کاربست فرایابی فعالیت موج برای مطالعه اثر نوسان شبه‌دوسالانه بر مسیر توفان مدیترانه

سعید اسمعیلی[1]، علیرضا محب‌الحجه[2]، محمد میرزایی[3]

[1]دانشجوی کارشناسی ارشد هوشناسی، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، saeed.esmaeli@ut.ac.ir
[2]استاد، گروه فیزیک فضا، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، amoheb@ut.ac.ir
[3]استادیار، گروه فیزیک فضا، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، mirzaeim@ut.ac.ir

چکیده

مطالعه تاثیرات نوسان‌های کم‌بسامد جوّی مثل نوسان شبه‌دوسالانه QBO بر مسیر توفان مدیترانه می‌تواند نقش کلیدی در افزایش دقت پیش‌بینی میان‌مدت و بلندمدت بارش و سایر پدیده‌های حدی در ایران داشته باشد. در این پژوهش، با استفاده از داده‌های بازتحلیل NCEP/NCAR برای دوره مطالعاتی 1958 تا 2018 کمیت‌های شار و چگالی فعالیت موج، و نیز واگرایی شار فعالیت موج برای دو بازه زمانی اوایل زمستان و اواخر زمستان محاسبه شد. نتایج نشان داد که قدرت مسیر توفان مدیترانه در اوایل زمستان در تغییر فاز QBO از شرقی به غربی افزایش یافته و مسیر توفان دستخوش جابه‌جایی به شرق می‌شود. در اواخر زمستان فاز شرقی QBO است که باعث افزایش قدرت مسیر توفان مدیترانه شده و مسیر آن را به شرق جابه‌جا می‌کند.

واژه‌های کلیدی: مسیر توفان مدیترانه، نوسان QBO، شار فعالیت موج، واگرایی شار فعالیت موج

Application of the wave-activity diagnostics to study the impact of Quasi-Biennial Oscillation on the Mediterranean storm track

Saeed Esmaeli[1], Ali R. Mohebalhojeh[2], Mohammad Mirzaei[3]

[1]M.Sc. student of Meteorology, Institute of Geophysics, University of Tehran
[2]Professor, Department of Space Physics, Institute of Geophysics, University of Tehran
[2] Assistant Professor, Department of Space Physics, Institute of Geophysics, University of Tehran

Abstract

Studying the impact of the low-frequency atmospheric oscillations such as the Quasi-Biennial Oscillation (QBO) on the Mediterranean storm track can prove important in increasing accuracy of medium-range weather forecasting and predication in monthly and seasonal time scales. In this study, using the NCEP/NCAR reanalysis data with the grid spacing of 2.5 degrees in both zonal and meridional directions during the period 1958 to 2018, the wave activity density and flux, as well as the divergence of wave activity flux are computed for two periods of early winter (November–December) and late winter (January–February–March). The results showed that the Mediterranean storm track is stronger and displaces to the east in the westerly phase of QBO in early winter. In the late winter, however, it is in the easterly phase of QBO that the Mediterranean storm track becomes stronger and displaced to the east.

Keywords: Mediterranean storm track, QBO, wave activity flux, divergence of wave activity flux

1 مقدمه

انتشار پریشیدگی‌های کژفشار در عرض‌های میانی عمدتاً در موجبری به نام مسیر توفان انجام می‌گیرد (لائو، 1988). والاس و همکاران (1988) تعریف مسیر توفان را از دیدگاهی متفاوت ارائه کردند که مطابق آن، مسیر توفان مناطق بیشینه تغییرپذیری ارتفاع ژئوپتانسیلی در وردسپهر میانی و زبرین ناشی از آشفتگی‌های با دوره کمتر از یک هفته را شامل می‌شود. این تعریف به‌طور همزمان دو دسته مسیر مراکز کمینه و بیشینه آشفتگی ژئوپتانسیلی را دربرمی‌گیرد و مکمل دیدگاه سنتی است که فقط بر مراکز کمینه استوار بود. برای ایجاد یک چرخند برون‌حاره‌ای نقطه آغاز مسیر توفان معمولا در مناطقی قرار دارد که شیو افقی دمایی بزرگی وجود داشته باشد. پس از تشکیل آشفتگی، پریشیدگی ایجاد شده در عرض‌های میانی به سمت شرق حرکت می‌کند (چنگ و همکاران، 2002).

مسیر توفان مدیترانه در بیشتر موارد در دسته مسیرهای فرعی توفان قرار می‌گیرد. شواهد زیادی وجود دارد که توسعه چرخندها و واچرخندهای عرض‌های میانی را تا حدودی به انتشار بسته‌های موج مربوط می‌کند (مانند اورلانسکی و شلدون، 1993؛ چنگ، 2000). اورلانسکی و کتزفی (1991) و چنگ (2000) نشان دادند که شار ژئوپتانسیلی آزمینگرد که بخش مهمی از انتشار انرژی پیچکی مربوط به آن است، ابزار مناسبی برای بررسی و ردیابی انتشار یک بسته موج است. اسبقی و همکاران (2017) با رهیافت انرژی نشان دادند که مسیر توفان مدیترانه در اوایل زمستان تاثیرپذیری بیشتری از تغییر فاز نوسان QBO نشان می‌دهد. آنها همچنین توضیح دادند که با برقراری فاز غربی QBO در اواخر زمستان قدرت مسیر توفان اطلس شمالی به‌حدی غالب است که مسیر توفان مدیترانه تضعیف می‌شود. نوسان QBO دو فاز غربی (مثبت) و شرقی (منفی) دارد که مربوط به جهت میانگین مداری باد مداری در سطح فشاری 50 هکتوپاسکال در نظر گرفته می‌شود.

در این مقاله با استفاده از رهیافت فعالیت موج به تغییرات این مسیر توفان در اثر تغییر فاز نوسان کم‌بسامد QBO پرداخته شده است. نتایج این روش آزمون مناسبی برای نتایج روش انرژی (اسبقی و همکاران، 2017) در تحلیل اثر نوسان QBO بر مسیر توفان مدیترانه است و ما را به درک برهم‌کنش این نوسان با مسیر توفان نزدیک‌تر می‌کند. تراز فشاری 300 هکتو پاسکال شاخص رفتار وردسپهر میانی و زبرین در نظر گرفته و کمیت‌های مرتبط با فعالیت موج بر روی آن محاسبه شد.

2 روش تحقیق

در این پژوهش، با استفاده از داده‌های بازتحلیل NCEP/NCAR با تفکیک افقی 2/5×2/5 درجه در دو راستای طول و عرض جغرافیایی و شامل 17 تراز در راستای قائم برای دوره 1958 تا 2018 ابتدا شار فعالیت موج با نماد **F** طبق فرمولبندی‌ای که در ادامه می‌آید، محاسبه شد. سپس، واگرایی **F** در دو صفحه افقی، نصف‌النهاری و نیز در فضای سه‌بعدی تعیین شد. در این محاسبات میانگین‌گیری‌ها به‌صورت فصلی انجام شده است که برای اوایل زمستان شامل نوامبر و دسامبر و اواخر زمستان شامل ژانویه، فوریه و مارس، به‌صورت جداگانه ارائه می‌شود. برای به‌دست آوردن فعالیت موج و شار آن **F** از فرمول‌بندی اسلر و هینز (1999) استفاده شده است. فرمول‌بندی اسلر و هینز (1999) در واقع تعمیم‌یافته فرمول‌بندی (1986) است که بدین صورت ارائه می‌شود:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{F} = D. \qquad \textbf{(1)}$$

در این رابطه A فعالیت موج، **F** بردار شار فعالیت موج و D واداشت ناپایستار موج شامل اثرات چشمه و چاهه است. شار **F** به صورت زیر تعریف می‌شود که تعمیم‌یافته شار پلام (1986) است:

$$\mathbf{F}=\frac{\cos\varphi}{2}\begin{bmatrix}\frac{2U^0A}{\cos\varphi}+\frac{1}{2}\left(\psi^e q^e+v^e\xi^e\right)+v^{e^2}+\frac{\psi^e u^e_\lambda}{a\cos\varphi}\\ -u^e v^e+\frac{\psi^e u^e_\lambda}{a\cos\varphi}\\ \frac{f}{\Theta^0_p}\left(v^e\theta^e-\frac{\psi^e\theta^e_\lambda}{a\cos\varphi}\right)\end{bmatrix}. \qquad \textbf{(2)}$$

فعالیت موج A هم چنین تعریف می‌شود:

$$A=a\frac{\cos\phi\left(q^{e^2}-\frac{\xi^e q^e_\lambda}{a\cos\phi}\right)}{4Q^0_\varphi} \qquad \textbf{(3)}$$

در روابط فوق، بالانویس e نشان‌دهنده پریشیدگی از حالت پایه شامل سرعت مداری U^0، تاوایی پتانسیلی شبه‌زمینگرد Q^0 و دمای پتانسیلی حالت پایه Θ^0 است که با میانگین‌گیری زمانی به‌دست می‌آیند. کمیت ψ^e پریشیدگی تابع جریان ($\psi^e=\Phi/2\Omega\sin\phi$) بوده و پریشیدگی تاوایی پتانسیلی شبه‌زمینگرد به‌صورت زیر است:

$$q^e=\frac{1}{a^2\cos^2\phi}\frac{\partial^2\psi^e}{\partial\lambda^2}+\frac{1}{a^2\cos\phi}\frac{\partial}{\partial\phi}\left(\cos\phi\frac{\partial\psi^e}{\partial\phi}\right)+f\frac{\partial}{\partial p}\left(\frac{\theta^e}{\Theta^0_p}\right) \qquad \textbf{(4)}$$

کمیت ξ^e نیز با انتگرال‌گیری از کمیت زیر به‌دست می‌آید:

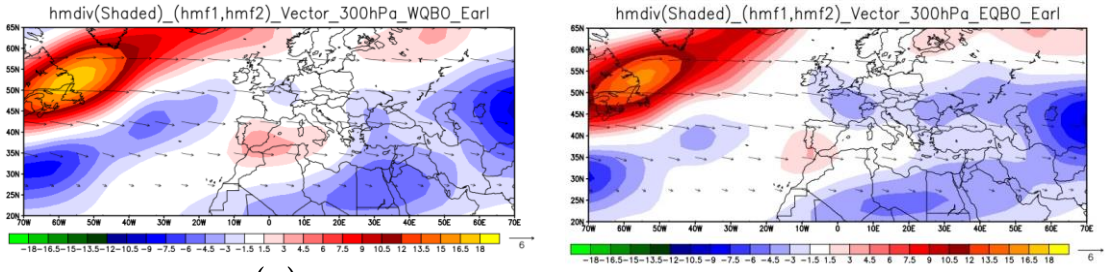
$$\xi^e_\lambda=a\cos\phi\left(q^e-\overline{q^e}\right) \qquad \textbf{(5)}$$

خط افقی در بالای این کمیت، نشان‌دهندهٔ میانگین مداری است. پس از محاسبه متغیرهای یادشده، $\mathbf{F}$ و واگرایی افقی آن به‌صورت همزمان ترسیم می‌شوند.

3 نتیجه‌گیری

نتایج مربوط به شار فعالیت موج و واگرایی افقی آن برای هر دو فاز غربی و شرقی QBO و برای دوره‌های اوایل و اواخر زمستان، به‌ترتیب در شکل‌های 1 و 2 آورده شده‌اند باید توجه داشت که مناطق با واگرایی شار مثبت (منفی) نشان‌دهنده چشمه (چاهک) است. همچنین بردارهای شار فعالیت موج از مرکز مثبت واگرایی به سمت مرکز منفی واگرایی منفی تعیین‌کننده مسیر توفان هستند.

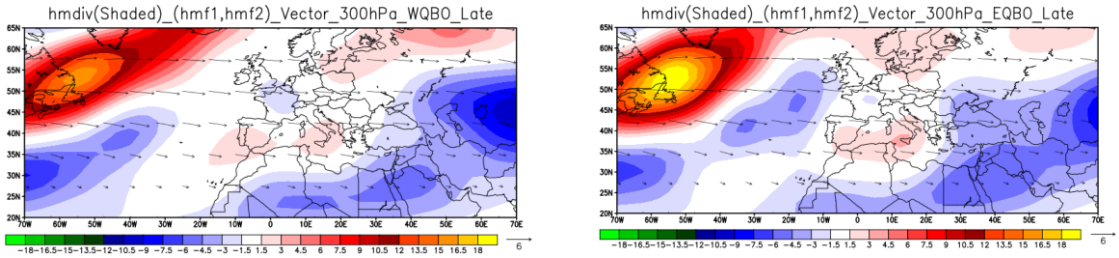
نتایج برای اوایل زمستان، نشان می‌دهد که در هر دو شکل 1-الف و 1-ب یک مرکز واگرایی مثبت در غرب مدیترانه دیده می‌شود که نشانه اصلی وجود مسیر توفان مدیترانه است. با توجه به جهت بردار شار افقی فعالیت موج که از غرب به شرق است، مسیر توفان مدیترانه از مرکز واگرایی مثبت به سمت مراکز واگرایی منفی (همگرایی) در شرق این مرکز در نظر گرفته می‌شود. این جابجایی این‌گونه تفسیر می‌شود که مسیر توفان مدیترانه در اثر تغییر فاز QBO از شرقی به غربی تقویت شده و تقریبا 10 درجه به شرق جابه‌جا می‌شود. نتیجه دیگر این است که در شکل 1-الف، واگرایی منفی در ایران قوی‌تر است که ناشی از فعالیت بیشتر مسیر توفان اطلس شمالی در شمال دریای سیاه تفسیر می‌شود.



(ب) (الف)

شکل 1. میانگین واگرایی افقی شار فعالیت موج (نواحی رنگی با یکای $10^{-7}\,\mathrm{m\,s^{-2}}$) و بردار شار افقی فعالیت موج (با یکای $\mathrm{m^2\,s^{-2}}$) برای فاز (الف) شرقی و (ب) غربی در اوایل زمستان.

در شکل‌های 2-الف و 2-ب مرکز واگرایی مثبت بر فراز دریای مدیترانه به‌سمت مرکز این دریا جابه‌جا شده است که همان‌طور که اسبقی و همکاران (2016) نیز اشاره کردند ناشی از افزایش فعالیت مسیر توفان اطلس شمالی در اواخر زمستان است. در شکل2-الف دوقطبی مرکز واگرایی مثبت بر روی دریای مدیترانه و مرکز همگرایی مستقر در خاورمیانه شدیدتر است که به‌معنای فعال‌تر بودن مسیر توفان مدیترانه تفسیر می‌شود. با توجه به شکل 2 در تغییر فاز QBO از شرقی به غربی مسیر توفان مدیترانه کمی به‌سمت جنوب منحرف شده و فعالیت آن در ایران ضعیف‌تر می‌شود. در کل نتایج نشان می‌دهد که در اوایل زمستان که مسیر توفان اطلس شمالی ضعیف‌تر است تغییر فاز QBO از منفی به مثبت باعث افزایش فعالیت محسوس مسیر توفان مدیترانه می‌شود، اما در اواخر زمستان که مسیر توفان اطلس شمالی قدرت می‌گیرد اثر تغییر فاز QBO از منفی به مثبت بر مسیر توفان مدیترانه باعث کاهش فعالیت مسیر توفان مدیترانه شده است.



(ب) (الف)

شکل 2. مانند شکل 1 اما برای اواخر زمستان.

منابع

Asbaghi, G., Joghataei, M., and Mohebolhojeh, A. R., 2017, Impacts of the QBO on the North Atlantic and Mediterranean storm tracks: An energetic perspective: *Geophys. Res. Lett.*, **44**, 1060–1067.

Chang, E. K. M., 2000, Wave packets and life cycles of troughs in the upper troposphere: Examples from the southern hemisphere summer season of 1984/85: *Mon. Wea. Rev.*, 128, 25–50.

Chang, E. K., Lee, S. and Swanson, K. L., 2002, Storm track dynamics: *J. Atmos. Sc., J. Climate*, **15**, 2163–2183.

Esler, J. G. and Haynes, P. H., 1999, Baroclinic wave breaking and the internal variability of the tropospheric circulation*: J. Atmos. Sc.*, **56**(23), 4014–4031.

Lau, N. C., 1988, Variability of the observed midlatitude storm tracks in relation to low-frequency changes in the circulation pattern: *J. Atmos. Sci.*, **45**(19), 2718–2743.

Orlanski, I., and Katzfey, J. J., 1991, The life cycle of a cyclone wave in the southern hemisphere: *J. Atmos. Sci.*, **48**, 1972–1998.

Orlanski, I., and Sheldon, J. P., 1993, A case of downstream baroclinic development over western North America: *Mon. Wea. Rev.*, **121**, 2929–2950.

Plumb, R. A., 1986: Three-dimensional propagation of transient quasigeostrophic eddies and its relationship with the eddy forcing of the time-mean flow: *J. Atmos. Sci.*, **43**, 1657–1678.

Wallace, J. M., Lim, G. H., and Blackmon, M. L., 1988, Relationship between cyclone tracks, anticyclone tracks and baroclinic waveguides: *J. Atmos. Sci.*, **45**, 439–462.