

## مطالعه اقلیم‌شناختی ارتباط بین شاخص‌های پایداری جو و انسو در غرب آسیا

نیما باغستانی<sup>۱</sup>، محمد میرزائی<sup>۲</sup>، علیرضا محب‌الحجه<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد هواشناسی، گروه فیزیک فضا، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، nima.baghestani@ut.ac.ir

<sup>۲</sup> استادیار، گروه فیزیک فضا، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، mirzaeim@ut.ac.ir

<sup>۳</sup> استاد، گروه فیزیک فضا، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، amoheb@ut.ac.ir

### چکیده

در این پژوهش با هدف بررسی شرایط ناپایداری جو، شاخص‌های ترمودینامیکی از جمله انرژی پتانسیل دسترس‌پذیر همرفتی، مجموع مجموعه‌ها و شاخص‌های دینامیکی شامل بیشینه آهنگ رشد ایدی و چینش باد کپهای با استفاده از داده‌های JRA-55 با تفکیک ۱/۲۵ درجه در دو راستای مداری و نصف‌النهاری طی دوره مطالعاتی ۱۹۵۸ تا ۲۰۲۱ محاسبه می‌شود. سپس توزیع شاخص‌های پایداری جو طی فازهای ال‌نینو نوسان جنوبی (انسو) در تابستان بر روی منطقه مورد مطالعه از نظر اقلیم‌شناختی بررسی شده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که شرایط ناپایداری جو در غرب آسیا و ایران طی ال‌نینو نسبت به لاتینا با افزایش مقادیر رطوبت در تراز میانی و ردسپهر و با تاثیر از الگوی توزیع دما، افزایش می‌یابد.

**واژه‌های کلیدی:** ناپایداری جو، انرژی پتانسیل دسترس‌پذیر همرفتی، شاخص مجموع مجموعه‌ها، آهنگ رشد ایدی، چینش باد کپهای، انسو

## A Climatology of the relationship between stability indices and ENSO over West Asia

Nima baghestani<sup>1</sup>, Mohammad Mirzaei<sup>2</sup>, Ali R. Mohebalhojeh<sup>3</sup>

<sup>1</sup> M.Sc. student of Meteorology, Department of Space Physics, Institute of Geophysics, University of Tehran, nima.baghestani@ut.ac.ir

<sup>2</sup> Assistant Professor, Department of Space Physics, Institute of Geophysics, University of Tehran, mirzaeim@ut.ac.ir

<sup>3</sup> Professor, Department of Space Physics, Institute of Geophysics, University of Tehran, amoheb@ut.ac.ir

### Abstract

In this study, in order to investigate atmospheric instability conditions, thermodynamic indices such as Convective Available Potential Energy, Total Totals Index and dynamic indices including Eady growth rate and bulk wind shear are calculated using JRA-55 data with 1.25° separation in zonal and meridional directions during the period 1958 to 2021. Then, the distribution of atmospheric stability indices during El Niño Southern Oscillation phases is climatologically investigated over West Asia and Iran. The results show that atmospheric instability conditions in West Asia and Iran increase during El Niño compared to La Niña due to increase in mid-tropospheric humidity and the changes in the temperature structure.

**Keywords:** atmospheric instability, Convective Available Potential Energy, Total Totals Index, Eady Growth Rate, Bulk Wind Shear, El Niño Southern Oscillation

### ۱ مقدمه

پیامدهای مخرب حاصل از وقوع توفان‌های تندی و یا بی‌هنجاری‌های شدید متغیرهای هواشناختی بر فعالیت‌های امروزی در نتیجه تشدید تغییرات اقلیمی در سال‌های گذشته بوده است. پیش‌بینی این دست پدیده‌ها و پیشگیری از نتایج منفی آنها، نیازمند شناخت دقیق و ارزیابی آماری شاخص‌های دینامیکی و ترمودینامیکی موثر بر ناپایداری‌های خردمقیاس و میان‌مقیاس است. در این مطالعه به ارتباط شاخص‌های دینامیکی شامل آهنگ رشد ایدی و چینش باد کپهای و شاخص‌های ترمودینامیکی شامل انرژی پتانسیل دسترس‌پذیر همرفتی (CAPE)، مجموع مجموعه‌ها (TTI)،

شاخص کا (KI) و شاخص بالابری (LI) طی فازهای مختلف ال نینو نوسان جنوبی (ENSO) پرداخته شده است که در این متن برای اختصار تنها به شاخص‌های CAPE و TTI اشاره شده است.

## ۲ روش تحقیق

در این پژوهش، شاخص‌های پایداری جو با استفاده از داده‌های JRA-55 با تفکیک ۱/۲۵ درجه در دو راستای مداری و نصف‌النهاری طی دوره مطالعاتی ۱۹۵۸ تا ۲۰۲۱ محاسبه شده‌اند. برای این منظور، از داده‌های میدان‌های دما، رطوبت نسبی و باد در ۲۷ تراز فشاری از ۱۰۰۰ hPa تا ۱۰۰ hPa به صورت روزانه در UTC ۰۰ طی دوره مطالعاتی استفاده شده است. شاخص CAPE با استفاده از روش بریان و فریتش (۲۰۰۴) و با کمک رابطه زیر محاسبه می‌شود (داسول و راسموسن، ۱۹۹۴):

$$CAPE = R_d \int_{P_{LFC}}^{P_{EL}} (T_{v_p} - T_{v_e}) d \ln p \quad (1)$$

که در آن  $T_{v_e}$  دمای مجازی محیط،  $T_{v_p}$  دمای مجازی بسته هوا و  $R_d = 287.04 \text{ J K}^{-1} \text{ kg}^{-1}$  ثابت گاز برای هوای خشک،  $p$  فشار، LFC تراز همرفت آزاد و LNB تراز شناوری خنثی است. TTI یکی از شاخص‌های سنجش وضع هوای توفانی است که حاصل جمع اختلاف دمای دو تراز ۸۵۰ hPa و ۵۰۰ hPa معروف به مجموع قائم و اختلاف دمای نقطه شبنم دو تراز ۸۵۰ hPa و ۵۰۰ hPa معروف به مجموع مقطع است (میلر، ۱۹۷۲) و به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$TT = VT + CT = (T_{850} - T_{500}) + (T_{d850} - T_{500}) = T_{850} + T_{d850} - 2T_{500} \quad (2)$$

که در آن  $T$  دمای محیط و  $T_d$  دمای نقطه شبنم بر حسب درجه سلسیوس است. برای برآورد کژفشاری جو که از چینش قائم میدان‌های باد و پایداری ایستایی بین دو سطح فشاری به دست می‌آید، از شاخص آهنگ رشد ایدی در رابطه زیر استفاده می‌شود (پاشیورک و همکاران، ۲۰۰۲):

$$\sigma_E = 0.31 \frac{f_0}{N} \left( \frac{\partial V}{\partial Z} \right) \quad (3)$$

که در آن  $\partial V / \partial Z$  چینش قائم سرعت باد،  $f_0$  پارامتر کوریولیس و  $N$  بسامد شناوری برانت-وایسالا است. همچنین برای فهم درستی از رفتار سهم چینش قائم باد در آهنگ رشد، چینش باد کپهای با استفاده از رابطه (۴) محاسبه می‌شود. فیروزآبادی و همکاران (۲۰۱۹) چینش باد کپهای را از حاصل بزرگی اختلاف سرعت باد افقی دو تراز ۷۰۰ hPa و ۵۰۰ hPa تعیین کردند:

$$|\vec{V}_{500} - \vec{V}_{700}| \quad (4)$$

در این پژوهش ابتدا ماه‌های النینو و لانینا نوسان ENSO با استفاده از شاخص اقیانوسی نینو (Oceanic Nino Index; ONI) برای دوره مطالعاتی طبقه‌بندی شدند. سپس، میانگین شاخص‌های پایداری جو به طور جداگانه برای ماه‌های النینو و لانینا محاسبه شد. در نهایت، اختلاف میانگین شاخص‌های پایداری جو برای دو فاز النینو و لانینا تعیین شد.

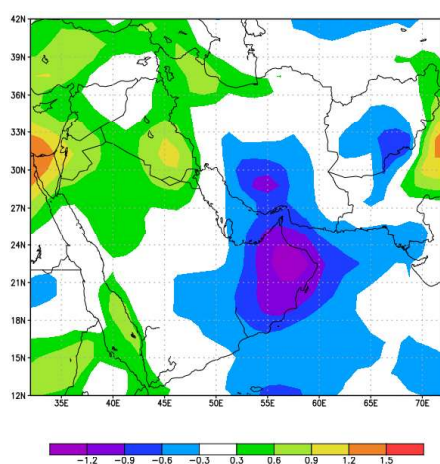
## ۳ نتیجه‌گیری

توزیع اختلاف میانگین ال نینو و لانینا در تابستان برای شاخص‌های CAPE، TTI، آهنگ رشد ایدی و چینش باد کپهای در شکل ۱ نشان داده شده است. توزیع مقادیر با تفاضل مثبت (منفی) نشان‌دهنده افزایش (کاهش) این شاخص‌ها طی ال نینو نسبت به لانینا در این مناطق است.

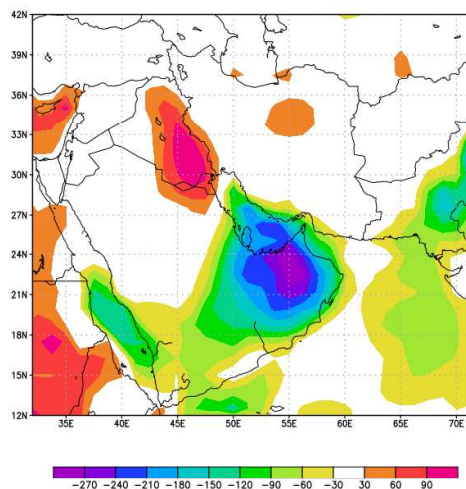
شکل ۱-الف نشان می‌دهد که بیشترین مقادیر توزیع CAPE با تفاضل مثبت در نواحی پستی مانند جلگه فرات و دریای مدیترانه که دما و رطوبت کافی وجود دارد، مشاهده می‌شود. همان‌طور که مورگاول و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند شاخص CAPE تحت تاثیر عوامل مختلفی از جمله رطوبت و ردسپهر زیرین، دمای و ردسپهر زبرین و ارتفاعات

منطقه است. کاهش تفاضل توزیع CAPE در سواحل جنوبی دریای سرخ تا سواحل خلیج فارس، دریای عدن و اقیانوس هند در شکل ۱-الف را می‌توان به افزایش دمای وردسپهر زبرین و کاهش رطوبت وردسپهر زیرین طی ال‌نینو نسبت به لائینا در این نواحی نسبت داد.

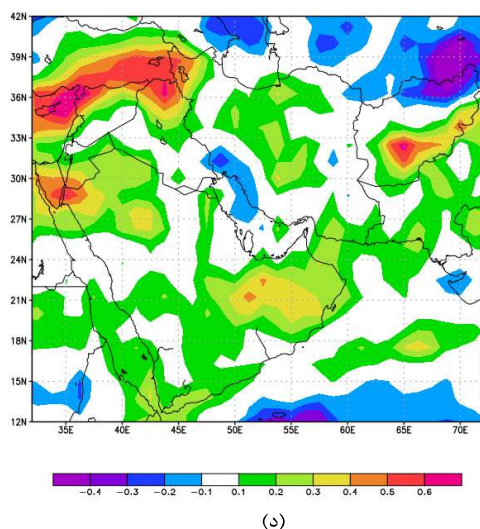
شاخص TTI در مطالعات زیادی از جمله خل و بیسواس (۲۰۰۷) برای تفکیک فعالیت‌های تندری از غیرتندری به کار رفته است. بنابراین مقادیر تفاضل مثبت این شاخص (شکل ۱-ب) تحت تاثیر افزایش رطوبت تراز زیرین وردسپهر طی ال‌نینو نسبت به لائینا مشابه با الگوی تفاضل مثبت شاخص CAPE مشاهده می‌شود. توزیع اختلاف میانگین این شاخص نشان می‌دهد که الگوی رطوبت در نواحی جلگه فرات، سواحل دریای خزر، سواحل دریای سرخ و مدیترانه طی ال‌نینو نسبت به لائینا، بیشترین تاثیر را با وجود گستردگی بیشتر ITCZ در فصل تابستان بر روی شبه قاره هند پذیرفته است. بیشینه آهنگ رشد ایدی که معیاری برای اندازه‌گیری ناپایداری کُفشار است، به عواملی از جمله شیو نصف‌النهاری دما و چینش قائم باد وابسته است (ماکادو و همکاران، ۲۰۱۲). مقادیر تفاضل مثبت بیشینه آهنگ رشد ایدی در شکل ۱-ج در مقایسه با شکل ۱-د که مقادیر تفاضل چینش کپهای باد را نشان می‌دهد، مطابقت دارد. این تطابق را می‌توان در نواحی با بیشترین مقادیر تفاضل مثبت آهنگ رشد ایدی شامل دریای مدیترانه تا نواحی شمال غربی ایران، فلات مرکزی ایران و همچنین از افغانستان تا نیمه جنوبی شبه جزیره عربستان که با بیشترین تفاضل چینش باد کپهای دیده می‌شود، مقایسه کرد. همچنین در شکل ۱-د مقادیر تفاضل مثبت چینش کپهای باد در عرض‌های میانی را می‌توان به تشدید جت جنب‌حاره طی ال‌نینو نسبت به لائینا نسبت داد که سبب افزایش تفاضل آهنگ رشد ایدی و در نتیجه افزایش ناپایداری کُفشار در این نواحی شده است.



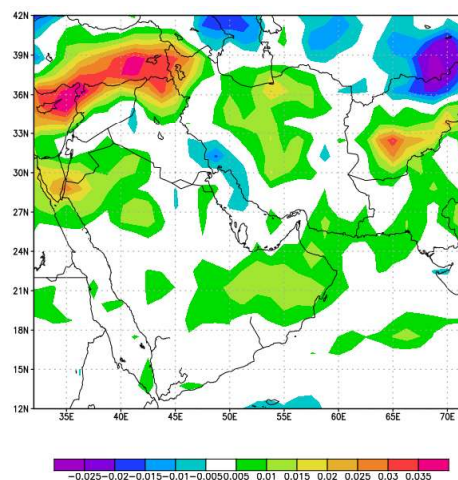
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۱. نقشه ترکیبی توزیع اختلاف میانگین ال نینو و لائینا برای دورپیوند ENSO در تابستان طی دوره مطالعاتی برای شاخص‌های (الف) CAPE (نواحی سایه-روشن رنگی با یکای  $J/kg$ )، (ب) TTI (نواحی سایه-روشن رنگی با یکای  $^{\circ}C$ )، (ج) آهنگ رشد ابدی (نواحی سایه-روشن رنگی با یکای  $day^{-1}$ ) و (د) چینش باد کپهای (نواحی سایه-روشن رنگی با یکای  $m/s$ ).

به‌طور کلی بررسی الگوی شاخص‌های پایداری جو شامل شاخص‌های ترمودینامیکی و دینامیکی طی دو فاز لائینا و النینو در منطقه غرب آسیا و ایران در دوره مطالعاتی و طی تابستان نشان داد شرایط ناپایداری جوی طی ال نینو نسبت به لائینا با افزایش مقادیر رطوبت در تراز میانی و ردسپهر و با تاثیر از الگوی توزیع دما، افزایش می‌یابد.

## منابع

- Bryan, G. H., and Fritsch, J. M., 2004, A reevaluation of ice-liquid water potential temperature: Mon. Wea. Rev., **132**, 2421-2431.
- Dasari, H. P., Langodan, S., Viswanadhapalli, Y., Vadlamudi, B. R., Papadopoulos, V. P., and Hoteit, I., 2018, ENSO influence on the interannual variability of the Red Sea convergence zone and associated rainfall: Int. J. Climatol., **38**, 761-775.
- Doswell, C. A., and Rasmussen, E. N., 1994, The effect of neglecting the virtual temperature correction on CAPE calculations: Wea. Forecasting, **9**, 625-629.
- Firouzabadi, M., Mirzaei, M., and Mohebalhojeh, A. R., 2019, The climatology of severe convective storms in Tehran: Atmos Res., **221**, 34-45.
- Hoskins, B. J. and Valdes, P. J., 1990, On the existence of storm tracks: J. Atmos. Sci., **47**, 1854-1864.
- Khole, M., and Biswas, H. R., 2007, Role of total-totals stability index in forecasting of thunderstorm/non-thunderstorm days over Kolkata during pre-monsoon season: Mausam, **58**, 369-374.
- Machado, J. P., Justino F., and Pezzi, L. P., 2012, Changes in the global heat transport and eddy-mean flow interaction associated with weaker thermohaline circulation: Int. J. Climatol., **32**, 2255-2270.
- Miller, R. C., 1972, Notes on analysis and severe storm forecasting procedures of the Air Force Global Weather Central: Tech. Rept. 200(R). Headquarters, Air Weather Service, USAF, 190 pp.
- Murugavel, P., Pawar, S. D., and Gopalakrishnan, V., 2012, Trends of convective available potential energy over the Indian region and its effect on rainfall: Int. J. Climatol., **32**, 1362-1372.