

بررسی فراوانی تاشدگی وردایست منطقه جنوب‌غرب آسیا با استفاده از داده‌های ERA-interim در دوره ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۵

رضا برهانی^۱، فرهنگ احمدی‌گیوی^۲، سرمد قادر^۳

^۱دانشجوی دکتری هوافضایی، موسسه زئوفیزیک دانشگاه تهران، borhanireza@ut.ac.ir

^۲دانشیار گروه فیزیک فضا، موسسه زئوفیزیک دانشگاه تهران، ahmadig@ut.ac.ir

^۳دانشیار گروه فیزیک فضا، موسسه زئوفیزیک دانشگاه تهران، sghaderg@ut.ac.ir

چکیده

هدف این پژوهش مطالعه میزان فراوانی و تغییرات زمانی رخداد تاشدگی وردایست در منطقه جنوب‌غرب آسیا، در دوره ۵ ساله ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۵ است. تشخیص تاشدگی وردایست دینامیکی براساس الگوریتم شرلاک و همکاران (۲۰۱۴) و با استفاده از نیمرخ قائم تاوایی پتانسیلی در هر یک از نقاط شبکه انجام شده است. از آنجا که به طور معمول تاشدگی وردایست در مناطقی رخ می‌دهد که شیوه افقی دمای سطحی و چینش قائم شدید باد حاکم است، بنابراین تاشدگی‌های وردایست منطقه جنوب‌غرب آسیا عمدتاً در مجاورت جریان جتی جنوب‌حراره تشکیل می‌شوند. در فصل تابستان همزمان با شکل‌گیری واخرخند موسمی بر روی عرض‌های جنوب‌حراره‌ای اقیانوس هند، فراوانی تاشدگی وردایست به شدت افزایش می‌یابد. بیشترین فراوانی تاشدگی در این فصل در دو کانون، یکی بر روی ایران-افغانستان و دیگری در شرق مدیترانه اتفاق می‌افتد. از سوی دیگر، افزایش ناپایداری‌های کثشفشاری در فصل زمستان سبب افزایش فراوانی تاشدگی‌های متوسط و عمیق نسبت به سایر فصل‌ها می‌شود.

واژه‌های کلیدی: جنوب‌غرب آسیا، تاشدگی وردایست، تاوایی پتانسیلی، موسمی، ناپایداری کثشفشار، دمای بالقوه.

Study of tropopause folding frequency over Southwest Asia using ERA-Interim data during 2011-2015

Reza Borhani¹, Farhang Ahmadi-Givi² and Sarmad Ghader²

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

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

Abstract

This research is aimed to study the distribution of tropopause folding frequency and its seasonal changes over Southwest Asia, for a 5-year period from 2011 up to 2015. Identification of tropopause folding is based on the algorithm developed by Škerlak et al. (2014) using pseudo soundings in each of the grid points. Since tropopause folding occurs mainly in the area with strong horizontal temperature gradient and vertical wind shear, tropopause folding in Southwest Asia forms near the subtropical jet stream. In the summer season, as the monsoon anticyclone is formed over the subtropical region of the Indian Ocean, the folding frequency increases substantially. Two regions with the maximum value of the folding frequency are seen over Iran-Afghanistan and the eastern of the Mediterranean Sea during the summer. Also, the value of folding frequency, especially the medium and deep types, is increased remarkably in the winter season. This can be attributed to baroclinic instability event, because both the number and intensity of the event is increased in the winter.

Keywords: Southwest of Asia, tropopause folding, potential vorticity, monsoon, baroclinic instability, potential temperature.

۱ مقدمه

تاوایی پتانسیلی در مختصات هم آنتروپی به صورت زیر تعریف می شود (کارلسون، ۱۹۹۱):

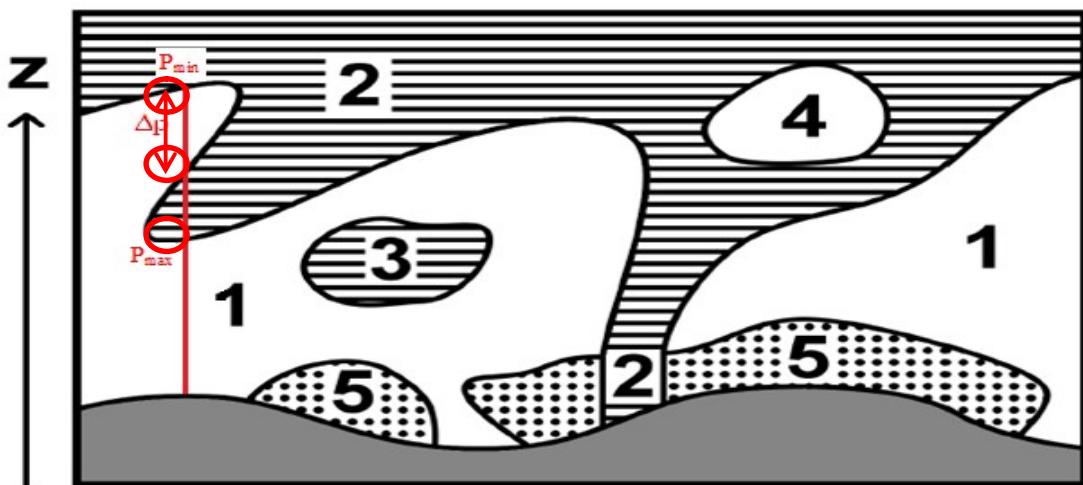
$$(1) \quad P_\theta = -g(\zeta_\theta + f)\left(\frac{\partial p}{\partial \theta}\right)^{-1}$$

که ζ_θ تاوایی نسبی در یک سطح هم آنتروپی، f پارامتر کوریولیس، g شتاب گرانی و θ دمای بالقوه است. وردایست دینامیکی به عنوان سطحی با مقدار تاوایی پتانسیلی ثابت تعریف می شود. این مقدار ثابت در مطالعات مختلف بین ۱ تا ۴ واحد تاوایی پتانسیلی انتخاب شده (هاسکیز و همکاران، ۱۹۸۵)، که یک واحد تاوایی پتانسیلی (۱) PVU برابر با $10^{-6} \text{ m}^2 \text{s}^{-1} \text{ K kg}^{-1}$ است. در پژوهش حاضر، سطح PVU ۲ به عنوان وردایست دینامیکی درنظر گرفته شده است.

تاشدگی های وردایست زبانه های نفوذی باریکی از هوای پوشن سپهری است که عمدتاً در عرض های ۲۰ تا ۴۰ درجه و در محل برخورد دو توده هوای گرم حرارتی و سرد قطبی تشکیل می شوند. بنابراین تاشدگی با توسعه بی هنجاری مثبت PV تراز های زیرین همراه است که می تواند سبب تقویت چرخدنی ای انفارجی شود (برای نمونه، ورنلی و همکاران، ۲۰۰۲). این تاشدگی ها در واقع گونه های از امواج کرفساری هستند که می توانند باعث جفت شدگی تراز های زیرین و زیرین ورد سپهر شوند و جریانات جتی را ایجاد کنند (یوسلینی و همکاران، ۲۰۰۲). در پژوهش حاضر تاشدگی وردایست دینامیکی در سال های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۵ در منطقه جنوب غرب آسیا مطالعه شده است.

۲ روش تحقیق

برای تشخیص تاشدگی وردایست، ابتدا یک شبکه منظم افقی با فاصله نقاط شبکه ای یک درجه در راستای دو محور x و y (به ترتیب مداری و نصف النهاری) درنظر می گیریم. سپس با اقتباس از روش شرلاک و همکاران (۲۰۱۴) به صورت مجازی یک نیمرخ قائم از تاوایی پتانسیلی در هر یک از نقاط شبکه زده و تاشدگی وردایست به طور هندسی از تقاطع چندباره وردایست دینامیکی با نیمرخ قائم ترسیم شده تعیین می شود. الگوریتم به کار گرفته شده یکی از پنج برچسب را مطابق شکل ۱ به هریک از نقاط شبکه اختصاص می دهد.



شکل ۱. برچسب نهادن نقاط مختلف شبکه مورد مطالعه بر حسب هوای پوشن سپهری یا ورد سپهری براساس الگوریتم طراحی شده؛ برچسب های ۱ معرف هوای ورد سپهری، ۲ هوای پوشن سپهری، ۳ هوای منزوی (isolated) پوشن سپهری یا بی هنجاری PV ناشی از چرخدنی ای، ۴ هوای منزوی ورد سپهری و ۵ بی هنجاری PV محدود به سطح هستند (شرلاک و همکاران، ۲۰۱۴).

اختلاف فشار Δp طبق روش تیرلس و همکاران (۲۰۱۴) که در جدول ۱ آمده است برای دسته‌بندی تاشدگی‌های وردایست بر مبنای گسترش قائم آنها به کار می‌رود.

جدول ۱ دسته‌بندی تاشدگی‌های وردایست بر حسب گسترش قائم آنها (تیرلس و همکاران، ۲۰۱۴).

گسترش قائم (Δp)	نوع تاشدگی
$50 \text{ hPa} \leq \Delta p < 200 \text{ hPa}$	کم‌عمق
$200 \text{ hPa} \leq \Delta p < 350 \text{ hPa}$	متوسط
$\Delta p \geq 350 \text{ hPa}$	عمیق

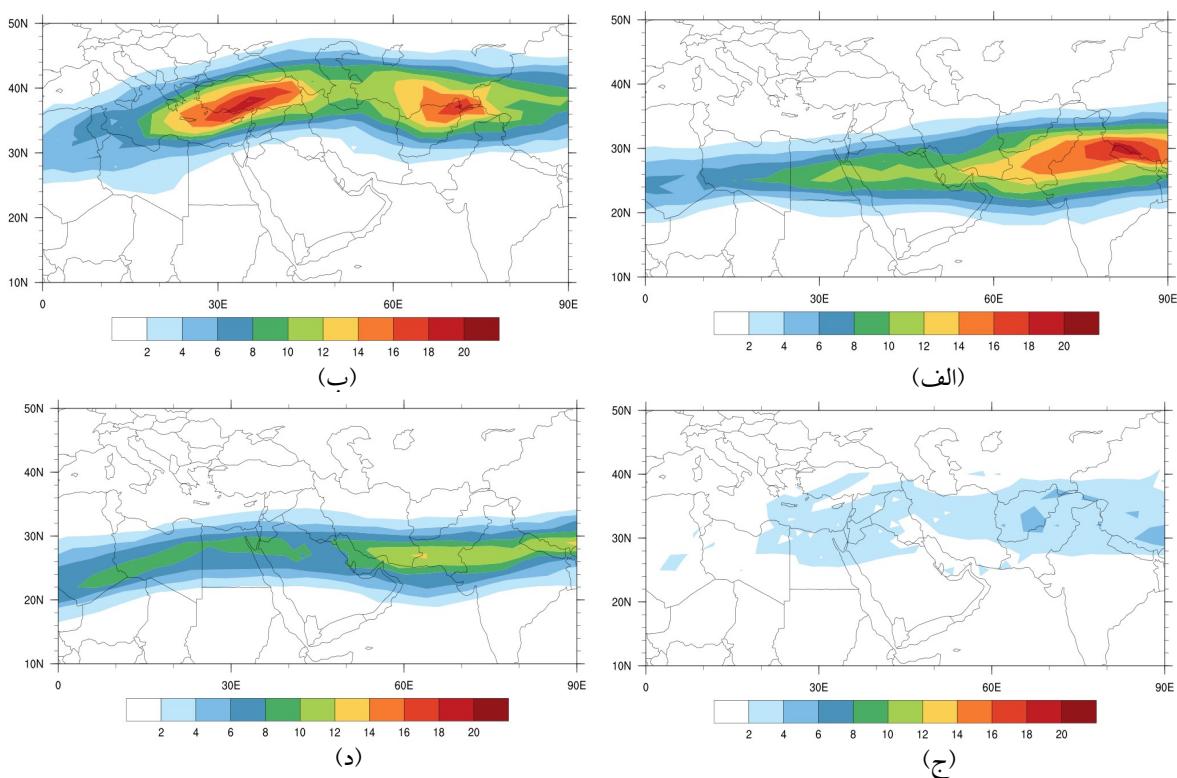
۳ داده‌ها

این مطالعه با استفاده از داده‌های بازتحلیل مرکز اروپایی پیش‌بینی میان‌مدت وضع هوا (ECMWF) انجام شده است. در اینجا داده‌های بازتحلیل میان‌بینی شده ERA-Interim مدل IFS (Cy31r2) با تفکیک افقی یک درجه و با فاصله زمانی ۶ ساعته به کار رفته است. داده‌های اولیه شامل میدان باد، دما و ارتفاع ژئوپتانسیلی در ۶۰ تراز فشاری مدل از اول ژانویه ۲۰۱۱ تا ۳۱ دسامبر ۲۰۱۵ مستقیماً از داده‌های بازتحلیل اخذ و میدان‌های ثانویه مانند تاوایی پتانسیلی (PV) و دمای بالقوه (θ) محاسبه شده است.

۴ تحلیل نتایج

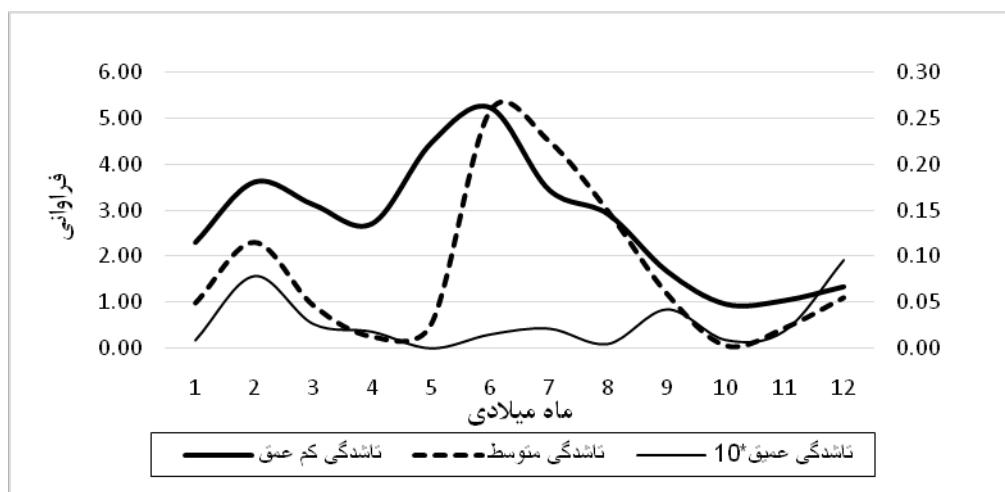
با توجه به شکل ۲ مشاهده می‌شود که فراوانی تاشدگی‌های وردایست در منطقه جنوب‌غرب آسیا بر نواری تقریباً مداری واقع در عرض‌های جغرافیایی جنوب‌حاره‌ای (۲۰ تا ۳۰ درجه شمالی) که از غرب (غرب مدیترانه و شمال الجزایر) تا شرق نقشه (شمال دریای عمان، شمال هند و نپال) را دربر گرفته است، قرار دارد. این نوار محدود به عرض‌هایی است که محل فعالیت جت جنوب‌حاره‌ای می‌باشد. در تابستان توزیع جغرافیایی فراوانی تاشدگی ضمن جابجایی شمال‌سو، تاحدودی تقارن مداری خود را از دست می‌دهد و در دو کانون که یکی در شمال افغانستان و دیگری در شرق مدیترانه قرار دارد، متمرکز می‌شود. برخلاف رویه معمول در نیمکره شمالی که در آن فراوانی تاشدگی وردایست در فصل زمستان دارای بیشترین مقدار است (شکل نشان داده نشده)، فراوانی تاشدگی وردایست در منطقه جنوب‌غرب آسیا در فصل تابستان بیشترین مقدار دارد. یکی از دلایل اصلی فیزیکی و دینامیکی توجیه کننده این رفتار، رخداد موسمی هند است که در مطالعات پیشین در این زمینه به آن اشاره شده است (به عنوان مثال رادول و همکاران، ۲۰۰۱؛ زیو و همکاران، ۲۰۰۴؛ تیرلس و همکاران، ۲۰۱۳؛ تیرلس و همکاران، ۲۰۱۴). در ماههای پایانی فصل بهار و همزمان با شکل‌گیری موسمی بر روی جنوب آسیا، ساختار گرمایشی قوی در ترازهای بالا تشکیل می‌شود که در اثر آن در سمت شمال و غرب این ساختار، که‌فشاری ترازهای بالا افزایش می‌یابد و منجر به جریانات فرونشینی در نواحی دارای شبیه تند پریندهای دمای بالقوه می‌شود. زیو و همکاران (۲۰۰۴) نشان دادند که گردش جوی غالب در این منطقه شامل جریانات فرونشینی بزرگ مقیاس و جریانات شمالی در ترازهای میانی و زیرین وردسپهر است، به‌ویژه در شرق مدیترانه، ایران و افغانستان در اثر کوهساری پیچیده این جریان تقویت می‌شود (تیرلس و همکاران، ۲۰۱۴).

در فصل پاییز و هم‌زمان با تضعیف اثر موسمی، فراوانی تاشدگی وردایست در منطقه جنوب‌غرب آسیا به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد، به‌ویژه میزان کاهش تاشدگی‌های کم‌عمق و متوسط در این فصل قابل ملاحظه است. نکته قابل ذکر دیگر افزایش سه تا چهار برابری سهم تاشدگی‌های عمیق در فصل زمستان نسبت به سایر فصول سال است (شکل نشان داده نشده است). افزایش فراوانی تاشدگی‌های عمیق در این فصل می‌تواند ناشی از تقویت جریان جت غربی، جبهه‌زایی ترازهای بالا، افزایش دامنه امواج راسی و در نهایت شکست آنها و در نتیجه عمیق‌تر شدن تاشدگی‌های وردایست باشد (هاسکینز و همکاران، ۱۹۸۵).



شکل ۲. توزیع میانگین فصلی تاشدگی وردایست در منطقه جنوب غرب آسیا در سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۵؛ (الف) بهار، (ب) پاییز و (ج) زمستان.

شکل ۳ میانگین ماهانه درصد فراوانی انواع تاشدگی وردایست (کم عمق، متوسط و عمیق) در سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۱۵ در منطقه جنوب غرب آسیا (میانگین‌گیری شده بر روی عرض‌های جغرافیایی ۱۵ تا ۵۰ درجه شمالی و طول‌های جغرافیایی ۳۰ تا ۷۵ درجه شرقی) را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، میزان تاشدگی‌های کم عمق و متوسط بهتر ترتیب در ماه‌های مه و آوریل دارای مقدار بیشینه است و کمینه فراوانی آن‌ها در اکتبر رخ می‌دهد. علاوه بر این یک بیشینه نسبی تاشدگی وردایست در فوریه مشاهده می‌شود و در اواخر فصل زمستان و اوایل فصل بهار (در ماه‌های مارس و آوریل)، از مقدار فراوانی‌ها کاسته می‌شود.



شکل ۳. میانگین ماهانه فراوانی انواع تاشدگی‌های وردایست در منطقه جنوب غرب آسیا در سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۱۵. بهمنظور سهولت در مقایسه نتایج، فراوانی تاشدگی عمیق در ۱۰ ضرب شده است. فراوانی تاشدگی‌های متوسط و عمیق در محور قائم سمت راست آمده است.

با شروع فصل تابستان و در ماه ژوئن، فراوانی تاشدگی کم‌عمق به بیشینه خود می‌رسد، ولی روند افزایشی تاشدگی‌های متوسط تا زوالی ادامه دارد. همان‌طور که در شکل ملاحظه می‌شود، در این فصل علی‌رغم برخورداری از مقادیر بالای فراوانی، عمدۀ تاشدگی‌ها از نوع کم‌عمق و متوسط است و سهم تاشدگی‌های عمیق به میزان زیادی کاهش می‌یابد. در فصل پاییز نیز روند کاهش فراوانی تاشدگی ادامه داشته و در ماه اکتبر به کمترین مقدار می‌رسد. در ماه نوامبر و همچنین در ادامه با آغاز فصل زمستان، فراوانی تاشدگی و ردایست مجددًا افزایش می‌یابد. نکته قابل توجه دیگر آن که بهتر ترتیب در دو ماه دسامبر و فوریه بیشترین میزان فراوانی تاشدگی‌های عمیق در منطقه مورد مطالعه اتفاق می‌افتد.

۵ نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این مطالعه حاکی از افزایش میانگین فراوانی تاشدگی و ردایست در منطقه جنوب غرب آسیا نسبت به میانگین نیمکره شمالی است. میزان فراوانی تاشدگی وردایست در فصل تابستان این منطقه از فصل زمستان بیشتر است که دلیل آن می‌تواند مربوط به اثرات واداشتی گردش موسمی شرق آسیا باشد. در حالی که موسمی گردش کلی تابستانه در این منطقه را کنترل می‌کند، تغییرات کوتاه‌مدت‌تر می‌تواند ناشی از تاثیر دینامیک عرض‌های میانی باشد. در فصل پاییز، به علت تضعیف اثرات موسمی از یک سو و عدم وجود ناپایداری‌های کژفشار قوی در منطقه از سوی دیگر، فراوانی تاشدگی وردایست به کمترین حد خود می‌رسد. از دیگر نتایج آن که در فصل زمستان فراوانی تاشدگی‌های متوسط و عمیق نسبت به سایر فصل‌ها افزایش می‌یابد که علت آن را می‌توان به رخداد ناپایداری‌های کژفشار قوی و متعدد در منطقه منتب کرد.

منابع

- Carlson, T. N., 1991, Mid-Latitude Weather Systems. Academic Press, 525 pp.
- Hoskins, B. J., McIntyre, M. E., and Robertson, A. W., 1985, On the use and significance of isentropic potential vorticity maps. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, **111**, 877–946.
- Rodwell, M. J., and Hoskins, B. J., 2001, Subtropical anticyclones and summer monsoons. *J. Climatol.*, **14**, 3192–3211.
- Škerlak, B., Sprenger, M., and Wernli, H., 2014, A global climatology of stratosphere–troposphere exchange using the ERA-Interim data set from 1979 to 2011. *Atmos. Chem. Phys.*, **14**, 913–937.
- Tyrlis, E., Lelieveld, J., and Steil, B., 2013, The summer circulation over the eastern Mediterranean and the Middle East: Influence of the South Asian Monsoon. *Clim. Dyn.*, **40**, 1103–1123.
- Tyrlis, E., Škerlak, B., Sprenger, M., Wernli, H., Zittis, G., and Lelieveld, J., 2014, On the linkage between the Asian summer monsoon and tropopause fold activity over the eastern Mediterranean and the Middle East. *J. Geophys. Res.*, **119**, 3202–3221.
- Uccellini, L. W., Keyser, D., Brill, K. F., and Wash, C. H., 1985, The President's day cyclone of 18–19 February 1976, Influence of upstream trough amplification and associated tropopause folding on rapid cyclogenesis. *Mon. Wea. Rev.*, **113**, 962–988.
- Wernli, H., and Bourqui, M., 2002, A Lagrangian “one-year climatology” of (deep) cross-tropopause exchange in the extratropical Northern Hemisphere. *J. Geophys. Res.*, **107**, (D2), 4021.
- Ziv, B., Saaroni, H., and Alpert, P., 2004, The factors governing the summer regime of the eastern Mediterranean. *Int. J. Climatol.*, **24**, 1859–1871.