

## بررسی اقلیم‌شناختی چرخندهای مناطق شمال شرق آفریقا و دریای سرخ

زکیه علی‌زاده<sup>۱</sup>، علیرضا محب‌الحجه<sup>۲</sup>، فرهنگ احمدی‌گیوی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانش‌آموخته دکتری هواشناسی، گروه فیزیک فضا، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران (zaki\_alizadeh@ut.ac.ir)

<sup>۲</sup>استاد گروه فیزیک فضا، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران (amoheb@ut.ac.ir)

<sup>۳</sup>دانشیار گروه فیزیک فضا، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران (ahmadig@ut.ac.ir)

### چکیده

مناطق شمال شرق آفریقا و دریای سرخ به علت مجاورت با منطقه حاره، به‌طور کلی در تمامی فصول سال مستعد تشکیل سامانه کم‌فشار یا چرخند هستند. هدف پژوهش حاضر شناسایی و ردیابی این چرخندها در فصل زمستان دوره بلندمدت ۱۹۸۰-۲۰۱۷ با استفاده از طرحواره ردیابی چرخند ماری و سیمونز (۱۹۹۱a,b) است. نتایج حاکی از آن است که چرخندهای این مناطق در دو مکان، یکی بر روی سودان مرکزی و دیگری در شمال شرق دریای سرخ، از شدت چرخندزایی و چرخندزدایی بیشتری برخوردار هستند و به دلیل موانع اطراف فقط در راستای محور ناوه دریای سرخ (RST)، تکوین و توسعه می‌یابند و میرا می‌شوند.

**واژه‌های کلیدی:** شمال شرق آفریقا، شناسایی و ردیابی چرخند، ناوه دریای سرخ

### A climatological investigation of cyclones in the Northeast Africa and the Red Sea regions

Z. Alizadeh<sup>1</sup>, A. Mohebalhojeh<sup>2</sup>, F. Ahmadi-Givi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ph.D. Graduate of Meteorology, Space Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

<sup>2</sup> Professor, Space Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

<sup>3</sup>Associate Professor, Space Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

### Abstract

Due to their proximity to the tropics, the northeast region of Africa and the Red Sea are generally prone to the formation of lows or cyclones in all seasons. The present study aims to identify and track these cyclones in the winter season during the period of 1980–2017. In this study, using the cyclone tracking scheme of Murry and Simmonds (1991a,b), the cyclones of Northeast Africa and the Red Sea regions have been identified and tracked. Results show that these cyclones have higher cyclogenesis and cyclolysis intensities in two places, one over Central Sudan and the other over the northeast of the Red Sea. Further, due to the surrounding obstacles, they only develop and die along the axis of the Red Sea trough (RST).

**Keywords:** Northeast Africa, identification and tracking of cyclone, Red Sea trough

### ۱ مقدمه

دلایل مختلفی برای شکل‌گیری چرخندها و کم‌فشارهای مناطق شمال شرق آفریقا و دریای سرخ به عنوان منشأ ناوه دریای سرخ وجود دارد. برخی مطالعات این نوع کم‌فشارها را بخشی از ناحیه کمربند همگرایی درون حاره‌ای نام برده‌اند (سلات<sup>۱</sup>، ۱۹۵۰). علاوه بر این، کوهساری مناطق اطراف و واداشتهای گرمایی نیز به عنوان عوامل مؤثر در تشکیل این کم‌فشارها ذکر شده است (اتزیگسن<sup>۲</sup>، ۱۹۹۵). از دیدگاه دیگر، تشکیل سامانه کم‌فشار سطح به وجود دو نوع جریان همگرا در منطقه، یکی در فلات اتیوپی و دیگری در شکاف درون دریای سرخ نسبت داده شده است (کریچاک<sup>۴</sup> و همکاران، ۱۹۹۷). هدف پژوهش حاضر شناخت اقلیمی از فراوانی و چگونگی مسیر چرخندهای مناطق سودان در شمال شرق آفریقا و دریای سرخ است.

<sup>2</sup> Solot

<sup>۳</sup> Itzigsohn

<sup>4</sup> Krichak

## ۲ داده‌ها و روش تحقیق

برای بررسی اقلیم‌شناختی چرخندهای سطحی در منطقه مذکور، از نرم‌افزار ردیابی چرخند (CTS<sup>5</sup>) ارائه شده توسط سیمونز<sup>۶</sup> و همکاران در دهه ۱۹۹۰، استفاده شده است. بدین ترتیب فراوانی رخداد چرخند در زمستان (دسامبر، ژانویه و فوریه) سال‌های ۲۰۱۷-۱۹۸۰ شناسایی و سپس ردیابی شده‌اند.

برای انجام این کار، از داده‌های فشار تراز دریا و ارتفاع ژئوپتانسیلی سطح مربوط به داده‌های بازتحلیل ERA-Interim با تفکیک مکانی ۰/۷۵ درجه در راستاهای طول و عرض جغرافیایی و گام زمانی ۶ ساعت در محدوده ۰ تا ۴۵ درجه شمالی و از ۱۰ تا ۶۰ درجه شرقی، استفاده شده است. در ادامه، مراحل شناسایی و ردیابی چرخندها به‌طور خلاصه بیان می‌شود. ابتدا لاپلاسی<sup>۷</sup> فشار بر روی تمام نقاط شبکه و نقاط درونیابی شده محاسبه می‌شود. سپس نقطه‌ای که در بین ۸ همسایه مجاور خود دارای بیشینه لاپلاسی فشار باشد، شناسایی می‌شود. به دنبال آن، به دور مرکز نقطه مورد نظر تا جایی که مقدار لاپلاسی فشار به صفر برسد، یک منحنی بسته رسم می‌شود. در این مرحله، کمینه فشار در بین نقاط منحنی مشخص و همچنین تعیین می‌شود که آیا پربند بسته‌ای در اطراف کمینه فشار وجود دارد یا خیر. براین اساس که یک نقطه در بین ۸ نقطه مجاور خود دارای کمترین میزان فشار باشد، این مراکز به چرخندهای باز و بسته طبقه‌بندی می‌شوند. آخرین مرحله مربوط به حذف چرخندهای مهاجر است (ماری و سیمونز، ۱۹۹۱a). بعد از شناسایی چرخندها، نوبت به ردیابی مسیر حرکت آنها می‌رسد. سیمونز و ماری<sup>۸</sup> (۱۹۹۹) حرکت بعدی چرخند را براساس بیشینه احتمالاتی که ممکن است رخ دهد محاسبه کرده‌اند. برای رعایت اختصار، از ذکر روابط ریاضی صرف نظر شده است.

## ۳ بحث و نتایج

### الف) وضعیت اقلیم‌شناختی مناطق شمال شرق آفریقا و دریای سرخ

قبل از بررسی چرخندهای شمال شرق آفریقا و دریای سرخ، لازم دانسته شد ابتدا برای کسب شناخت کلی از وضعیت مناطق مذکور، میانگین اقلیم‌شناختی چند کمیت مهم در این مناطق مورد بررسی قرار گیرد. شکل ۱ مربوط به میانگین اقلیمی چند کمیت هواشناختی شامل فشار تراز دریا، ارتفاع ژئوپتانسیلی و میدان بردار باد در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال برای دوره اقلیمی ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۷ است. با توجه به شکل، ناوه عمیقی با کمینه فشار مرکزی حدود ۱۰۰۶ هکتوپاسکال، روی سودان مرکزی در محدوده ۱۵ درجه شمالی و ۳۵ درجه شرقی شکل گرفته است. این ناوه به نام "ناوه دریای سرخ" یا "RST"<sup>۹</sup> مشهور است (دوریس و همکاران، ۲۰۱۳). نکته قابل ذکر آن است که RST در وضعیت میانگین زمستانی توسط دو مرکز پرفشار قوی، یکی واچرخند عربی واقع بر روی جنوب عربستان از سوی شرق و دیگری پرفشار جنوب‌حاره‌ای آزورز بر روی شمال شرق آفریقا از سوی غرب احاطه شده است. همچنین RST با کوهساری محلی، کوه‌های عسیر و فلات اتیوپی به ترتیب واقع در شرق و جنوب غرب دریای سرخ و واداشتهای گرمایی همراه است که کوهساری نه تنها مانع عبور واچرخند عربی به سمت دریای سرخ می‌شود، بلکه سبب صعود دینامیکی هوای مرطوبی است که از سمت دریای عرب وارد دریای سرخ می‌شود. بنابراین با توجه به موقعیت پرفشارها و چرخش ساعتگرد بردارهای باد در غرب و شرق دریای سرخ و همچنین جریان باد مداری (غربی) در شمال دریای سرخ، می‌توان دریافت که کم‌فشار سودان در سودان مرکزی شکل می‌گیرد و ناوه‌ای از آن در محل جابه‌جایی و تضعیف بردارهای باد روی دریای سرخ تا شمال شرق دریای سرخ کشیده می‌شود. محور جنوب‌غربی-شمال شرقی ناوه در شکل ۱ با خط مورب سبز نشان داده شده است.

### ب) شناسایی و ردیابی چرخندها

در ادامه، فراوانی چرخندهای باز و بسته قوی با طول عمر بیش از یک روز، برای محدوده شمال شرق آفریقا و دریای

<sup>5</sup> Cyclone Tracking Scheme/Software

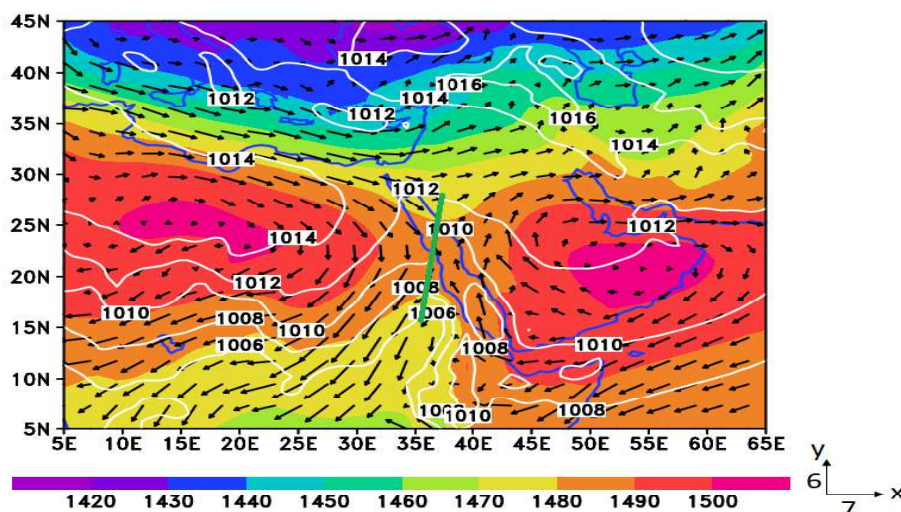
<sup>6</sup> Simmonds

<sup>7</sup> Laplacian

<sup>8</sup> Murry

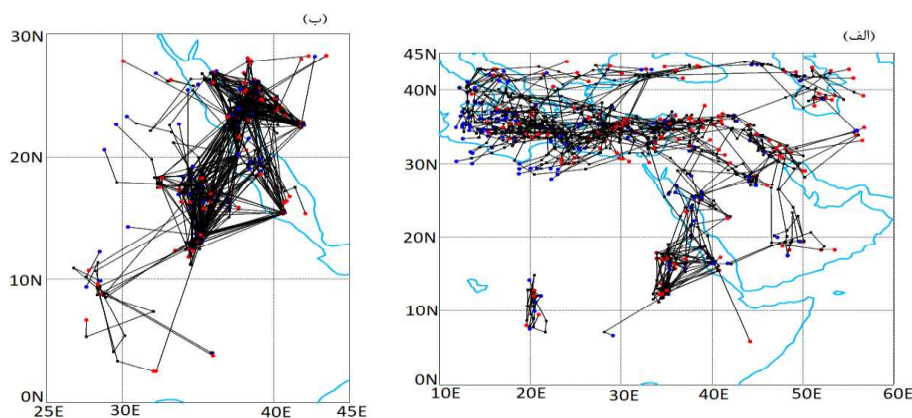
<sup>9</sup> Red Sea trough

سرخ، از ۲۵ تا ۴۵ درجه شرقی و از ۰ تا ۳۰ درجه شمالی برای زمستان (دسامبر، ژانویه و فوریه) سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۷ با استفاده از روش CTS محاسبه شده است. در مجموع ۳۳۲ چرخند در فصل زمستان تمام سال‌های مذکور در منطقه مورد مطالعه شناسایی شد. بیشترین فراوانی چرخند مربوط به ماه دسامبر با ۴۶٪ و بعد فوریه تقریباً با ۲۷٪ است و در نهایت ماه ژانویه کمترین مقدار تقریباً برابر با ۲۶٪ را به خود اختصاص داده است (شکل نشان داده نشده است). حال به ارائه نتایج حاصل از ردیابی چرخندهای شناسایی شده مرحله قبل پرداخته می‌شود. اما قبل از آن، ابتدا محدوده بزرگ‌تری در نظر گرفته می‌شود تا نمایی کلی از میانگین ردیابی چرخندهای مناطق شمال شرق آفریقا، دریای سرخ، دریای مدیترانه و از شرق تا بخش‌های شرقی و مرکزی ایران و از جنوب تا استوا را نشان دهد (شکل ۲-الف). در واقع با انتخاب محدوده بزرگ‌تر، علاوه بر اینکه محدوده وسیع‌تر شکل‌گیری، مسیر حرکت و میرایی چرخندهای منطقه سودان مشخص می‌شود، بلکه می‌توان ارتباط بین چرخندهای مناطق سودان و دریای سرخ با چرخندهای اطراف آن را نیز بررسی کرد. دایره‌های آبی‌رنگ در شکل یاد شده نشان‌دهنده مکان تشکیل چرخند، دایره‌های قرمز رنگ معرف مکانی که چرخند در آنجا میرا می‌شود، خطوط مشکی نشان‌دهنده مسیر حرکت چرخند از مرحله چرخندزایی تا چرخندزدایی و دایره‌های مشکی روی آن معرف حرکت چرخند در هر ۶ ساعت هستند. با توجه به شکل ۲-الف، می‌توان ملاحظه کرد که چرخندهای مناطق سودان و دریای سرخ با چرخندهای مدیترانه و همین‌طور چرخندهای مناطق شرقی آن از جمله ایران ارتباط چندانی ندارند و معمولاً در همان محدوده منطقه سودان و دریای سرخ تشکیل و در اطراف آن میرا می‌شوند. همچنین مطابق این شکل، اکثر چرخندهای مدیترانه غالباً در قسمت غربی دریای مدیترانه تشکیل و در بخش شرقی آن میرا می‌شوند و ارتباط مؤثری با چرخندهای شمال شرق آفریقا و دریای سرخ ندارند. بعد از ایجاد طرحواره کلی از چرخندهای هر دو منطقه فوق، برای تمرکز بر روی چرخندهای منطقه شمال شرق آفریقا و دریای سرخ، در شناسایی و ردیابی دقیق‌تر آنها از صافی کوهساری مختص آن منطقه استفاده شد. بدین ترتیب براساس ویژگی‌ها و کوهساری خاص منطقه، چرخندهای منطقه سودان و دریای سرخ (مقادیر آنها در ابتدای بخش ذکر شد) شناسایی و محدوده کلی مسیر حرکت آنها در شکل ۲-ب نشان داده شده است. در این شکل، دو مرکز بیشینه تشکیل چرخند وجود دارد که یکی در منطقه سودان مرکزی واقع است و چرخندهای آن تا شمال شرق دریای سرخ در راستای شمال شرقی-جنوب غربی گسترش دارند. این چرخندها در نهایت تا عرض ۲۵ درجه شمالی و طول ۴۳ درجه شرقی در شمال شرق دریای سرخ می‌رسند و در آن مکان بیشینه دیگری از تشکیل و میرایی چرخند دیده می‌شود. همان‌طور که در شکل ۱ نیز مشاهده می‌شود، ناوه وارونه این چرخندها (RST) در راستای مشابه گسترش یافته است.



شکل ۱ میانگین اقلیم‌شناختی کمیت‌های فشار سطح دریا (پربندهای سفید برحسب هکتوپاسکال، خط سبز معرف محور ناوه)، ارتفاع

ژئوپتانسیلی (نواحی رنگی برحسب ژئوپتانسیل متر) و بردارهای باد (برحسب متر بر ثانیه) در تراز ۸۵۰ hPa برای زمستان دوره ۲۰۱۷-۱۹۸۰.



شکل ۲ ردیابی چرخندها برای میانگین زمستان سالهای ۱۹۸۰-۲۰۱۷ و موقعیت جغرافیایی آنها برای (الف) از ۰ تا ۴۵ درجه شمالی و ۱۰ تا ۶۰ درجه شرقی و (ب) از ۰ تا ۳۰ درجه شمالی و از ۲۵ تا ۴۵ درجه شرقی (برای اطلاعات بیشتر به متن مراجعه شود).

### نتیجه گیری

در این پژوهش محل وقوع RST از لحاظ موقعیت جغرافیایی و چرخندزایی از جنبه اقلیمی در فصل زمستان دوره ۱۹۸۰-۲۰۱۷ مورد بررسی قرار گرفت تا چشم انداز دقیقی از محل تشکیل، مسیر حرکت و میرایی چرخندهای شمال شرق آفریقا و دریای سرخ حاصل شود. فراوانی این چرخندها در سودان مرکزی و شمال شرق دریای سرخ دارای بیشینه مقدار بوده و مسیر حرکت آنها متأثر از پرفشارهای عربی و آزرز، جریانهای غربی شمال دریای سرخ و همچنین پرفشار سیبری، زمانی که گسترش جنوب سو دارد، می باشد. بنابراین می توان گفت میدان باد اطراف مراکز پرفشار، محدوده مسیر حرکت چرخندهای مذکور را کنترل کرده و در مکانی بین این مراکز پرفشار واقع بر روی دریای سرخ و در راستای جنوب غربی-شمال شرقی که جریانهای باد ضعیف تر می شوند (موقعیت محور RST)، چرخندها اجازه جابه جایی داشته و مسیر حرکت آنها شکل می گیرد. به علاوه نتیجه شد که این چرخندها ارتباط مستقیمی با چرخندهای مدیترانه ندارند.

### منابع

- De Vries, A. J., E. Tyrlis, D. Edry, S. O. Krichak, B. Steil, and J. Lelieveld. (2013). Extreme precipitation events in the Middle East: Dynamics of the Active Red Sea Trough. *J. Geophys. Res.*, 118, 7087-7108.
- Itzigsohn, D. (1995). Dynamical and Climatological Analysis of Interactions between the Tropics and Mid-Latitudes in the Red Sea Area. *MSc Thesis, Department of Geophysics and /Planetary Sciences, Tel Aviv University (in Hebrew)*, 137 pp.
- Krichak, S. O, P. Alpert, and T. N. Krishnamurti. (1997). Interaction of topography and tropospheric flow – a possible generator for the Red Sea Trough? *Meteorol. Atmos. Phys.*, 63, 149-158.
- Murray, R. J., and I. Simmonds. (1991a). A numerical scheme for tracking cyclone centers from digital data. Part I: Development and operation of the scheme. *Aust. Mete. Mag.*, 39, 155-166.
- Murray, R. J., and I. Simmonds. (1991b). A numerical scheme for tracking cyclone centers from digital data. Part II: Application to January and July general circulation model simulations. *Aust. Met. Mag.*, 39, 167-180.
- Simmonds, I., and R. J. Murray. (1999). Southern extratropical cyclone behavior in ECMWF analyses during the FROST Special Observing Periods. *Weather and Forecasting*, 11, 878-891.
- Solot, S. B. (1950). General circulation over the Anglo-Egyptian Sudan and adjacent regions. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 31, 85-94.