

تغییرات اقلیمی گردش موسمی تابستانه جنوب غرب آسیا در وردسپهر زبرین

شاهین عالمزاده^۱، فرهنگ احمدی گیوی^۲، علیرضا محب‌الحجه^۳، محمدعلی نصرافهانی^۴

^۱دانشجوی دکتری هواشناسی، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، sh.alemzadeh@ut.ac.ir

^۲دانشیار گروه فیزیک فضا، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ahmadig@ut.ac.ir

^۳دانشیار گروه فیزیک فضا، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، amoheb@ut.ac.ir

^۴استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه شهرکرد، mnasr@agr.sku.ac.ir

چکیده

در این پژوهش، چگونگی اثر تغییر اقلیم بر گردش موسمی تابستانه جنوب غرب آسیا براساس داده‌های خروجی مدل ماکس - پلانک در شبیه‌سازی‌های مرحله پنجم از «پروژه مقایسه متقابل مدل جفت‌شده» موسوم به CMIP5 مورد بررسی قرار می‌گیرد. سناریوی تاریخی (historical) برای دوره گذشته و سناریوی RCP8.5 برای دوره آینده به کار رفته است. مطالعه موسمی تابستانه مبتنی بر دیدگاه فعالیت موج در ترازهای فوقانی وردسپهر است. نتایج نشان می‌دهد که تا اواخر قرن بیست و یکم، گردش‌های موسمی تابستانه در عرض‌های جنب‌حاره‌ای جنوب غرب و جنوب آسیا تضعیف خواهند شد؛ بدین صورت که بیشینه فعالیت و شکست موج از عرض‌های جنب‌حاره‌ای به عرض‌های میانی و شمالی جابه‌جا می‌شوند. همچنین، بسته‌موج مدیترانه‌ای موسمی تضعیف و دچار عقب‌نشینی غرب‌سو و قطب‌سو می‌گردد که نتیجه‌ای نامطلوب از نظر انتقال فعالیت سامانه‌های هم‌دیدی به شمال و شمال غرب ایران است.

واژه‌های کلیدی: موسمی تابستانه، تغییر اقلیم، فعالیت موج، مدل‌های CMIP5، سناریوی Historical، سناریوی RCP8.5

Response of summer Monsoon upper-tropospheric circulation to climate change in Southwest Asia

Shahin Alemzadeh¹, Farhang Ahmadi-Givi², Alireza Mohebalhojeh³, Mohammad Ali Nasr-Esfahani⁴

¹PhD Student in Meteorology, Institute of Geophysics, University of Tehran

²Associate Professor of Space Physics, Institute of Geophysics, University of Tehran

³Associate Professor of Space Physics, Institute of Geophysics, University of Tehran

⁴Assistant Professor, University of Shahrekord, Iran

Abstract

In this study, the “MPI-ESM-LR” model output from phase 5 of the Coupled Model Intercomparison Project (CMIP5) is analyzed to assess the response of summer monsoon to climate change in Southwest Asia. Historical scenario is used for the past and RCP8.5 scenario is used as the projection for the future period. The conservation of wave activity is applied as a diagnostic tool to investigate the eddy activity dynamics. Upper-tropospheric Monsoon circulation in Southwest Asia is found to be attenuated at the end of 21st century. Also, the wave breaking and wave activity maxima over Eastern-Mediterranean, Middle-East, Caspian Sea and Aral will undergo a poleward shift. This means a decrease in wave activity and wave breaking in Iran which could result in less summer synoptic wave activity in the northern and northwestern parts of Iran in the future.

Keywords: Summer Monsoon, climate change, wave activity, CMIP5 models, historical scenario, RCP8.5 scenario

۱ مقدمه

شماری از مطالعات بر روی تغییرات اقلیمی «موسمی تابستانه جنوب آسیا» (SASM) بر مبنای مشاهدات و نیز مدل‌سازی‌ها شامل دوره گذشته از شبیه‌سازی‌های «پروژه مقایسه متقابل مدل جفت‌شده» موسوم به CMIP (فن و همکاران، ۲۰۱۰) و همچنین دوره آینده CMIP (فن و همکاران، ۲۰۱۱) نشان‌دهنده دوگانگی «تضعیف گردش موسمی تابستانه- تقویت بارش» در جنوب آسیا بر اثر گرمایش زمین می‌باشند. ولی تاکنون مطالعات کمی درباره چگونگی تغییرات گردش تابستانه جنوب غرب آسیا بر اثر تغییر اقلیم انجام شده است. به‌طور مثال، مفیدی و همکاران (۱۳۸۹) نشان دادند که در دهه‌های اخیر شدت گردش بزرگ‌مقیاس تابستانه در جنوب غرب آسیا روند کاهشی داشته که با کوتاه شدن فصل تابستان در این نواحی همراه بوده است. تا جایی که ما اطلاع داریم، هیچ مطالعه دینامیکی بر مبنای فعالیت موج بر روی گردش‌های تابستانه جنوب غرب آسیا انجام نشده است. لذا در این پژوهش، با ابزار فرایابی اویلری پایستاری فعالیت موج به بررسی دینامیکی موسمی تابستانه و تغییرات اقلیمی آن در جنوب غرب آسیا می‌پردازیم. هدف اصلی در مطالعه حاضر، پاسخ به این سؤال است که بر مبنای شبیه‌سازی‌های CMIP، فعالیت، انتشار و شکست موج مرتبط با گردش تابستانه جنوب غرب آسیا تا اواخر قرن بیست‌ویکم چه تغییری خواهد کرد و چه اثری بر گردش جوی تابستانه ایران خواهد داشت.

۲ داده‌ها و روش تحقیق

در این پژوهش، داده‌های خروجی شبیه‌سازی‌های مدل MPI-ESM-LR در فاز پنجم از "پروژه مقایسه مدل‌های جفت‌شده" موسوم به CMIP5 (تیلور و همکاران، ۲۰۱۲) استفاده شده است. این داده‌ها شامل میانگین روزانه ارتفاع ژئوپتانسیلی در چندین تراز فشاری است و دو سناریوی تاریخی (دوره ۲۶ ساله ۲۰۰۵-۱۹۸۰) و RCP8.5 (دوره ۲۴ ساله ۲۰۹۹-۲۰۷۶) را دربر می‌گیرد. در سناریوی تاریخی، واداشت گازهای گلخانه‌ای براساس مشاهدات گذشته در قرن ۲۰ام است و سناریوی RCP8.5 متناظر با آینده‌ای است که میانگین جهانی واداشت تابشی کل ناشی از گسیل انسانی گازهای گلخانه‌ای تا سال ۲۱۰۰ (پایان قرن ۲۱ ام) به 8.5 W/m^2 خواهد رسید. برای بررسی فعالیت موج، از رابطه پایستاری فعالیت موج اسلر و هینز (۱۹۹۹) استفاده می‌شود:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{F} = D, \quad (1)$$

که A میدان فعالیت موج و \mathbf{F} بردار سه‌بعدی شار فعالیت موج است. برای اطلاع از جزئیات روابط مؤلفه‌های افقی و قائم شار فعالیت موج به احمدی گیوی و همکاران (۲۰۱۴) و رضاییان و همکاران (۲۰۱۶) مراجعه شود. آن‌ها از این رابطه برای فرایابی و تحلیل انتشار بسته‌موج‌های راسبی در ناحیه اطللس شمالی، مدیترانه و جنوب غرب آسیا در فصل زمستان استفاده کرده‌اند. همچنین، رابطه فعالیت موج A به صورت زیر است:

$$A = a \frac{\cos \phi \left(q^{e2} - \frac{\xi^e q_\lambda^e}{a \cos \phi} \right)}{4Q_\phi^0}, \quad (2)$$

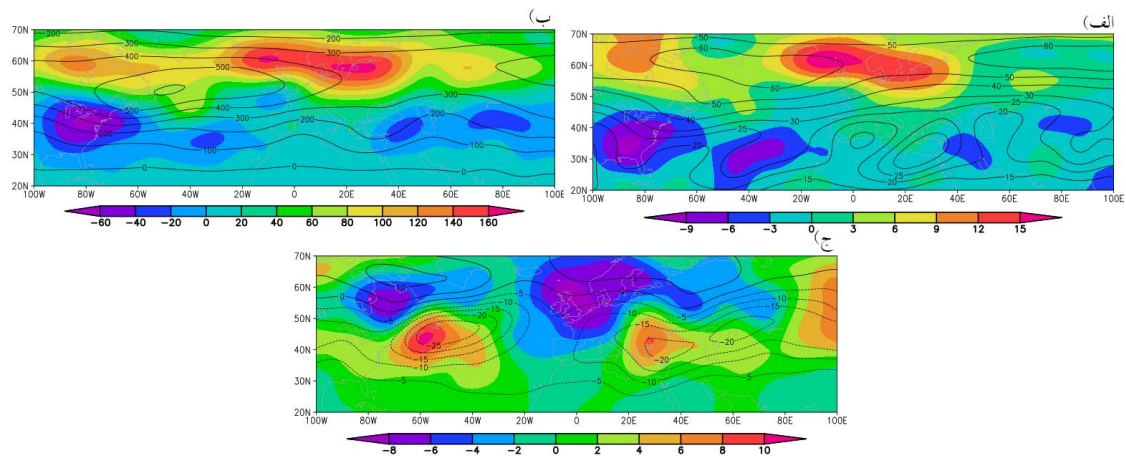
که a شعاع زمین، λ طول جغرافیایی و ϕ عرض جغرافیایی است. پایین‌نویس‌های λ و ϕ به ترتیب مشتقات جزئی نسبت به طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و فشار هستند. همچنین، بالانویس e ، به معنای «پیشیدگی» (انحراف از حالت پایه) و بالانویس 0 ، نشان‌دهنده «حالت پایه» است. بنابراین، q^e «پیشیدگی» تاوایی پتانسیلی شبه‌زمینگرد و Q^0 تاوایی پتانسیلی شبه‌زمینگرد «حالت پایه» هستند. کمیت ξ^e با رابطه زیر نشان داده می‌شود:

$$\xi_\lambda^e = a \cos \phi (q^e - \bar{q}^e), \quad (3)$$

که علامت بار، میانگین مداری بوده و شرط مهم در محاسبه ξ^e ، صفر بودن میانگین مداری آن است ($\bar{\xi}^e = 0$).

۳ تحلیل نتایج

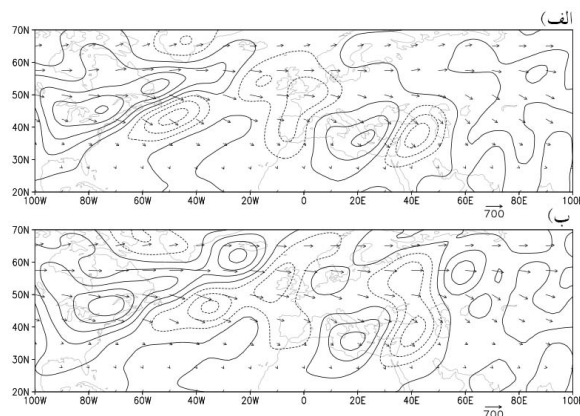
در تابستان با توجه به وجود گردش موسمی در عرض‌های حاره‌ای و جنب‌حاره‌ای، مبنا و اصول تحلیل‌های دینامیکی نوسانات میدان‌های مرتبط با فعالیت موج در این نواحی مجزا از دینامیک عرض‌های میانی است. در این فصل، در اثر گردش موسمی جنوب و جنوب غرب آسیا، جت جنب‌حاره آفریقا-آسیا تضعیف می‌شود. با تضعیف این جت در شرق مدیترانه و براساس وارون-پذیری تاوایی پتانسیلی (PV)، شیو تاوایی پتانسیلی کاهش می‌یابد. با توجه به رابطه (۳)، فعالیت موج با شیو نصف‌النهاری تاوایی پتانسیلی رابطه عکس دارد. بنابراین، با کاهش شیو تاوایی پتانسیلی در محل جت جنب‌حاره، فعالیت موج افزایش می‌یابد و یک مرکز بیشینه فعالیت موج در شرق مدیترانه شکل می‌گیرد (شکل ۱الف، پربندها). متناظر با آن در همین ناحیه، یک ناوه بیشینه شار مداری فعالیت موج (شکل ۱ب، پربندها)، یک مرکز بیشینه شار استواسوی فعالیت موج یا شکست و اچرخندی موج (شکل ۱ج، پربندها) و یک زوج واگرایی-همگرایی شار فعالیت موج (شکل ۱د، پربندها) تشکیل می‌شود که تا شمال غرب و غرب ایران را دربر می‌گیرد. در واقع با کاهش شیو تاوایی پتانسیلی در تابستان، بنابر اثر فیلیپس-PV (مک‌این‌تایر، ۲۰۰۸)، کشسانی موج راسبی کاهش یافته و رفتارهای تلاطمی و غیرخطی موج و به عبارتی شکست موج قوی‌تر می‌شود و این به معنای افزایش فعالیت موج است. به همین علت، مراکز بیشینه‌های از فعالیت موج در مناطق موسمی آمریکای لاتین، شمال آفریقا و جنوب غرب آسیا تشکیل می‌شود (شکل ۱الف، پربندها).



شکل ۱. تغییرات از دوره تاریخی به دوره آینده (سایه رنگی) براساس سناریوی RCP8.5 (RCP8.5-historical) به همراه میانگین دوره تاریخی (پربندها) در تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال و فصل تابستان برای میدان‌های: (الف) فعالیت موج، (ب) شار مداری فعالیت موج و (ج) شار نصف‌النهاری فعالیت موج. مقادیر مثبت و صفر با خط پر و مقادیر منفی با نقطه چین نشان داده شده است. بازه پربندها در «الف» 5 m s^{-1} و 10 m s^{-1} به ترتیب برای مقادیر کمتر و بیشتر از ۳۰، در «ب» $100 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ و در «ج» $5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ است.

با توجه به شکل ۱الف (سایه رنگی)، در کل حوزه مورد بررسی از اطلس تا آسیا، تغییرات فعالیت موج در آینده در عرض‌های جنب‌حاره‌ای (واقع در استواسوی ۵۰ درجه شمالی) کاهش است؛ از جمله، در شرق مدیترانه و جنوب غرب آسیا بیشینه‌ای از کاهش فعالیت موج در این شکل دیده می‌شود. در آینده (در شکل نشان داده نشده)، ناحیه کمینه فعالیت موج در ایران گسترده‌تر خواهد شد و مرکز بیشینه فعالیت موج شرق مدیترانه به سمت غرب عقب‌نشینی کرده و مساحت نفوذ آن در خاورمیانه و غرب ایران کاهش خواهد یافت. متناظر با این تغییرات، در همین ناحیه (شرق مدیترانه) زوج گسیل-دریافت موج در آینده (شکل ۱ب) نسبت به موقعیت گذشته خود (شکل ۱د) به سمت غرب جابه‌جا خواهد شد و علاوه بر آن، مرکز دریافت این زوج کمی به عرض‌های شمالی‌تر انتقال می‌یابد. همچنین، مرکز گسیل آن کمی کوچک‌تر و ضعیف‌تر می‌شود. نتایج مذکور به معنای تضعیف مشخصه‌های گردش موسمی تابستانه جنوب غرب آسیا بر اثر گرمایش زمین می‌باشد. این تغییرات با تضعیف شار مداری فعالیت موج (شکل ۱ب، سایه رنگی) و همچنین کاهش شار استواسوی فعالیت موج یا به عبارتی تضعیف شکست موج (شکل ۱ج، سایه رنگی) از شرق مدیترانه و نیمه شمالی خاورمیانه تا دریای خزر، دریاچه آرال و فلات تبت

همراه است. این پیش‌بینی، از نظر اثر بر کاهش فعالیت سامانه‌های همدیدی تابستانی این مناطق و به طور کلی جنوب‌غرب آسیا ناخوشایند می‌باشد؛ به‌ویژه در ایران، با توجه به جابه‌جایی غرب‌سو و قطب‌سوی بسته‌موج شرق مدیترانه و کاهش نفوذ مرکز دریافت آن در ایران (شکل ۲ب)، نتیجه‌ای نامطلوب و نگران‌کننده خواهد بود.



شکل ۲. شار افقی فعالیت موج (بردارها) و میدان واگرایی آن (پربندها) در تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال و فصل تابستان برای دوره‌های (الف) تاریخی و (ب) آینده (RCP8.5). مقادیر مثبت و صفر با خط پر و مقادیر منفی با نقطه‌چین نشان داده شده‌اند. بازه پربندها $3 \times 10^{-5} \text{ m s}^{-2}$ بوده و مقیاس بردارها در پایین و سمت راست شکل‌ها آورده شده است. مؤلفه نصف‌النهاری بردارها برای نمایش بهتر در ۱۰ ضرب شده است.

۴ نتیجه‌گیری

در این پژوهش، تغییرات گردش موسمی تابستانه جنوب‌غرب آسیا بر اثر گرمایش زمین و براساس داده‌های خروجی مدل MPI-ESM-LR در فاز پنجم از پروژه CMIP5 موسوم به CMIP5 مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفته است. نتایج حاصل، مشخصه‌های گردش موسمی جنوب‌غرب آسیا را به کمک پایداری فعالیت موج به تصویر می‌کشد که مهم‌ترین آنها وجود یک زوج واگرایی-همگرایی شار فعالیت موج به همراه مرکز بیشینه‌ای از میدان فعالیت موج در شرق مدیترانه است. نتایج نشان می‌دهند که بر اثر گرمایش زمین در فصل تابستان شاهد جابه‌جایی قطب‌سوی بیشینه فعالیت، شکست و انتشار موج از عرض‌های جنب‌حاره‌ای به عرض‌های میانی و شمالی خواهیم بود. همچنین، مشخصه‌های گردش تابستانی در جنوب‌غرب آسیا تضعیف خواهند شد که مهم‌ترین آنها جابه‌جایی غرب‌سوی بسته موج شرق مدیترانه و گسترده شدن کمینه فعالیت موج بر روی ایران می‌باشد. این امر می‌تواند به معنای کاهش انتقال فعالیت سامانه‌های همدیدی به نواحی شمالی و غربی ایران باشد که نتیجه‌ای نامطلوب تلقی می‌شود.

منابع

- مفیدی، ع.، زرین، آ. و فاسولو، ج.، ۱۳۸۹: گردش جو تابستانه در وردسپهر فوقانی بر روی جنوب‌غرب آسیا و وردایی زمانی آن در طی نیم‌قرن گذشته. چهارمین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم.
- Ahmadi-Givi, F., M. A. Nasr-Esfahany, and A. R. Mohebalhojeh, 2014: Interaction of North Atlantic baroclinic wave packets and the Mediterranean storm track. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* **140**: 754–765.
- Esler, J. G., and P. H. Haynes, 1999: Baroclinic wave breaking and the internal variability of the tropospheric circulation. *J. Atmos. Sci.* **56**: 4014–4031.
- Fan, F., M. E. Mann, S. Lee, and J. L. Evans, 2010: Observed and modeled changes in the South Asian Summer Monsoon over the historical period. *J. Climate*, **23**, 5193–5205.
- , —, —, and —, 2011: Future Changes in the South Asian Summer Monsoon: An Analysis of the CMIP3 Multimodel Projections. *J. Climate*, **25**, 3909–3928.
- Rezaeian, M., A. R. Mohebalhojeh, F. Ahmadi-Givi, and M. A. Nasr-Esfahany, 2016: A wave-activity view of the relation between the Mediterranean storm track and the North Atlantic Oscillation in winter. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* **142**: 1662–1671.
- McIntyre, M. E., 2008: Potential-vorticity inversion and the wave-turbulence jigsaw: Some recent clarifications. *Adv. Geosci.*, **15**, 47–56.
- Taylor, K. E., R. J. Stouffer, and G. A. Meehl, 2012: An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **93**, 485–498.