو در معادله آمگا، با تقریب خوبی می‌توان همگرایی بردار کیو را معادل حرکت صعودی در نظر گرفت (هولتون، 2004). بنابراین حرکات صعودی و نزولی در حالت بی‌دررو به راحتی با داشتن الگوی بردار کیو به دست می‌آید.

3 مطالعه موردی

داده‌های خروجی مدل GFS با تفکیک افقی 0/5 درجه و گام زمانی پیش‌بینی 3 ساعته برای بازه زمانی شامل 25 و 26 فوریه 2020، هم برای خروجی‌های تحلیل و هم پیش‌یابی برای محاسبه بردار کیو و همگرایی آن استفاده شد. اطلاعات ثبت شده از ایستگاه‌های هواشناسی سطح زمین و نقشه‌های ماهواره‌ای نشان می‌دهد که در بازه زمانی 25 تا 26 فوریه 2020، مناطقی از کشور دریافت بارشی قابل توجهی داشته‌اند. تحلیل نقشه‌های همدید مدل‌های هواشناسی نیز حاکی از ورود سامانه بارشی به همراه ورود ناوه فعال دینامیکی از غرب و عبور جبهه‌های سرد و گرم از کشور است. انتقال رطوبت مناسب برای بارش نیز از عرض‌های پایین‌تر مشاهده می‌شود. شکل 1 پهنه‌بندی بارش تجمعی 24 ساعته را برای این دو روز نشان می‌دهد. شکل 1-الف نشان می‌دهد در بازه ساعت 6 گرینویچ روز 25 فوریه 2020 تا ساعت 6 گرینویچ روز 26 فوریه 2020 مناطقی از غرب کشور دارای بارش سنگین بوده است. شکل 1-ب نشان می‌دهد که تهران و مناطقی از دامنه‌های البرز نیز، در بازه زمانی ساعت 6 گرینویچ روز 26 فوریه 2020 تا ساعت 6 گرینویچ روز 27 فوریه 2020، دریافت بارشی به نسبت زیادی داشته‌اند. برای این دو روز، از خروجی مدل GFS، مقادیر

شبکه برای دما و ارتفاع ژئوپتانسیلی استخراج شد. با استفاده از رابطه (1) مقادیر بردارکیو با استفاده از روش عددی تفاضل متناهی مرتبه دوم مرکزی محاسبه شد. برای مرزها از روش تفاضل متناهی مرتبه اول یک‌سویه استفاده شد. برای داشتن خروجی واضح‌تر، با استفاده از یک پالایه عددی با دقت عددی مرتبه دوم از نوفه عددی ناشی از تفکیک بالای شبکه کاسته شد.



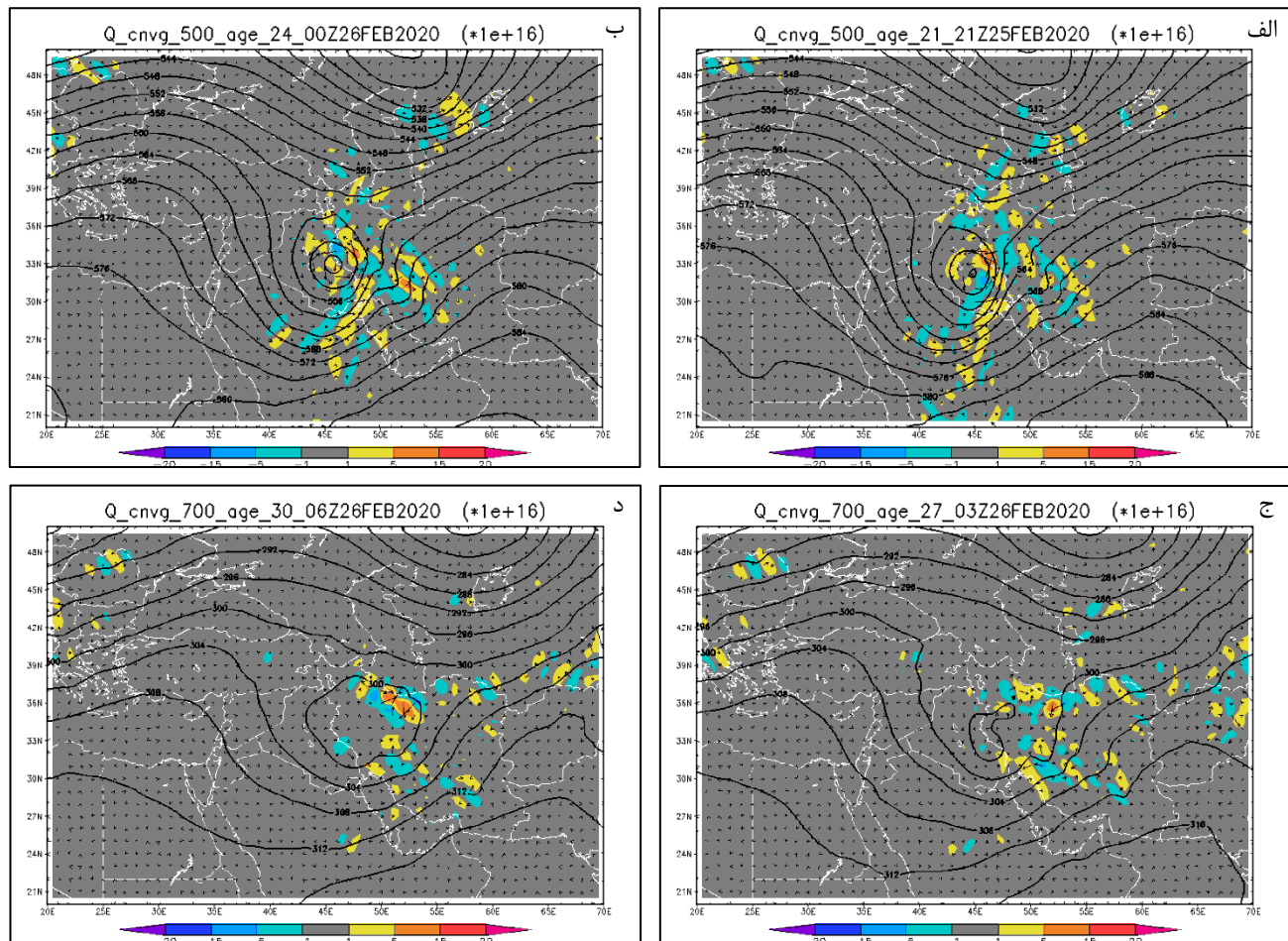
شکل 1. په‌نه‌بندی بارش تجمعی 24 ساعته روی ایران (میلی‌متر)، (الف) از ساعت 6 گری‌نویچ روز 25 فوریه 2020 تا ساعت 6 گری‌نویچ روز 26 فوریه 2020، (ب) از ساعت 6 گری‌نویچ روز 26 فوریه 2020 تا ساعت 6 گری‌نویچ روز 27 فوریه 2020 (مرکز ملی خشکسالی هواشناسی کشور).

شکل 2 خروجی محاسبه بردار کیو، همگرایی آن و خطوط هم‌ارتفاع ژئوپتانسیلی در سطح‌های فشاری 500 و 700 هکتوپاسکال را نشان می‌دهد. شکل‌های 2-الف و 2-ب همگرایی بردار کیو را در تراز 500 هکتوپاسکال به ترتیب برای ساعت 21 گری‌نویچ روز 25 فوریه و ساعت 00 روز 26 فوریه نشان می‌دهند که این زمان‌ها مربوط به بارش تجمعی شکل 1-الف هستند. مطابق این دو شکل همگرایی بیشینه‌ای در قسمت غربی و نواحی امتداد زاگرس برای بردار کیو مشاهده می‌شود که با بیشینه بارش تجمعی شکل 1-الف همخوانی دارد. شکل‌های 2-ج و 2-د به ترتیب همگرایی بردار کیو را در سطح 700 هکتوپاسکال برای ساعت 3 گری‌نویچ روز 26 فوریه و ساعت 6 گری‌نویچ همان روز نشان می‌دهد. شکل 2-ج مربوط به بارش تجمعی شکل 1-الف و شکل 2-د مربوط به بارش تجمعی شکل 1-ب است. در هردوی این موارد، همگرایی بردار کیو با مقادیر بارش تجمعی گزارش شده مطابقت دارند.

4 نتایج

در این مطالعه بردار کیو و همگرایی آن محاسبه و ترسیم شد. نتایج نشان داد مقادیر همگرایی بردار کیو که بیانگر حرکات قائم بالاسوی جوی است، مطابقت خوبی با مقادیر بارش تجمعی دارد. در مطالعه موردی که مربوط به 25 و 26 فوریه 2020 است، همگرایی برای مناطق غرب کشور و امتداد زاگرس در تراز 500 هکتوپاسکال می‌تواند با توجه به خروجی مدل، پیش‌بینی نسبتاً دقیقی برای مقادیر بارش ارائه دهد. برای مناطق دامنه‌های جنوبی رشته کوه البرز و استان تهران، همگرایی در سطح 700 هکتوپاسکال نتایج بهتری برای پیش‌بینی مقادیر بارش نشان می‌دهد. بررسی موارد بیشتر مانند شرایط هر منطقه شامل ارتفاع از سطح دریاهای آزاد، منابع رطوبتی، موقعیت ناهمواری‌ها و رشته‌کوه-

های موجود، می‌تواند برآورد پیش‌بینی بارش تجمعی توسط همگرایی بردار کیو را بهبود دهد.



شکل 2. همگرایی بردار کیو، خطوط هم‌ارتفاع ژئوپتانسیلی و بردار کیو، (الف) برای ساعت 21 گرینویچ روز 25 فوریه در تراز فشاری 500 هکتوپاسکال، (ب) برای ساعت 00 گرینویچ روز 26 فوریه در تراز فشاری 500 هکتوپاسکال، (ج) برای ساعت 03 گرینویچ روز 26 فوریه در تراز فشاری 700 هکتوپاسکال و (د) برای ساعت 06 گرینویچ روز 26 فوریه در تراز فشاری 700 هکتوپاسکال.

منابع

- Davis-Jones, R. P., 1991: The frontogenetical forcing of secondary circulations, *J. Atmos. Sci.*, 48, 497–509.
- Holton, J. R., 2004: *An Introduction to Dynamic Meteorology*, Fourth Edition.
- Hoskins, B. J., Draghici, I. and Davis, H. C., 1978: A new look at the ω -equation. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 104, 31–38.
- Hoskins, B. J., and Pedder, M. A., 1980: The diagnosis of middle latitude synoptic development. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 104, 31–38.
- Trenberth, K. E., 1978: On the interpretation of the diagnostic quasi-geostrophic omega equation. *Mon. Wea. Rev.*, 106, 131–137.
- Xu, Q., 1992: Ageostrophic pseudovorticity and geostrophic C-vec tor forcing—a new look at the Q vector in three dimensions, *J. Atmos. Sci.*, 49, 981–990.
- Yang, S., Gao, S. T. and Wang, D. H., 2007: Diagnostic analyses of the ageostrophic Q vector in the non-uniformly saturated, frictionless, and moist adiabatic flow, *J. Geophys. Res.*, 112, D09114, doi:10.1029/2006JD008142.