

## شناسایی تغییرات زمانی مکانی چرخندهای شدید در مدیترانه، با یک الگوریتم عددی

تیمور علیزاده<sup>۱\*</sup>، قاسم عزیزی<sup>۲</sup>، علیرضا محب‌الحجه<sup>۳</sup> و فرامرز خوش اخلاق<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی دکتری، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، ایران

۲. دانشیار، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، ایران

۳. دانشیار، گروه فیزیک فضا، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

۴. استادیار، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، ایران

(دریافت: ۹۳/۱۲/۱۰، پذیرش نهایی: ۹۴/۱۱/۱۱)

### چکیده

در این پژوهش تغییرات زمانی مکانی چرخندهای قوی در مدیترانه با الگوریتم عددی طی دوره ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۳ بررسی شد. برای این منظور از داده‌های باز تحلیل شده ERA-Interim با تفکیک شبکه  $0.5 \times 0.5$  درجه در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال استفاده شد، گام زمانی این داده‌ها به صورت ۶ ساعته و محدوده ۱۰- تا ۶۴ درجه طول شرقی و ۲۳ تا ۵۰ عرض شمالی برای این پژوهش انتخاب شد. برای شناسایی تغییرات زمانی مکانی مراکز چرخندها، دوره تحقیقاتی به سه بازه زمانی ۱۱ ساله تبدیل شد و تغییرات این سه دوره مورد بررسی قرار گرفت. برای شناسایی چرخندها از الگوریتم کمینه ارتفاع تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال، یک نقطه در مقایسه با ۸ نقطه اطراف آن استفاده شد و برای حذف چرخندهای سطحی و حرارتی، میانگین تاوایی نسبی تراز ۸۰۰ هکتوپاسکال، نقطه کمینه تا شعاع ۳۰۰ کیلومتری آن محاسبه شد. نتیجه‌ها نشان داد که چرخندهای قوی شناسایی شده مدیترانه با این آستانه میانگین تاوایی، با حرکت به سمت شرق از شدت تاوایی‌شان کاسته می‌شود و تا مرزهای ایران از بین می‌روند و حداکثر تمرکز آنها در خاورمیانه روی مرکز کشور عراق است. بررسی روند سالانه چرخندها نشان داد که با ضریب اندکی فراوانی آنها در حال افزایش است و این روند در غرب مدیترانه بیشتر از شرق مدیترانه بوده است. همچنین تغییر مکانی مرکز گرانی چرخندهای شناسایی شده، در بازه زمانی اول تا سوم حدود ۱۰۰ کیلومتر به سمت غرب مدیترانه جابه‌جا شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: دریای مدیترانه، الگوریتم چرخندزایی، مرکز گرانی، تغییرات زمانی مکانی.

### ۱. مقدمه

امروزه شناسایی چرخندهای برون‌حاره نه فقط به لحاظ شناسایی تاثیر حیاتی آنها در شرایط آب‌وهوای عرض‌های میانی صورت می‌گیرد، بلکه به خاطر نقش ریشه‌ای آنها در سامانه آب‌وهوایی کره زمین نیز هست (گری لاکمن، ۲۰۱۲). چرخندهای برون‌حاره از مهم‌ترین پدیده‌های جوئی‌اند و نقش موثری در گسترش پدیده‌های آب‌وهوایی دارند. آنها یکی از اجزای اصلی حفظ انرژی، رطوبت و بودجه تکانه در هواکره هستند. چرخندها عامل بخش عمده‌ای از منابع آب در کره زمین هستند، همچنین آنها ارتباط درونی با بسیاری از حوادث طبیعی عرض‌های میانه و بالا از جمله توفان، بارش‌های سنگین، سیلاب‌ها و توفان‌های دریایی دارند. بنابراین تشکیل انجمنی که براساس طرحواره آب‌وهواشناسی چرخندهای عرض‌های میانی باشد، که بتوان با دقت تشکیل چرخند را تشخیص داد اهمیت زیادی دارد

(هاسکینز و هاجز، ۲۰۰۲).

شناسایی و ردیابی چرخندهای عرض‌های میانه ممکن است در نگاه اول کاری ساده به نظر برسد ولی در واقع بسیار چالش برانگیز است. برای این منظور باید آنها را با چرخندهای حاره‌ای که شناسایی آنها کاری تقریباً ساده است مقایسه کرد (یورس و همکاران، ۲۰۱۳). یکی از ناحیه‌های عمده چرخندزایی در نیمکره شمالی در عرض‌های میانی، دریای مدیترانه است که افزایش تاوایی مثبت به همراه چرخندزایی در شرق و غرب این دریا قابل مشاهده است (هاسکینز و هاجز، ۲۰۰۲). دریای مدیترانه دریایی نیمه بسته است که در ناحیه گذار بین اروپا و آفریقا واقع شده است، به علت موقعیت جغرافیایی سامانه‌های گردشی متفاوتی بر گردش کلی جو در این ناحیه اثر گذار است. جهت قطبی به همراه جریان رودباد، و اچرخند جنب حاره اقیانوس اطلس (آزورس) و فرود ایران

به ایران از جانب غرب و شمال غرب است. ایران نژاد و همکاران ۱۳۸۸، اثر مراکز چرخندزایی مدیترانه بر بارش سالانه ایران را بررسی کردند و دریافتند که فراوانی چرخندهای دو مرکز شرق مدیترانه و شمال دریای سرخ، نسبت به دیگر مراکز چرخندزا، در بارش مناطق وسیع تری از ایران تاثیر دارد.

همچنین در پیوند با ویژگی‌های دینامیکی چرخندهای مدیترانه، تحقیقاتی از جانب احمدی گیوی و میرزایی ۱۳۸۶، احمدی گیوی و همکاران ۱۳۸۵، اسعدی و همکاران ۱۳۹۰ و رضائیان و همکاران ۱۳۹۳ صورت پذیرفته است. مهم‌ترین هدف پژوهش حاضر، شناسایی تغییرات زمانی مکانی چرخندهای مدیترانه در یک بازه زمانی طولانی مدت است؛ زیرا تغییر اقلیم و گرمایش جهانی موجب تغییر در گردش کلی جو و تغییر در پدیده‌های جوئی از جمله چرخندزایی می‌شود. گری لاکمن ۲۰۱۱، معتقد است که در یک اقلیم گرم در ترازهای پایین و ردسپهر یک افزایش ۱۰ تا ۲۰ درصدی بخار آب خواهیم داشت که این امر آزادسازی گرمای نهان را افزایش می‌دهد و موجب افزایش چرخندزایی می‌شود. درحالی‌که پژوهش‌های عمده‌ای مبنی بر کاهش چرخندها در اثر گرمایش جهانی صورت گرفته است. (پتواردان و همکاران، ۲۰۱۲) با بررسی اثر گرمایش جهانی روی چرخندهای آسیایی جنوبی دریافتند، فراوانی چرخندها در شمال اقیانوس هند کاهش ۹ درصدی و شدت آنها افزایش ۱۱ درصدی داشته است. (لیونلو و همکاران، ۲۰۰۲)، چرخندزایی مدیترانه را در شرایط دوبرابر شدن کربن دی‌اکسید با مدل‌های گردش کلی را بررسی کردند و نتیجه گرفتند که این اثر بر تغییرات چرخندزایی چندان زیاد نیست و فقط موجب کاهش چرخندهای سطحی شده است. از بررسی‌های فوق می‌توان نتیجه گرفت که تغییر فراوانی و مسیر چرخندها در طول زمان چندان روشن نیست، بلکه در نقطه‌های گوناگون کره زمین، نتیجه‌های متفاوتی دربر داشته است.

شکل‌های مهم گردش جوئی است که آب‌وهوای این ناحیه را تحت تاثیر قرار می‌دهد. گردش بزرگ مقیاس بیان شده به همراه شرایط توپوگرافی و گرمای نهان آب‌وهوای مدیترانه را تشکیل داده است (لویز و همکاران، ۲۰۰۸).

تحقیقات زیادی برای مسیریابی چرخندها در مدیترانه با مدل‌های عددی صورت پذیرفته است. (پیترسن، ۱۹۵۶) نخستین بار فراوانی چرخندهای مدیترانه را در غالب چرخندهای نیم کره شمالی بررسی کرد (آلپرت و همکاران، ۱۹۹۰a و ۱۹۹۰b) تحقیقاتی روی شرق و غرب دریای مدیترانه به عمل آوردند و دریافتند که گرمای دریا در ایجاد تاوایی شرق و غرب دریا و چرخندزایی شرق مدیترانه نقش مهمی ایفا می‌کند. همچنین چرخندهای بادپناهی نقش مهمی در خلیج جنوا و جزیره قبرس بازی می‌کنند. (تریگو و همکاران، ۱۹۹۹، کمپین و همکاران، ۲۰۰۰، پیکورنل و همکاران، ۲۰۰۱، باروتولی و همکاران، ۲۰۰۹، لیبراتو و همکاران ۲۰۱۱) نیز در تحقیقات خود عمدتاً به بررسی چرخندزایی غرب مدیترانه پرداختند. (فلوکاس و همکاران، ۲۰۱۰) مسیریابی چرخندها را در شرق مدیترانه بررسی کردند و دریافتند که فراوانی مسیرهای چرخندی در ماه می کاهش می‌یابد و در اکتبر تعداد آنها افزایش پیدا می‌کند و اوج آنها در ژانویه و مارس و حداقل فراوانی چرخندها در ژوئیه است. گردش کلی جو و چرخندزایی در مدیترانه، عامل اصلی تاثیرگذار روی آب‌وهوایی خاورمیانه و ایران است (علیجانی، ۱۳۶۶). پژوهش علیجانی ۱۳۶۶، شاید یکی از اولین پژوهش‌های صورت گرفته در پیوند با اثر چرخندهای مدیترانه بر آب‌وهوای ایران است که با روش نیمه خودکار صورت گرفته است. از جمله پژوهش‌هایی که به بررسی چرخندهای مدیترانه با روش‌های عددی پرداخته اند، می‌توان به حجازی‌زاده و صداقت ۱۳۸۷ اشاره کرد که، مسیریابی رقومی چرخندهای خاورمیانه در دوره سرد سال را مورد بررسی قرار دادند. آنها بیان کردند که بیشتر چرخندهای ورودی

## ۲. داده‌ها و روش‌شناسی

برای تحلیل عددی چرخند در این پژوهش از داده‌های ERA-Interim استفاده شد، این داده‌ها آخرین بازتحلیل جهانی جو مرکز ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) هستند (دی و همکاران، ۲۰۱۱). گام زمانی داده‌ها به صورت ۶ ساعته بود و در محدوده ۲۳ تا ۵۰ درجه عرض شمالی و ۱۰- تا ۶۴ درجه طول شرقی با تفکیک مکانی ۰/۵ \* ۰/۵ درجه مورد استفاده قرار گرفت. البته قابل ذکر است که محدوده چرخندزایی مدیترانه از نظر طولی، از محدوده تحقیقاتی کوچک‌تر است و این ناحیه برای شناخت اثر چرخندها روی ایران انتخاب شده است. شناسایی تغییرات زمانی مکانی چرخندها در بازه زمانی ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۳ صورت گرفت. در ابتدا با یک الگوریتم عددی چرخندهای محدوده تحقیقاتی شناسایی شد و سپس فراوانی آنها در سه بازه زمانی ۱۱ ساله مورد بررسی قرار گرفت. انتخاب الگوریتم چرخندیابی یکی از مراحل مشکل پژوهش درباره چرخندهای برون‌حاره است (یورس و همکاران، ۲۰۱۳). در این ارتباط رایبل (۲۰۰۸) با مقایسه روش‌های چرخندیابی در نیم کره شمالی به این نتیجه رسیدند که روش‌ها همه نتیجه‌های متفاوتی دربر دارند و در نهایت مشخص نیست که کدام روش دقیق‌تر و به حقیقت نزدیک‌تر است ولی در روش‌های گوناگون، شدت چرخندها بهتر از فراوانی آنها قابل بررسی است. در دو دهه گذشته الگوریتم‌های چرخندزایی متعددی به کار گرفته شده که بنیادی‌ترین آنها را سیمونز و همکاران (۱۹۹۱)، هاجز (۱۹۹۵)، سرز (۱۹۹۵)، بلندر و همکاران (۲۰۰۰)، سینکلر (۱۹۹۷)، تریگو (۲۰۰۶)، ایناتسو (۲۰۰۹) هانلی و کابالرو (۲۰۱۲) عملی ساخته‌اند. همه الگوریتم‌های پژوهش‌ها در تحقیق یورس و همکاران (۲۰۱۳) بررسی شده است. عمده این پژوهش‌ها برای شناسایی چرخند از الگوریتم پیدا کردن کمینه فشار روی نقطه‌های شبکه‌ای به همراه شرایطی دیگر برای تعیین شدت چرخندها و حذف چرخندهای سطحی، از جمله

بزرگی گرادیان فشار، تاوایی نسبی، تاوایی نسبی زمین‌گرد و یا بررسی آستانه‌ای کمینه فشار به صورت تکی، به انجام رسیده است. در این پژوهش از الگوریتم کمینه ارتفاع ژئوپتانسیل در یک نقطه در مقایسه با هشت نقطه مجاور آن در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال استفاده شد. به گونه‌ای که نقطه کمینه در وسط ۸ نقطه، مجاور هم باشد و حداقل یک ژئوپتانسیل متر هم از سایر نقطه‌ها کمتر باشد. برای شناسایی شدت چرخند، و حذف چرخندهای حرارتی سطحی، میانگین تاوایی نسبی تراز ۸۰۰ هکتوپاسکال روی مساحتی به شعاع ۳۰۰ کیلومتر از نقطه‌ای که دارای ارتفاع ژئوپتانسیل کمینه است، محاسبه شد.

در یک نگاه کلی، نقطه‌هایی در حکم چرخند محاسبه شدند، که ارتفاع ژئوپتانسیل مرکزی آنها کمینه و حداقل ۱ gpm از سایر نقطه‌ها کمتر باشد و دیگر اینکه میانگین تاوایی نسبی آن نقطه‌ها در شعاع ۳۰۰ کیلومتر در تراز ۸۰۰ هکتوپاسکال، بیشتر از  $s^{-1} 5 \times 10^{-5}$  باشد هیسون تایتلی (۲۰۱۰)، رایبل و همکاران (۲۰۰۸)، بلندر و همکاران (۱۹۹۷) و سینکلر (۱۹۹۴ و ۱۹۹۷). بعد از مرحله چرخندیابی تغییرات زمانی مکانی آنها طی سه دوره ۱۱ ساله و تک تک سال‌ها مورد بررسی قرار گرفت. برای تعیین میزان تغییر مکانی مرکز گرانی چرخندها از معادله میانگین مرکزی وزنی استفاده شد. مختصات مکانی این معادله از روابط (۱) و (۲) محاسبه می‌شود.

$$X_w = \frac{\sum_{i=1}^n w_i x_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (1)$$

$$Y_w = \frac{\sum_{i=1}^n w_i y_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (2)$$

در این معادلات،  $X_w$  و  $Y_w$  به ترتیب طول و عرض جغرافیایی مرکز گرانی چرخندها هستند و  $w_i$  به منزله وزن آنها است که در این پژوهش، فراوانی چرخند است. (میشل، ۲۰۰۵).

## ۳. تحلیل الگوریتم آشکارسازی چرخند

به منظور بررسی دقت الگوریتم به کار رفته در این

پژوهش، خروجی الگوریتم چرخندیابی، در طی دو روز انتخاب شد که الگوهای فشار آنها در تراز دریا و شدت تاوایی آنها در شکل ۱، رسم شده است. شکل ۱-الف، الگوهای فشار تراز روز ۲۰۱۲/۱/۱ را در ساعت ۰۰ زولو نشان می‌دهد. در این روز الگوریتم به کار رفته ۷ مرکز فشار بسته را شناسایی کرده است. این مراکز عبارت‌اند از خلیج جنوا، دریای اژه، دریای سیاه، ایران، دریای خزر، عربستان و افغانستان که همگی با دایره‌های توپر نشان داده شده‌اند. همان‌گونه که پیش‌تر اشاره شد این الگوریتم در صورتی یک مرکز را در حکم کمینه در نظر می‌گیرد که در ابتدا، یک نقطه کمینه تا شعاع ۳۰۰ کیلومتری شناسایی شده باشد، یعنی به اندازه دایره مشکی‌رنگ پیرامون هر مرکز. این شرایط باعث حذف کم‌فشارهای سطحی و محلی و شناسایی الگوهای همید بزرگ‌تر می‌شود. دیگر اینکه، مراکز انتخاب شده باید میانگین تاوایی نسبی تراز ۸۰۰ هکتوپاسکال‌شان بیش از  $5 \times 10^{-5} s^{-1}$  باشد تا در حکم چرخند شناسایی شوند. به این ترتیب چرخندهای با شدت بیشتر شناسایی، و سایر چرخندها حذف شده‌اند.

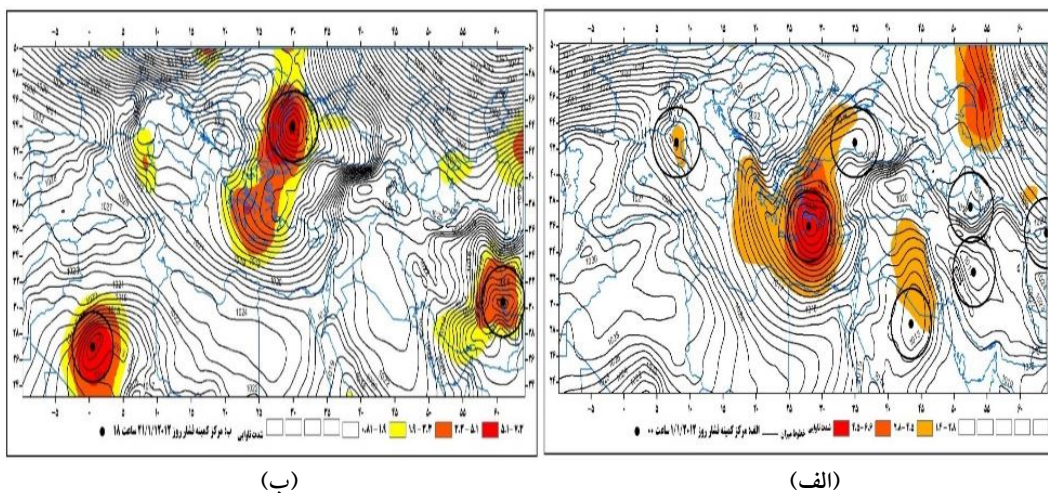
میزان تاوایی به شعاع ۳۰۰ کیلومتر در اطراف نقطه کمینه ارتفاع در شکل ۲ بیانگر آشکارسازی چرخندهای مورد نظر است. در این شکل روشن است که دو مرکز بسته‌ای روی کشور ایران دیده شده ولی مقدار تاوایی آنها صفر است؛ بنابراین به منزله چرخند محاسبه نشده‌اند. بر این اساس در این روز فقط مرکز روی دریای اژه در حکم یک چرخند در الگوریتم نهایی تعریف شده است و سایر مراکز به علت نداشتن شرط تاوایی بیشتر از ۵ حذف شده‌اند. شکل ۱-ب نیز الگو فشار روز ۲۰۱۲/۱/۲۱ را در ساعت ۱۸ زولو نشان می‌دهد و این روز به خاطر مرکز کم‌فشار روی ایران انتخاب شده که در قسمت‌های بعدی تبه شرح آن پرداخته خواهد شد در این روز نیز سه مرکز کم‌فشار بسته آشکار شده است که به ترتیب روی الجزایر، جنوب رومانی و شرق ایران واقع شده‌اند و این مراکز به سبب داشتن میانگین تاوایی بیشتر

از ۵ به منزله چرخند محاسبه شده‌اند. توزیع مکانی چرخندها در کل دوره تحقیقاتی در شکل ۲، نشان داده شده که شامل ۱۲۱۸۰ مورد چرخند در این ناحیه بوده است. در این شکل دیده می‌شود که بیشترین فراوانی چرخند در مدیترانه غربی وجود دارد، این مراکز از سواحل شرقی اسپانیا، شروع می‌شوند و تمرکز عمده آنها در سواحل غرب و شرق ایتالیا یونان است. مراکز عمده چرخندی با فراوانی ۲۰ تا ۳۰ مورد در ناحیه مورد بررسی در مناطق ذکر شده قرار دارند که عمدتاً در غرب و شمال دریای مدیترانه واقع شده‌اند. هرچه به سمت جنوب و شرق دریای مدیترانه حرکت کنیم از تعداد مراکز چرخندی کاسته می‌شود. مراکز عمده چرخندی در شرق مدیترانه در سواحل غربی ترکیه و قبرس واقع شده‌اند. این مراکز تا سواحل غربی لبنان، اسرائیل و سوریه امتداد یافته‌اند. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود چرخندهای شرق مدیترانه به سمت شرق حرکت کرده‌اند و تمرکزشان در شمال سوریه و جنوب غرب ترکیه به سمت شرق کاهش پیدا می‌کند؛ به طوری که روی کشور عراق به دو شاخه تبدیل می‌شوند که یک شاخه آن به سمت شمال عراق حرکت می‌کند و شاخه دیگر به سمت جنوب عراق و سواحل خلیج فارس کشیده می‌شود.

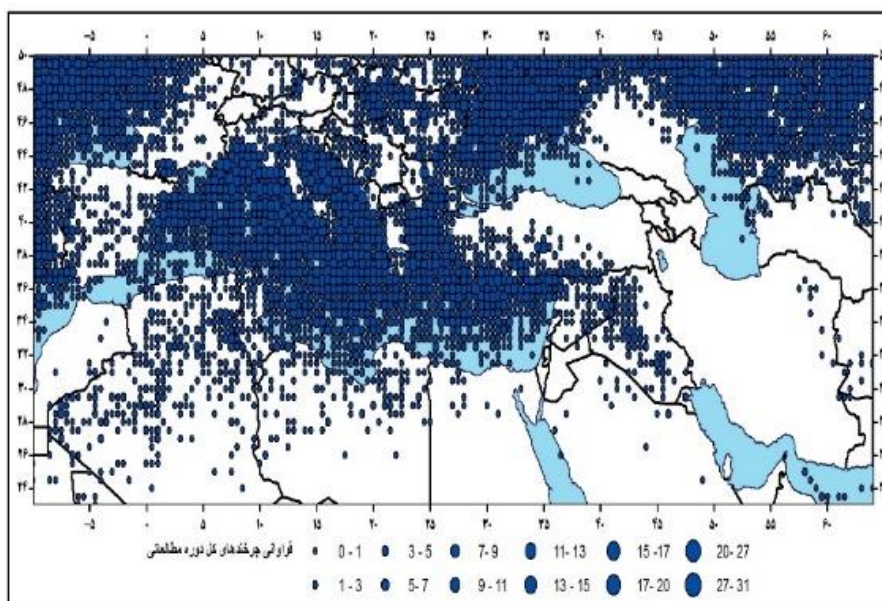
چرخندهای مدیترانه با همان شدت شکل‌گیری اولیه به سمت شرق حرکت می‌کنند و حرکت یک چرخند از مرز دریای مدیترانه به سمت مرزهای ایران، مستلزم عبور مسیر بین ۷۹۰ تا ۱۲۰۰ کیلومتر است که در این مسیر عمدتاً ارتفاعی کمتر از ۶۰۰ متر دارند و زمانی که به مرزهای ایران می‌رسند با افزایش ارتفاع از ۶۰۰ تا بیش از ۳۰۰۰ متر مواجه می‌شوند. همچنین از قدرت و شدت تاوایی آنها کاسته می‌شود و بیشترین تمرکز آنها با این آستانه تاوایی روی کشور عراق واقع می‌شود. بر این اساس، مراکز چرخندی با شدت میانگین تاوایی  $5 \times 10^{-5} s^{-1}$  کمتر به مرزهای ایران می‌رسند، البته باید گفت که فراوانی این مراکز با شدت‌های کمتر روی ایران،

چرخندهای مدیترانه‌ای با شدت کمتر با عبور از ناحیه‌های مرتفع وارد ایران شده و در دامنه‌های مناطق مرتفع تشکیل مراکز چرخندی ثانوی و یا بادپناهی می‌دهند (این امر مستلزم بررسی دقیق‌تر و تحقیق جداگانه‌ای است). ولی مشخص است که مراکز چرخندی با شدت تاوایی زیاد، روی ایران اندک مشاهده می‌شوند.

به‌ویژه مراکز با میانگین تاوایی کمتر از  $3 \times 10^{-5} s^{-1}$  به فراوانی روی ایران مشاهده می‌شود. آنچه که در شکل ۲، دیده می‌شود، چرخندهایی با آستانه این پژوهش است. فراوانی چرخندهای شکل ۲، به این معنی نیست که چرخندی وارد ایران نمی‌شود، بلکه در این پژوهش تغییرات فراوانی چرخندهای با این شدت ( $5 \times 10^{-5} s^{-1} >$ ) بررسی شده است و طبیعتاً جریان‌ها و



شکل ۱. خروجی الگوریتم چرخندیابی، منحنی‌های هم فشار بیانگر الگوهای فشار تراز دریا، مراکز دایره‌ی مشگی توپو مرکز کمیته ارتفاع تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال آشکار شده هستند، دایره مشگی رنگ دور هر مرکز با شعاع ۳۰۰ کیلومتر است، شدت تاوایی برحسب  $1 \times 10^{-5} s^{-1}$  و مربع‌های رنگی بیانگر شدت تاوایی و مربع سفید مقدار تاوایی کمتر از ۱ است. (الف) تاریخ ۲۰۱۲/۱/۱ ساعت ۰۰ زولو و (ب) ۲۰۱۲/۱/۱۲ ساعت ۱۸ زولو

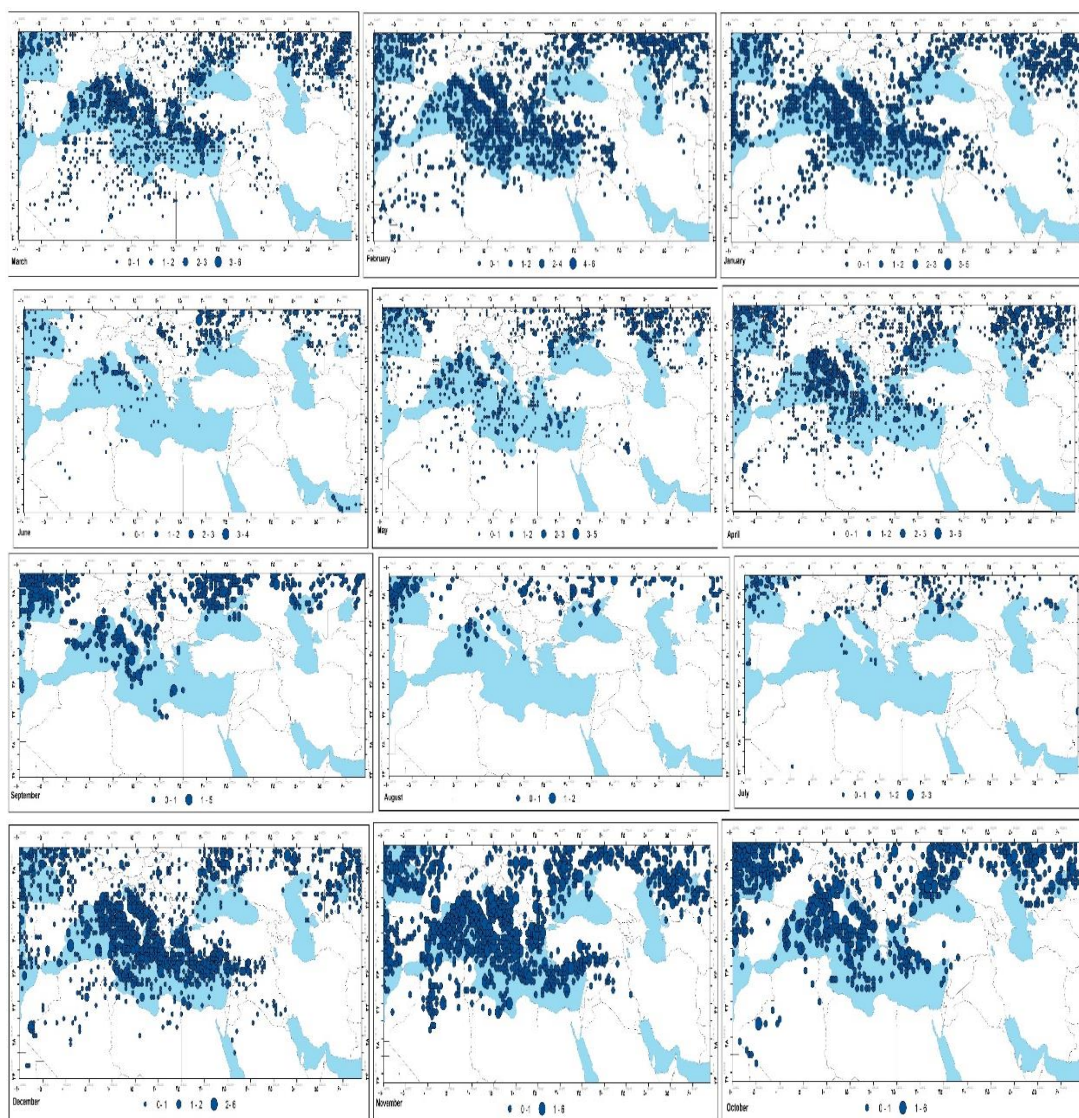


شکل ۲. توزیع مکانی چرخندهای آشکار شده با فراوانی یک و بیشتر

۴. توزیع مکانی- زمانی چرخندها در مدیترانه

شرق کشور ایتالیا و یونان قرار دارند، همچنین در مدیترانه تمرکز چرخندها تا جنوب غرب ترکیه و شمال غرب سوریه امتداد یافته است. فقط در این ماه است که چرخندهای مدیترانه شرقی به مرزهای ایران در جنوب غرب نزدیک شده‌اند و عمدتاً روی کشور عراق قرار داشته‌اند. نکته قابل توجه در این ماه، قرارگیری چرخندهای روی شمال غرب افغانستان، پاکستان و شرق ایران است.

همان‌طور که در بخش روش‌شناسی بیان شد، ناحیه مورد بررسی به لحاظ شناخت چرخندهای اثر گذار بر آب‌وهوای ایران از نظر طولی بیشتر از ناحیه مدیترانه قرار دارد. در این بخش فقط به بررسی چرخندهای حوضه مدیترانه پرداخته شده است. توزیع مکانی این چرخندها در شکل ۳ و رخداد ماهانه آنها در شکل ۴ نشان داده شده است. حدود ۱۴ درصد چرخندها در دوره تحقیقاتی در ماه ژانویه تشکیل شده‌اند که عمدتاً در سواحل غرب و



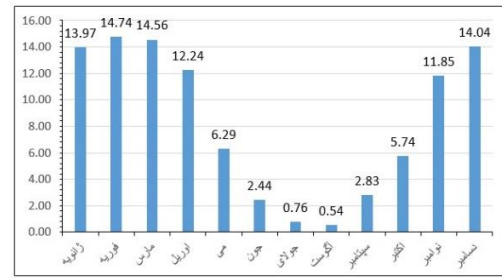
شکل ۳. توزیع ماهانه فراوانی چرخندها؛ اندازه دایره‌ها بیانگر تراکم فراوانی است.

می‌شوند. در تابستان فراوانی چرخندزایی در مدیترانه به حداقل ممکن می‌رسد و عمدتاً در سواحل شمال غرب ایتالیا ایجاد می‌شوند. روند افزایش چرخندزایی در مدیترانه در ماه سپتامبر با ۲/۸ درصد مجموع چرخندها شروع می‌شود و بیشتر روی غرب مدیترانه و سواحل شرقی ایتالیا قرار دارد. این چرخندها در ماه‌های نوامبر و دسامبر به حداکثر فراوانی می‌رسند و جهت حرکت آنها به سمت شمال غرب ایران است. در ماه نوامبر شکل ۲، مراکز کم‌فشار از سمت دریای سرخ به طرف جنوب غرب ایران قرار دارند که این مراکز از سمت دریای سرخ و سودان هستند و جز چرخندهای مدیترانه قرار نمی‌گیرند.

#### ۵. تغییرات زمانی چرخندها در مدیترانه در بازه

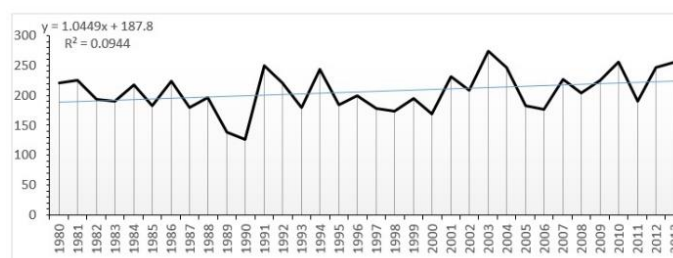
##### تحقیقاتی

همان‌طور که در شکل ۵، دیده می‌شود، فراوانی چرخندها دارای نواسان سالانه است طوری که کمترین تعداد چرخندها در ۱۹۹۰ و بیشترین آنها در ۲۰۰۳ رخ داده است. روند سالانه فراوانی چرخندها روندی مثبت است که تعداد چرخندها با یک ضریب ۱/۰۴ در هر سال (در طی ۳۳ سال مورد تحقیق، حدود ۳۵ چرخند) در حال افزایش است ولی ضریب تعیین معادله رگرسیون آن ۰/۰۹۴ و به صفر نزدیک است یعنی اینکه این معادله به‌خوبی نتوانسته است روند فراوانی چرخندها را در طی سال مشخص کند. این امر در روند ماهانه فراوانی چرخندها در جدول ۱ هم دیده می‌شود، که بیانگر آن است که روند فراوانی چرخندها بسیار کم بوده است و به‌طور قاطع نمی‌توان درباره آنها صحبت کرد.



شکل ۴. درصد فراوانی ماهانه چرخندها در مدیترانه

این چرخندها از جنوب شرق وارد ایران می‌شوند و چگونگی تشکیل و قرارگیری آنها با بررسی‌های همدیدینامیکی مشخص می‌شود. در فوریه ۱۴/۷۴ درصد از کل چرخندهای مدیترانه تشکیل شده که از سایر ماه‌ها بیشتر است. این چرخندها از مدیترانه شرقی به سمت شرق تا روی کشور عراق امتداد یافته‌اند. در این ماه تمرکز بیشتری از چرخندها روی کشورهای سوریه و عراق وجود دارد. در ماه ژانویه و فوریه تمرکز بیشتری از چرخندها در نزدیکی مرزهای ایران قرار دارد که به علت انتخاب شدت میانگین تاوایی بیشتر  $5 \times 10^{-5} s^{-1}$  روی ایران دیده نمی‌شوند زیرا تا به مرزهای ایران می‌رسند از شدت آنها کاسته می‌شود. در ماه مارس ۱۴/۵۶ درصد از مجموع چرخندهای مدیترانه تشکیل می‌شود که تمرکز عمده آنها به سواحل شمالی دریای مدیترانه منتهی می‌شود. البته در این ماه فراوانی بیشتری از چرخند روی مدیترانه شرقی به چشم می‌رسد که همانند ماه‌های قبلی تا روی کشور عراق و ترکیه پراکنده می‌شوند. از ماه مارس تا اکتبر از فراوانی چرخندها در دریای مدیترانه کاسته می‌شود، طوری که در ماه اوت به حداقل رخداد یا ۰/۵۴ درصد می‌رسند. در این مدت از نظر مکانی چرخندها بیشتر در ناحیه‌های شمالی و غربی دریای مدیترانه تشکیل



شکل ۵. روند فراوانی سالانه چرخندها افزایش در طبیعت معنا دار است.

سرد سال را تحت تاثیر قرار داده است. البته به نظر می‌رسد که این امر دارای آستانه خاصی باشد، یعنی تا حد معینی از تغییرات دما، به تعداد چرخندها در فصل سرد اضافه می‌شود؛ هرچند با بررسی تداوم چرخندها مشخص شد که عمده این چرخندها عمری کوتاه تر از ۱۲ ساعت دارند و یقیناً بررسی روند چرخندهای با تداوم بیشتر فرایندی متفاوت خواهد داشت که نیازمند پژوهش دیگری است.

#### ۶. تغییرات مکانی چرخندها

به شناسایی توزیع مکانی چرخندها در مدیترانه کمتر اشاره شده است و نکته قابل توجه در این پژوهش، بررسی تغییرات مکانی چرخندها در سه بازه ۱۱ ساله است.

همان‌طور که در بخش‌های قبلی بیان شد، ۱۲۱۸۰ عدد چرخند در ناحیه مورد بررسی مشخص شد که تعداد ۷۰۰۷ آنها در حوضه مدیترانه بوده است. جمع چرخندهای دوره ۱۱ ساله اول ۲۰۹۳، دوره دوم ۲۲۲۱ و دوره سوم ۲۴۳۷ چرخند و فراوانی آنها از دوره اول به دوره سوم در حال افزایش بوده است. توزیع مکانی دوره ۱۱ ساله اول در شکل ۶-الف، نشان داده شده است. در این شکل فراوانی عمده چرخندها در چند ناحیه دیده می‌شود. بیشترین تمرکز چرخندها در شمال غرب کشور ایتالیا روی دریای لیگریان (Ligurian Sea) دیده می‌شود که در بازه فراوانی ۶ تا ۱۰ مورد قرار دارند. شرق کشور ایتالیا روی دریای آدریاتیک (Adriatic Sea) نیز دارای تمرکز عمده چرخندزایی است. تمرکز چرخندزایی در سایر نقطه‌ها از جمله دره تارانتو (Taranto Valley)، سواحل شهرهای پالمو، کاتانیا و دریای ایونیان (Ionian Sea) نیز قابل توجه است که به سمت شرق مدیترانه و دریای اژه و یونان از میزان آن کاسته می‌شود. شمال دریای سیاه و شمال غرب دریای خزر هم به اندازه دریای مدیترانه دارای تمرکز چرخندزایی است. در شرق مدیترانه تمرکز چرخندزایی به سمت جنوب غرب ترکیه و شمال سوریه و پراکنش آنها تا مرکز عراق ادامه دارد. مرکز گرانی این چرخندها که با یک مثلث سبز مشخص

همچنین باید گفت که این روند افزایشی مربوط به تعداد مراکز بسته آشکار شده است و این مراکز عمدتاً دارای تداوم اندک هستند و بررسی زمانی آنها نشان داد که چرخندهایی که در چهار ساعت متوالی و یا بیشتر تداوم داشته باشند، بسیار اندک‌اند. این چرخندها در زمان تشکیل تا ۶ ساعت بعدی یا بیشتر از بین می‌روند. در نتیجه، این روند افزایشی دربرگیرنده همه چرخندهای آشکار شده با تداوم‌های گوناگون است. آنچه که در گزارش کامل (میل و همکاران، ۲۰۰۷)، درباره کاهش چرخندها دیده می‌شود، مربوط به مسیریابی چرخندها با تداوم بیشتر از ۲۴ است در حالی که در این پژوهش همه تداوم‌ها در نظر گرفته شده است. با وجود این روند فراوانی ماهانه چرخندها (جدول ۲) در ماه‌های مارس، مه، ژوئیه و اوت منفی است و در سایر ماه‌ها روند افزایشی داشته‌اند. بیشترین ضریب افزایش فراوانی چرخندها در مدیترانه در ماه فوریه با ضریب 0.389 در هر سال یعنی حدود ۱۳ چرخند، در ماه فوریه رخ داده و همچنین در ماه ژانویه حدود ۱۲ چرخند افزایش داشته است. البته همان‌طور که گفته شد میزان معناداری معادله رگرسیون بسیار کم است، طوری که ضریب معناداری آنها بیشتر از ۰/۰۵ و ضریب تعین آنها در این ماه‌ها به یک نزدیک نبوده است. بنابراین روند خطی فراوانی چرخندها در این دو ماه چندان دقیق نیست ولی به‌هرحال این میزان در بین کل ماه‌ها اکتبر بیشترین سطح معناداری را به خود اختصاص داده است و با ضریب ۰/۲۵۹ یعنی حدود ۸ چرخند، روند آن در حال افزایش است. در کل با توجه به جدول ۱ می‌توان گفت که در ماه‌های سرد سال روند فراوانی چرخندها افزایشی و در ماه‌های گرم‌تر سال روند آنها کاهش‌ی است و یا با تغییرات اندک همراه است. آنچه که از روند سالانه و ماهانه چرخندها مشخص شد این است که روند سالانه آنها با سطح معناداری اندکی در حال افزایش است و روند ماهانه آنها در کل افزایشی نیست بلکه در ماه‌های گرم‌تر دارای روند کاهش‌ی نیز بوده است. بنابراین می‌توان گفت که تغییرات دمایی بیشتر ماه‌های

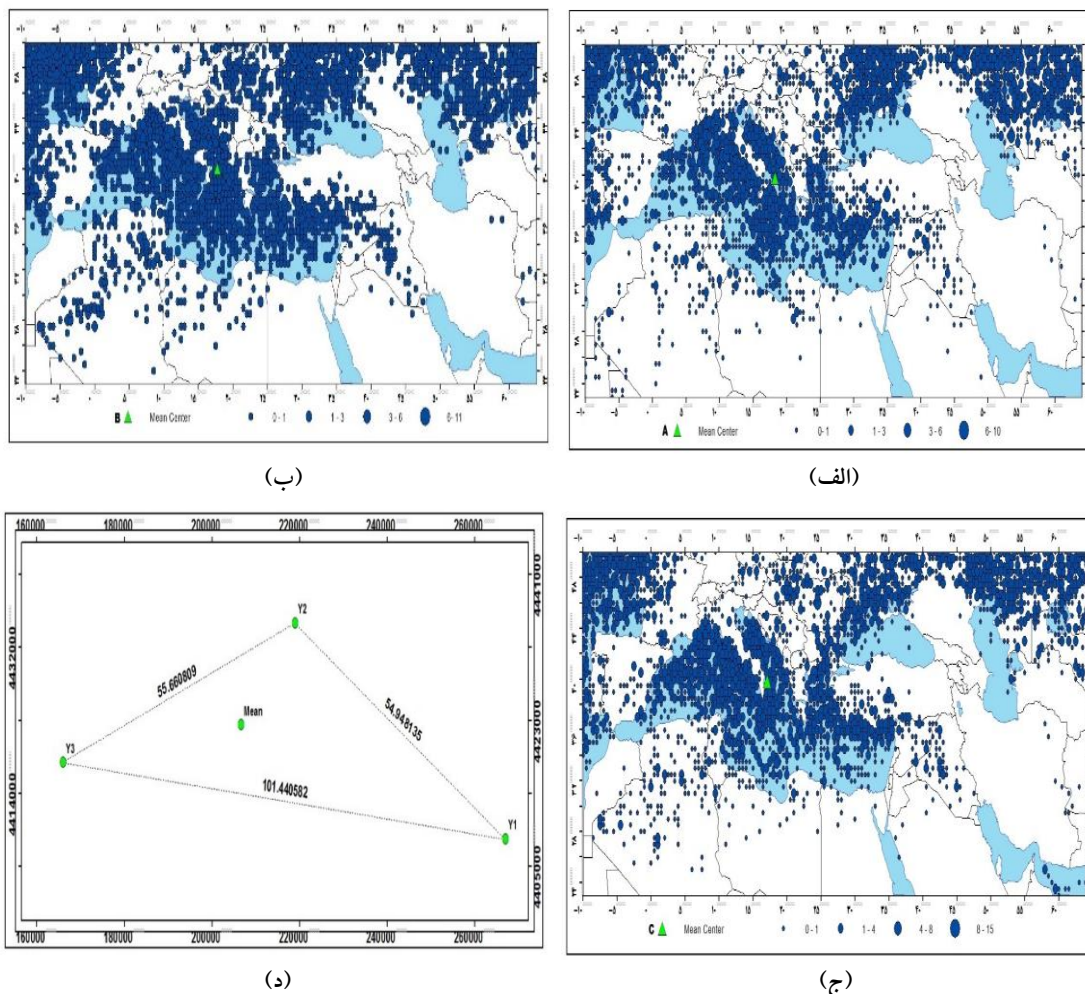


شده و در دره تارانتو قرار گرفته است؛ طوری که فقط ۹ کیلومتر نسبت به دوره اول افزایش عرضی داشته است، شکل ۷. فراوانی چرخندهای فراز شمال افریقا روی کشورهای الجزایر، تونس، لیبی و مصر افزایش داشته است ولی همچنان تعداد چرخندهای شمال غرب و غرب دریای مدیترانه رو به افزایش بوده است. همین امر موجب جابه‌جایی طولی مرکز گرانی چرخندهای مدیترانه به مقدار ۱۰۱ کیلومتر نسبت به دوره قبلی شده است. در دوره یازده ساله سوم تعداد چرخندهای روی کشور عراق و شمال شرق و شرق ایران، به همراه چرخندهای موسمی روی دریای عمان نسبت به سه دوره قبل افزایش پیدا کرده است. با توجه به شکل ۳ چرخندهای شمال شرق ایران در ماه ژانویه و فوریه و چرخندهای موسمی در ماه ژوئن رخ داده است. در کل با توجه به مرکز گرانی چرخندهای دوره‌های تحقیقاتی می‌توان گفت که فراوانی چرخندها به سمت غرب دریای مدیترانه افزایش پیدا کرده و روند افزایشی شرق دریای مدیترانه بسیار کمتر است؛ طوری که مرکز گرانی آنها ۱۰۱ کیلومتر و حدود ۱ درجه به سمت غرب جابه‌جا شده است، همچنین در کل، مرکز گرانی فراوانی چرخندها به سمت عرض شمالی‌تر جابه‌جا شده است.

شده، در جنوب شهر کاسارانو در ایتالیا واقع شده است. مرکز گرانی دوره ۱۱ ساله دوم شکل ۶-ب، روی دره تارانتو واقع شده و نسبت به مرکز گرانی دوره اول ۵۴ کیلومتر دورتر شده و ۲۴ کیلومتر به عرض شمالی‌تر انتقال پیدا کرده است شکل ۷. آنچه در شکل ۶-ب مشهود است اینکه تمرکز چرخندها در همان نقاط دوره قبلی اندکی افزایش داشته و تمرکز آنها در شمال مدیترانه واقع شده است، طوری که تا کشورهای اسلوونی، سوئیس و جنوب آلمان امتداد می‌یابد. البته لازم به ذکر است که در این میان تعداد چرخندهای شمال افریقا نسبت به دوره قبل افزایش پیدا کرده ولی تمرکز عمده آنها به سمت عرض‌های شمالی است. تعداد چرخندهای شرق مدیترانه در دریای اژه، یونان، قبرس و جزیره کرت نسبت به دوره قبل افزایش داشته است. همچنین تعداد چرخندهای روی ترکیه، سوریه، لبنان، اسرائیل و عراق نسبت به دوره قبلی افزایش پیدا کرده ولی چون تعداد چرخندهای شمال و غرب مدیترانه بیشتر از تعداد چرخندهای شرق مدیترانه است، مرکز گرانی آنها به سمت غرب جابه‌جا شده است. این شرایط در دوره سوم شکل ۶-ج نیز دیده می‌شود و افزایش مکانی آنها همانند دوره دوم است. با این تفاوت که مرکز گرانی آنها با سمت عرض‌های پایین‌تر کشیده

جدول ۱. روند ماهانه تعداد چرخندها

ماه	معادله رگرسیون	F-Value	P-Value ضریب x	P-value عرض از مبدا	ضریب تعیین R2
ژانویه	$y = 0/365x + 22/3$	2/08	0/159	0	0/061
فوریه	$y = 0/389x + 23/5$	2/62	0/115	0	0/075
مارس	$y = -0/220x + 33/8$	1/08	0/306	0	0/032
آوریل	$y = 0/0562x + 24/25$	0/19	0/667	0	0/0059
مه	$y = -0/075x + 14/2$	0/21	0/649	0	0/0065
ژوئن	$y = 0/055x + 4/05$	0/39	0/538	0/030	0/012
ژوئیه	$y = -0/00325x + 2/12$	0/83	0/368	0/005	0/025
اوت	$y = -0/029x + 1/62$	1/02	0/321	0/008	0/030
سپتامبر	$y = 0/095x + 4/16$	1/50	0/229	0/012	0/044
اکتبر	$y = 0/259x + 7/37$	4/22	0/048	0/005	0/12
نوامبر	$y = 0/098x + 22/6$	0/35	0/557	0	0/01
دسامبر	$y = 0/0917x + 27/3$	0/25	0/624	0	0/0076



شکل ۶. میانگین ده ساله فراوانی چرخندها در مدیترانه، (الف) ده سال اول، (ب) ده سال دوم، (ج) ده سال سوم و (د) جابه‌جایی مرکز گرانی چرخندها در مدیترانه در سه بازه زمانی ۱۱ ساله، عددهای روی خط برحسب کیلومتر هستند.

### ۷. نتیجه گیری

در این پژوهش با استفاده از الگوریتم آشکارسازی عددی، فراوانی چرخندها در مدیترانه و اطراف آن بررسی شد. به علت قرار دادن شرط شدت چرخند با استفاده از میانگین تاوایی نسبی در شعاع ۳۰۰ کیلومتر از مرکز چرخند، تعداد چرخندهای مورد بررسی کمتر از تحقیقات قبلی، ( آلپرت و همکاران، ۱۹۹۰؛ کمپین و همکاران، ۲۰۰۰؛ فلوکاس و همکاران ۲۰۱۰) بوده است. توزیع ماهانه چرخندهای مدیترانه به همراه تعداد آنها و مراکز چرخندزایی در شرق و غرب مدیترانه همانند تحقیقات قبلی از جمله (آلپرت و همکاران، ۱۹۹۰؛ کمپین و همکاران ۲۰۰۰؛ فلوکاس و همکاران، ۲۰۱۰؛ تریگو و همکاران، ۲۰۰۶؛ پیکورنل و همکاران، ۲۰۰۱) است در

همه تحقیقات و از جمله این پژوهش، روشن شد که تعداد چرخندها از غرب مدیترانه به سمت شرق کاهش پیدا می‌کند و فراوانی عمده ماهانه آنها در ژانویه است و فراوانی آنها تا ماه اوت کاهش پیدا می‌کند. سپس از ماه سپتامبر دوباره تا ماه ژانویه فراوانی آنها افزایش پیدا می‌کند. همچنین در این پژوهش نشان داده شد که چرخندهای مدیترانه با این شدت به فراز ایران نمی‌رسند و حداکثر تا مرکز عراق امتداد پیدا می‌کنند. در ماه ژانویه چرخندهای مدیترانه بیشتر به مرزهای ایران می‌رسند و گاهی در جنوب غرب ایران قرار می‌گیرند. البته در ماه ژانویه و فوریه تعدادی چرخند در شمال شرق و شرق کشور واقع می‌شوند که در تحقیق آلپرت و همکاران، (۱۹۹۰) نیز مشاهده شده‌اند و به بررسی بیشتری نیاز دارند.

حاکمی از تغییر محل چرخندزایی به سمت عرض‌های شمالی است و در نهایت تغییرات چرخندها در هر دو نیم کره به سمت قطب‌ها است. بنابراین در پایان می‌توان گفت که تغییرات زمانی چرخندهای مدیترانه چندان زیاد نیست ولی در هر صورت روند افزایشی داشته، ولی تغییرات مکانی آنها قابل توجه است و مرکز گرانی چرخندها به سمت غرب جابه‌جا شده است.

### مراجع

- احمدی گیوی، ف. و میرزایی، م.، ۱۳۸۶، بررسی دینامیکی جبهه‌های سطوح زبرین در سه سامانه چرخندی روی ایران و خاورمیانه، م.، ۳۳(۲)، ۱۳۰-۱۱۵.
- اسعدی، ع.، احمدی گیوی، ف.، قادر، س. و محب‌الحجه، ع. ر.، ۱۳۹۰، بررسی دینامیک مسیر توفان مدیترانه از دیدگاه شار فعالیت موج راسبی، م. ژئوفیزیک ایران، ۵(۴)، ۳۱-۴۵.
- ایران‌نژاد، پ.، احمدی گیوی، ف. و محمدنژاد، ع. ر.، ۱۳۸۸، اثر مراکز چرخندزایی مدیترانه بر بارش سالانه ایران ۱۹۶۰ در دوره تا ۲۰۰۲، م. ژئوفیزیک ایران، ۳(۱)، ۹۱-۱۰۵.
- حجازی‌زاده، ز. و صداقت، م.، ۱۳۸۷، مسیریابی رقمی سیکلون‌های خاورمیانه در دوره سرد سال، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۶۹، ۱-۱۷.
- رضائیان، م.، محب‌الحجه، ع. ر.، احمدی گیوی، ف. و نصرآصفهانی، م. ع.، ۱۳۹۳، تحلیل آماری-دینامیکی رابطه بین مسیر توفان مدیترانه و نوسان اطلس شمالی بر مبنای فرایافت فعالیت موج، م. فیزیک زمین و فضا، ۴۰(۲)، ۱۳۹-۱۵۲.
- علیچانی، ب.، ۱۳۶۶، رابطه پراکندگی مکانی سیکلون‌های خاورمیانه با سیستم‌های هوایی سطح بالا، م. تحقیقات جغرافیای ۱۳۶۶.
- احمدی گیوی، ف.، محب‌الحجه، ع. ر. و قرایلو، م.، ۱۳۸۵، مطالعه دینامیک سامانه‌های چرخندی روی همچنین نتیجه‌ها نشان داد که در فصل زمستان حرکت چرخندها در شرق مدیترانه به سمت غرب و جنوب غرب ایران است و در ماه‌های پاییز به سمت شمال غرب مرزهای ایران حرکت می‌کنند. بررسی روند سالانه چرخندها روشن ساخت که با روندی بسیار کوچک در حال افزایش است، ولی ضریب تعیین و سطح معناداری معادله خطی آن بسیار کوچک است. این نشان می‌دهد که تغییرات فراوانی چرخندها نسبت به زمان، چندان قابل اعتماد نیست. البته در بین کل ماه‌های سال، فقط روند فراوانی چرخندها در ماه اکتبر سطح قابل قبولی دارد و روند آن افزایشی است. این شرایط در روند ماهانه چرخندها نیز دیده می‌شود که در ماه‌های مارس، مه، ژوئیه و اوت منفی و سایر ماه‌ها مثبت بوده است. درباره پژوهش کامل میل و همکاران (۲۰۰۷) که روند کاهشی چرخندها را در مدیترانه و نیم کره شمالی در گزارش تغییر اقلیم سال ۲۰۰۷ به دست آوردند باید گفت که آنها در پژوهش خود چرخندهای با تداوم حداقل ۱۸ ساعت را مورد بررسی قرار داده‌اند، زیرا آنها روند مسیریها را محاسبه کرده‌اند ولی در این پژوهش همه چرخندها، حتی با تداومی کمتر از ۱۲ ساعت نیز بررسی شده‌اند. این امر می‌تواند بیانگر این باشد که تغییرات دمایی در فصل سرد ممکن است موجب افزایش تشکیل چرخندهای کوتاه مدت باشد.
- نتیجه‌های رخدادهای روند زمانی این پژوهش، تقریباً به نتیجه پژوهش لیونلو و همکاران (۲۰۰۲) نزدیک است. آنها شرایط چرخندزایی مدیترانه را ضمن دو برابر شدن کربن دی‌اکسید بررسی کردند و دریافتند که تغییرات بزرگی در چرخندزایی مدیترانه رخ نمی‌دهد. نکته قابل توجه در نتیجه‌های این پژوهش، تغییرات مکانی مراکز چرخندزایی مدیترانه است؛ طوری که مرکز گرانی آنها ۱۰۱ کیلومتر (حدود یک درجه) به سمت غرب جابه‌جا شده است. همچنین مرکز گرانی این چرخندها دارای جابه‌جایی به سمت عرض‌های شمالی تر بوده است. در این ارتباط میل و همکاران، (۲۰۰۷)، به نقل از آلبریچ و همکاران، (۲۰۰۹) بیان کردند که نتیجه خروجی مدل‌ها

- آذر ماه ۱۳۸۲، م. فیزیک زمین و فضا، ۳۲(۱)، ۱-۱۳.
- Alpert, P., Neeman, B. U. and Shay-El, Y., 1990a, Climatological analysis of Mediterranean cyclones using ECMWF data. *TellusA*, 42, 65-77.
- Alpert, P., Neeman, B. U. and Shay-El, Y., 1990b, Intermont variability of cyclone tracks in the Mediterranean., *J Clim.*, 3, 1474-1478.
- Bartholy, J., Pongracz, R. and Pattantyus-Abraham, M., 2009, Analyzing the genesis, intensity and tracks of western Mediterranean cyclones, *Theor. Appl. Climatol.*, 96, 133-144.
- Blender, R. and Schubert, M., 2000, Cyclone tracking in different spatial and temporal resolutions, *Mon. Wea. Rev.*, 128, 377-384.
- Blender, R., Fraedrich, K. and Lunkeit, F., 1997, Identification of cyclone-track regimes in the North Atlantic, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 123, 727-741.
- Campins, J., Genove's, A., Jansa`, A., Guijarro, J. A. and Ramis, C., 2000, A catalogue and a classification of surface cyclones for the Western Mediterranean, *Int. J. Climatol.*, 20, 969-984.
- Deea, D. P., Uppalaa, S. M., Simmons, A. J. , Berrisford, P., Polia, P., Kobayashib, S., Andraec, U., Balmasedaa, M. A., Balsamoa, G., Bauera, P., Bechtolda, P., Beljaarsa, A. C. M., Bergd, van de L., Bidlota, J., Bormanna, N., Delsola, C., Dragania, R., Fuentes, M., Geera, A. J., Haimbergere, L., Healya, S. B., Hersbacha, H., H'olma, E. V., Isaksena, L., Kallbergc, P., Kohlera, M., Matricardia, M., McNallya, A. P., Monge-Sanzf, B. M., Morcrettea, J.-J., Parkg, B.-K., Peubeya, C., Rosnaya, de P., Tavolatoe, C., Th'epauta, J.-N. and Vitarta, F., 2011, The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 137, 1972-1990.
- Flocas, H., Simmonds, I., Kouroutzoglou, j., key, K., 2010, On Cyclonic Tracks over the Eastern Mediterranean, *Journal of Climate*, Volume 23, October 2010
- Hanley, J., and R. Caballero, 2012, Objective identification and tracking of multicentre cyclones in the ERAInterim reanalysis data set, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 138, 612-625.
- Hewson, T. D. and Titley, H. A., 2010, Objective identification, typing and tracking of the complete life-cycles of cyclonic features at high spatial resolution, *Meteor. Appl.*, 17, 355-381.
- Hodges, K. I., 1995, Feature tracking on the unit sphere, *Mon. Wea. Rev.*, 123, 3458-3465.
- Hoskins, B. J. and Hodges, K. I., 2002, New perspectives on the Northern Hemisphere winter storm tracks, *J. Atmos. Sci.*, 59, 1041-1061.
- Inatsu, M., 2009, The neighbor enclosed area tracking algorithm for extra tropical wintertime cyclones, *Atmos. Sci. Lett.*, 10, 267-272.
- Liberato, M. R. L., Pinto, J. G., Trigo, I. F. and Trigo, R. M., 2011, Klaus an exceptional winter storm over north- ern Iberia and southern France, *Weather*, 66, 330-334.
- Lionello, P., Dalan, F. and Elvini, E., 2002, Cyclones in the Mediterranean region: the present and the doubled CO2 climate scenarios, *Climate Res.*, 22, 147-159.
- Lolis, C. J., Metaxas, D. A. and Bartzokas, A., 2008, On the intra-annual variability of atmospheric circulation in the Mediterranean region, *Int. J. Climatol.*, 28, 1339-1355.
- Luckman, G., 2012, Mid-latitude synoptic meteorology, *American Meteorology Society*.
- Meehl, G.A., T.F. Stocker, W.D. Collins, P. Friedlingstein, A.T. Gaye, J.M. Gregory, A. Kitoh, R. Knutti, J.M. Murphy, A. Noda, S.C.B. Raper, I.G. Watterson, A.J. Weaver and Z.-C. Zhao, 2007: Global Climate Projections. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Patwardhan, S., Kulkarni, A. and Kumar, K., 2012, Impact of global warming on cyclonic disturbances over south Asian region, *J. Earth Syst. Sci.*, 121(1), 203-210.
- Mitchell, A., 2005, *The ESRI guide to GIS analysis*, Volume, 2. ESRI Press,
- Murray, R. J. and Simmonds, I., 1991, A numerical scheme for tracking cyclone centers from digital data, Part I: Development and operation of the scheme, *Aust. Meteor. Mag.*, 39, 155-166.
- Petterssen, S., 1956, *Weather analysis and forecasting*, (1), 2<sup>nd</sup> ed. McGraw Hill, 269 pp.
- Picornell, M. A., Jansa`, A., Genoves, A. and Campins, J., 2001, Automated database of mesocyclones from the HIRLAM (INM) 20.58 analyses in the Western Mediterranean, *Int. J. Climatol.*, 21, 335-354.
- Raible, C. C., Della-Marta, P. M., Schwierz, C., Wernli, H. and Blender, R., 2008, Northern hemisphere extratropical cyclones: a comparison of detection and tracking methods and different reanalyses, *Mon. Wea.*

- Rev., 136, 880-897.
- Serreze, M. C., 1995, Climatological aspects of cyclone development and decay in the Arctic, *Atmos.–Ocean*, 33, 1-23.
- Simmonds, I., Murray, R. J. and Leighton, R. M., 1999, A refinement of cyclone tracking methods with data from FROST, *Aust. Meteor. Mag.*, Special Issue, 35-49.
- Sinclair, M. R., ۱۹۴۴ An objective cyclone climatology for the Southern Hemisphere, *Mon. Wea. Rev.*, 122, 2239-2256.
- Sinclair., 1997, Objective identification of cyclones and their circulation intensity, and climatology, *Wea. Forecasting*, 12, 591-608.
- Trigo, I. F., T. D. Davies, and G. R. Bigg, 1999: Objective climatology of cyclones in the Mediterranean region. *J. Climate*, 12, 1685–1696.
- Trigo, I. F., 2006, Climatology and interannual variability of storm-tracks in the Euro-Atlantic sector: a comparison between ERA-40 and NCEP/NCAR reanalyses, *Climate Dyn.*, 26, 127-143.
- Ulbrich, U., Leckebusch, G. C. and Pinto, J. G., 2009, Extra-tropical cyclones in the present and future climate: a review, *Theor. Appl. Climatol.*, 96, 117-131.
- Urs, N., Akperov, M. G., Bellenbaum, N., Benestad, R., Blender, R., Caballero, R., Coccozza, A., Dacre, H. F., Feng, Y., Fraedrich, K. S., Grieger, J., Gulev, S., Iey, J. H., Hewson, T., Inatsu, M., Keay, K., Kew, S. F., Kindem, I., Gregor, C., Margarida, L., Liberato, L. R., Lionello, P., Igor, I., Joaquim, M., Pinto, G. Raible C. C., Reale, M., Rudeva, I., Schuster, M., Simmonds, I., Sinclair, M., Sprenger, M., Tilinina, N. D., Trigo, I. F., Ulbrich, S., Ulbrich, U., Wang, X. L. and Wernli, H., 2013, A community effort to intercompare extratropical cyclone and tracking algorithms, *American Meteorological Society*, (10.1175/BAMSD-11-00154.2).