

## بررسی ساختار سه بعدی چرخندهای موجد بارش‌های فراگیر غرب و شمال غرب ایران با منشأ دریای مدیترانه در دوره سرد سال

واحد رئیسی<sup>۱</sup>، پیمان محمودی<sup>۲\*</sup>

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه

سیستان و بلوچستان، زاهدان

۲- دانشیار آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان،

زاهدان

### چکیده

هدف اصلی این پژوهش، شناخت ساختار سه‌بعدی چرخندهای موجد بارش‌های فراگیر غرب و شمال غرب ایران با منشأ دریای مدیترانه در طول دوره سرد سال است. بنابراین برای رسیدن به این هدف اصلی و در راستای شناسایی چرخندهای مدیترانه‌ای و تعیین محل زایش آنها در دریای مدیترانه یک فرایند پنج مرحله‌ای پیموده شد. بر اساس این فرایند پنج مرحله‌ای، ۹۳ چرخند را که بارش‌های فراگیر غرب و شمال غرب ایران را در یک بازه زمانی ۱۰ ساله (۲۰۱۳-۲۰۰۴) سبب شده‌اند شناسایی و ساختار سه بعدی آنها مورد توجه قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهند که بیشتر چرخندهای موجد بارش‌های فراگیر غرب و شمال غرب ایران در ابتدای زایش شان کم عمق و متوسط عمق بوده که در طول مسیر حرکت‌شان تبدیل به چرخندهای عمیق می‌شوند. همچنین بیشتر مرکز چرخندها قبل از استقرار هسته مرکزی آنها بر روی خشکی‌ها، بارش‌های فراگیر غرب و شمال غرب ایران را سبب می‌شوند. علاوه بر این، مقدار چرخندگی، به استثنای روزهای ابتدایی تولد چرخندهای موجد بارش‌های فراگیر غرب و شمال غرب ایران که در بعضی ترازها مقادیر منفی و در بعضی ترازها مقادیر مثبت به خود اختصاص می‌دهند، در بقیه روزها در مسیر حرکت شان به سمت شرق، در تمامی ترازها، مقادیر مثبت (گردش چرخندی) را نشان داده‌اند. در نهایت در زمان زایش چرخندهای کم عمق بر روی خشکی‌های اروپا همواره یک وارونگی دمایی ضعیف در سطوح تحتانی جو قابل مشاهده است که می‌تواند یکی از ویژگی‌های مهم چرخندهای کوهساری باشد.

کلید واژه‌ها: چرخندهای کوهساری، رطوبت ویژه، ارتفاع ژئوپتانسیل، فشار سطح دریا، چرخندگی، ضخامت چرخند.

## مقدمه

شایان ذکر است که مطالعات فوق‌الذکر از دیدگاه همدید موضوع را بررسی کرده‌اند. در برخی دیگر از مطالعات، محققانی همچون (Trigo et al., Picornell et al., 2001) و (1999) و (2000) Campins et al. با استفاده از داده‌های با قدرت تفکیک بالاتر، به مطالعه ساختارهای میان‌مقیاس چرخندها پرداخته‌اند. این نوع مطالعات می‌تواند جزئیات بیشتری را در مورد توزیع زمانی و مکانی چرخندهای مدیترانه‌ای، تعیین نواحی دارای بیشترین فراوانی چرخندهای میان‌مقیاس (همچون نواحی جنوب پیرینه و یا دریای آلبورن) که در مطالعات قبلی مشاهده نمی‌شد در اختیار ما قرار دهند.

اگرچه توزیع روزانه، فصلی و مکانی چرخندهای مدیترانه‌ای تنها می‌توانند مکانیسم‌های دخیل در چگونگی ایجاد و تداوم چرخندها را مشخص کنند، بررسی نظام‌مند یک مجموعه بزرگ از نمونه‌های موردی نیز می‌تواند شناخت بهتری از آن مکانیسم‌ها را در اختیار قرار دهند. (Trigo et al., 2002) نشان دادند که مکانیسم‌های چرخندزایی از یک طرف در فصل زمستان و از طرف دیگر در فصل تابستان با یکدیگر متفاوت هستند. بنابراین در فصل زمستان چرخندزایی عمدتاً در سواحل شمال مدیترانه (خلیج جنوا، دریای اژه و دریای سیاه) به وقوع می‌پیوندد و علل آنها نیز به تراف‌های همدید سطوح فوقانی، کوهستان‌ها و شرایط باروکلینیکی سطوح پائین وابسته هستند. بر عکس در فصل بهار و به خصوص در فصل تابستان، چرخندزایی بر روی خشکی و به علت اثرات حرارتی حادث می‌شود (شبه جزیره ایبری، شمال آفریقا و خاورمیانه). در این نواحی چرخندزایی از یک چرخه روزانه پیروی می‌کند. علاوه بر این، چرخندزایی بر روی صحرا و در فصل بهار به وسیله کوهستان‌ها و همچنین افزایش در گرادیان حرارتی سطوح تحتانی اثر می‌پذیرد. مطالعه مشابهی توسط (Flocas et al., 2001) اما از دیدگاه متفاوت‌تری انجام شده است. در آن مطالعه، توزیع قائم و افقی چرخندگی ژئوستروفیک بر روی حوزه دریای مدیترانه به علاوه تغییرات روزانه و فصلی آن مورد تحلیل قرار گرفته است. مطالعه ساختار چرخندگی قائم برای حداکثرهای چرخندگی دو چرخند مهم برای ناحیه مدیترانه (یکی در خلیج جنوا در جنوب ایتالیا و دیگری در دریای اژه و حوالی جزیره قبرس)، مکانیسم‌های چرخندزایی متفاوتی را در غرب

مسیر سامانه‌های همدید نقش بسیار بزرگی در تغییرات آب و هوای سیاره زمین بازی می‌کنند. این سامانه‌ها به ویژه چرخندها و واچرخندها با حرکت خود توده‌های هوا و در نتیجه حرارت و بخار آب را با خود حمل و به طور متناوب باعث ناپایداری و پایداری هوا در یک منطقه می‌شوند (علیچانی، ۱۳۸۱). چرخندها سامانه‌های همدیدی هستند که در آنها فشار تراز دریا کم، جریان هوا صعودی و جهت وزش باد در نیمکره شمالی پادساعتگرد (خلاف عقربه‌های ساعت) است. به علت حرکات عمودی هوا در این چرخندها، امکان پیدایش ابر، بارش و حتی توفان تندری فراهم می‌شود (کاوسی و موحدی، ۱۳۹۳).

معروف است که چرخندهای مدیترانه‌ای اثرات قابل ملاحظه‌ای هم بر روی هوا و اقلیم ناحیه مورد مطالعه و هم بر روی هوا و اقلیم نواحی اطراف خود اعمال می‌کنند (Radinovic, 1987). بنابراین، در مدیترانه، بادهای محلی و توزیع بارش در بسیاری از موارد به چرخندها وابسته هستند. رابطه بین بارش‌های سنگین و چرخندها در بسیاری از مطالعات مختلف (Ramis et al., 1994; Ramis et al., 1998; Jansa et al., 2000) و همچنین برای مجموعه بزرگی از مطالعات موردی تأیید شده است (Jansa et al., 1999; Romero et al., 2001). توزیع زمانی و مکانی چرخندهای برون حاره‌ای، همراه با مکانیسم‌های چرخندزایی و همچنین چرخه حیات چرخندها یکی از مباحث مهم در هواشناسی دینامیکی بوده و هست. (Petterssen (1956) نشان داد که مدیترانه به طور کلی و خلیج جنوا به طور خاص یکی از نواحی اصلی چرخندزایی در فصل زمستان در نیمکره شمالی به شمار می‌آید. همچنین (Maheras et al., 2001) و (Alpert et al., 1990a) مطالعات‌شان دو ناحیه اصلی و چندین ناحیه فرعی چرخندزایی را شناسایی کرده‌اند. بر اساس مطالعات آنان خلیج جنوا و جزیره قبرس از نواحی اصلی چرخندزایی و جنوب ایتالیا، شمال آفریقا، شبه جزیره ایبری و دریای اژه از نواحی فرعی چرخندزایی در مدیترانه به حساب می‌آیند. علاوه بر این، بین این نواحی تفاوت‌های فصلی معنادار و همچنین تغییرپذیری‌های روزانه مهمی قابل مشاهده است.

مهمترین مسیر، غرب مرکزی است. فراوانی وقوع چرخندها در دوره مورد مطالعه روندی افزایشی داشته و در مقابل الگوی نوسان سالانه میانگین فشار چرخندهای مشاهده شده روندی نزولی داشته است. جدا از این مطالعات، مسعودیان (۱۳۹۱)، زارعی و یزدان‌پناه (۱۳۹۱)، کاوسی و موحدی (۱۳۹۳)، موحدی و براتی (۱۳۹۴) و عساکره و خجسته (۱۴۰۰) به بررسی هم‌دید کنش‌های چرخندی بر روی ایران پرداخته‌اند.

لذا با توجه به توضیحات ارائه شده در بالا و بر اساس مطالعاتی که رابطه بین بارش‌های سنگین و چرخندها (Ramis et al., 1994; Ramis et al., 1998; Jansa et al., 2000)، فراوانی، توزیع زمانی و فضایی چرخندها (Petterssen, 1956; Alpert, 1990a; Maheras et al., 2001) و مسیرهای اصلی طی شده توسط آنها (Karaca et al., 2000; Maheras et al., 2002; Hoskins and Hodges, 2002; Alijani, 1979; Ahmadi Givi and Nasr Esfahani, 2003) را مورد توجه قرار داده‌اند؛ مشاهده می‌شود هنوز مطالعاتی که ساختار سه بعدی چرخندها و تغییرات ساختاری آنها در طول مسیرهای پیموده شده را مورد توجه قرار داده باشند بسیار انگشت شمار هستند. لذا هدف اصلی این مطالعه بررسی ساختار سه بعدی چرخندهای مدیترانه‌ای ورودی به غرب و شمال غرب ایران توسط مجموعه‌ای از متغیرهای جوی است. در بررسی این ساختار، تغییرات قائم و افقی متغیرهای جوی نظیر دما، رطوبت ویژه، ارتفاع ژئوپتانسیل، فشار سطح دریا، چرخندگی، مؤلفه نصف النهاری باد و مؤلفه مداری باد در مرکز چرخندها در طول مسیر پیمایش آنها به سمت ایران مورد توجه قرار خواهند گرفت.

## مواد و روش

### داده‌ها

برای بررسی ساختار سه بعدی چرخندهای ورودی به غرب و شمال غرب ایران با منشاء دریای مدیترانه نیاز به دو پایگاه داده‌ای مختلف بود. یکی پایگاه داده‌های ایستگاهی و دیگری پایگاه داده‌های شبکه بندی شده جوی. ویژگی‌های هر کدام از این پایگاه داده‌ها در ادامه به تفکیک در زیر آورده شده‌اند.

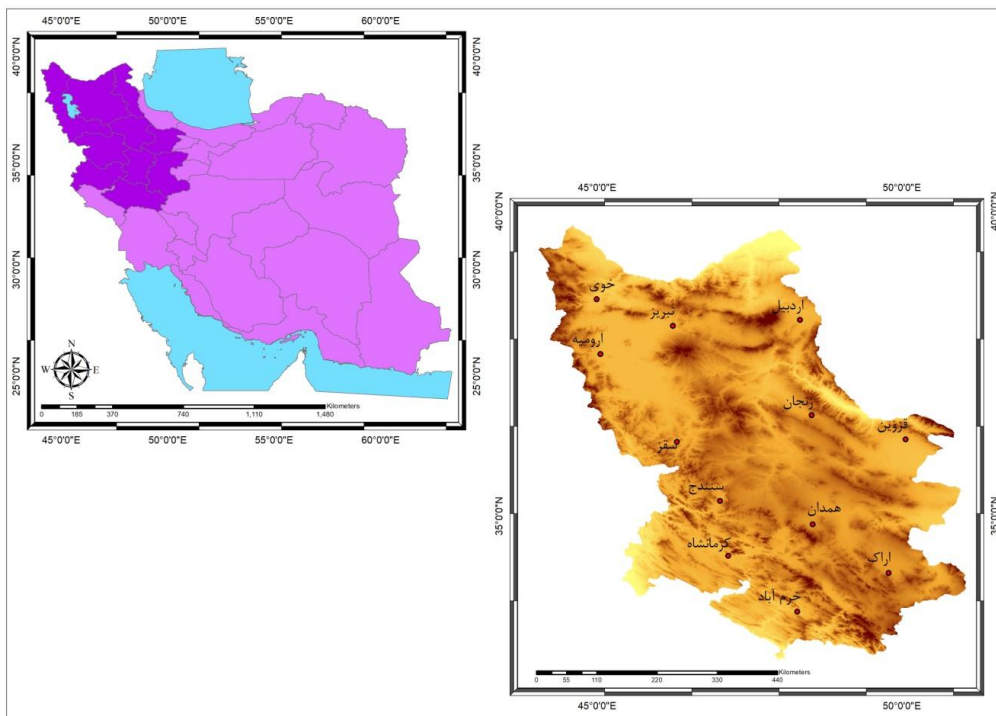
و شرق مدیترانه نشان می‌دهد. شیوه دیگری جهت تحلیل مکانیسم‌های دخیل در چرخندزائی مدیترانه‌ای مبتنی بر تشخیص و شبیه‌سازی عددی نمونه‌های موردی انتخاب شده است. نقش چرخندزائی کوهستان‌ها برای رشته کوه‌های اصلی همچون آلپ و اطلس مورد بررسی قرار گرفته است (Buzzi and Tibaldi, 1978; Alpert et al., 1996a). همچنین دیگر فاکتورهای تاثیر گذار در چرخندزائی همچون دمای محسوس سطح دریا، شار گرمای نهان تبخیر، آزاد سازی گرمای نهان تبخیر به سبب جریانات همرفتی یا واداشتهای سطوح فوقانی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند (Alpert et al., 1996b; Romero et al., 1997; Romero, 2001; Homar et al., 2002; Homer et al., 2003).

اما در داخل کشور مطالعات اندکی در مورد مکانیابی، شناسایی و مسیریابی چرخندها صورت گرفته است. اولین بررسی مسیرهای چرخندی در داخل کشور توسط علیجانی در سال ۱۳۷۴ انجام گرفته است. ایشان از روی نقشه‌های هوای ساعت ۱۲ گرینویچ مسیرهای چرخندی خاورمیانه را به صورت دستی تعیین کرد و نشان داد که چرخندهای خاورمیانه در چهار مرکز اصلی چرخندزائی شکل گرفته و در سه مسیر اصلی وارد منطقه می‌شوند. احمدی گیوی و نجیبی فر (۱۳۸۳) تشکیل و رفتار چرخندهای واقع در بادپناه کوه‌های آلپ و تاثیر احتمالی آنها در آب و هوای خاورمیانه و ایران را در دوره‌های مختلف سرد، گرم و معتدل را برای یک دوره یکساله (۲۰۰۲) بررسی کرده و نتیجه گرفتند که رفتار این چرخندها در فصول مختلف سال متفاوت است. تعداد چرخندهای واقع در خلیج جنوا در فصول سرد سال به طور قابل توجهی نسبت به فصول گرم بیشتر است. همچنین چرخندهای واقع در فصول سرد، بیشتر آب و هوای ایران را تحت تاثیر قرار می‌دهند. این در حالی است که چرخندهای فصول گرم به علت حرکت در عرض‌های بالاتر تاثیر چندانی روی ایران ندارد. حجازی زاده و صداقت (۱۳۸۹) در پژوهشی به صورت رقومی مسیرهای چرخندی خاورمیانه را در دوره سرد سال (۲۰۰۳-۱۹۹۳) بررسی کرد. طبق نتایج به دست آمده تاثیر ناهمواری‌ها در تشکیل نواحی چرخند زائی به مراتب بیشتر از هدایت مسیرها است. چرخندها از سه مسیر اصلی و سه مسیر فرعی وارد ایران می‌شوند.

## داده‌های ایستگاهی

در این پژوهش برای شناسایی چرخندهای مدیترانه‌ای وارد شده به غرب و شمال غرب ایران در دوره سرد سال (اکتبر-می) از داده‌های بارش روزانه ۱۵ ایستگاه همدید غرب و

شمال غرب ایران برای بازه زمانی ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۳ بهره برده شد. این داده‌ها کامل و بدون هیچگونه خلاء آماری بودند. در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه و توزیع آنها در غرب و شمال غرب ایران آورده شده‌اند.



شکل ۱- موقعیت و پراکنش ایستگاه‌های همدید مورد مطالعه در غرب و شمال غرب ایران

## داده‌های شبکه‌بندی شده جوی

اما متغیرهای جوی استفاده شده در این مطالعه به ترتیب عبارتند از: دما، رطوبت و ویژه، ارتفاع ژئوپتانسیل، فشار سطح دریا، چرخندگی، مؤلفه نصف النهاری باد و مؤلفه مداری باد است که تمامی آنها از تارنمای مرکز اروپایی پیش‌بینی‌های میان مدت جوی (ECMWF) به آدرس اینترنتی <https://www.ecmwf.int> به صورت دیدبانی‌های روزانه برای یک دوره زمانی ۱۰ ساله از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۳ برای ماه‌های دوره سرد سال (اکتبر-می) اخذ شدند. این مرکز مجموعه داده‌های بازکاوای را برای دوره ۱۹۴۸ تاکنون، با استفاده از یک سیستم داده‌گذاری جهانی ثابت و یک سیستم پیشرفته کنترل کیفیت که تا حد امکان بدون خلاء آماری نیز می‌باشد تولید کرده است. در این تارنما، داده‌های مربوط به متغیرهای دما، رطوبت و ویژه، ارتفاع ژئوپتانسیل، چرخندگی، مؤلفه نصف النهاری باد و مؤلفه مداری باد در ۳۷ تراز و داده‌های فشار سطح دریا نیز در یک تراز قابل دسترس

هستند. تفکیک مکانی این داده‌ها به صورت شبکه‌بندی منظم با اندازه یاخته‌های ۱ در ۱ درجه قوسی هستند. محدوده مورد مطالعه برای استفاده از داده‌های شبکه بندی شده به گونه‌ای انتخاب شده که محل زایش چرخندها در دریای مدیترانه، مسیر حرکت آنها به سمت غرب و شمال غرب ایران و در نهایت محل از بین رفتن آنها در آسیای میانه را در بر بگیرد.

## روش شناسی

در مطالعات اقلیم‌شناسی، غالباً، چرخندها در یک تراز منفرد و آن هم عمدتاً در تراز سطح دریا یا تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال مورد بررسی قرار گرفته‌اند (Alpert et al., 1990b; Sinclair, 1997; Trigo, 1999; Maheras et al., 2001). هر چند در برخی از مطالعات از ترازهای بالاتر نیز برای این مهم استفاده شده است (Bell and Bosart, 1989; Lefevre and Nielsen-Gammon, 1995). در این

تعریف شده است که حداقل یکی از ۱۵ ایستگاه مورد مطالعه، بارشی مساوی یا بیش از ۰/۱ میلیمتر را گزارش کرده باشند. در گام دوم از بین این ۱۶۱۳ روز بارشی، ۹۳ روز به عنوان فراگیرترین روزهای بارشی انتخاب شدند. منظور از فراگیرترین روزهای بارشی، روزهایی بوده‌اند که هر ۱۵ ایستگاه مورد مطالعه در آن روز بارش را گزارش داده‌اند.

**مرحله دوم: آشکارسازی زمان و محل زایش چرخندهای مدیترانه‌ای در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال:** در مرحله دوم، برای شناسایی چرخندهای مدیترانه‌ای موجد بارش‌های فراگیر ۹۳ روز منتخب در غرب و شمال غرب ایران، از روش پیشنهادی Picornell et al. (2001) که روشی مبتنی بر آشکارسازی عینی چرخندها از روی نقشه‌های میانگین فشار سطح دریاست بهره برده شد. در آن پژوهش محققان چرخندهای غرب مدیترانه را به عنوان مراکز بسته‌ای که دارای حداقل میانگین فشار سطح دریا هستند تعریف نموده‌اند. در این پژوهش نیز با پیروی از روش پیشنهادی Picornell et al. (2001) و با مینا قرار دادن روزهای بارشی فراگیر، زمان و محل زایش چرخندهای موجد بارش‌های فراگیر در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال شناسایی شدند. در نهایت با مشخص شدن زمان و محل زایش هر کدام از چرخندها، برای هرکدام از آنها شناسنامه‌ای به شرح جدول ۱ آماده شد.

مطالعات برای تعریف یک چرخند همواره سعی شده است تا از میانگین فشار سطح دریا (Alpert et al., 1990a; Trigo et al., 1999; Maheras et al., 2001; Bell and Sinclair, 1997; Lefevre) و چرخندگی (Bosart, 1989 and Nielsen-Gammon, 1995) استفاده شود. در پژوهش Murry and Simmonds (1991) چرخندهای متوسط تراز دریا با مراکز بسته (حداقل میانگین فشار تراز دریا) و نیز به صورت مراکز باز (حداکثر لاپلاس میانگین فشار تراز دریا) مورد شناسایی قرار گرفته‌اند Hoskins and Hodges (2002) نیز در آشکارسازی مسیر چرخندهای نیمکره شمالی در فصل زمستان هم از ترازهای تحتانی و فوقانی جو و هم از دو متغیر میانگین فشار تراز دریا و چرخندگی استفاده نموده‌اند. با توجه به این ادبیات، برای بررسی ساختار سه بعدی چرخندهای ورودی به غرب و شمال غرب ایران با منشاء دریای مدیترانه الگوریتم زیر در چهار گام تعریف شده است.

**مرحله اول: انتخاب فراگیرترین روزهای بارشی در غرب و شمال غرب ایران:** در این مرحله در گام اول ابتدا تمامی روزهای بارشی غرب و شمال غرب ایران در یک مقیاس روزانه برای یک دوره ۱۰ ساله (۲۰۱۳-۲۰۰۴) برای ماه‌های اکتبر تا می استخراج شدند. مجموع تعداد روزهای بارشی استخراج شده برای این دوره زمانی ۱۶۱۳ روز شدند. لازم به اشاره است در این پژوهش روز بارشی به عنوان روزی

جدول ۱- پارامترهایی توصیف‌کننده ویژگی‌های عمومی چرخندهای منتخب

واحد	شرح	پارامتر
	سال، ماه و روز پدیدار شدن مرکز چرخند	تاریخ
	عدد یا حرف دلخواهی که هر چرخند را در طول چرخه حیات آن به آن نام شناخته خواهد شد	کد
هکتوپاسکال	بالاترین سطح فشاری که در آن مرکز چرخند تشخیص داده می‌شود	سطح فشاری
کیلومتر	بالاتر فاصله از مرکز چرخند در میانگین تراز دریا و مرکز چرخند در تراز فشاری	فاصله تغییر
درجه (صفر درجه جهت شمال است)	جهت بین مرکز چرخند در میانگین تراز دریا و مرکز چرخند در تراز فشاری بالاتر	زاویه تغییر

1997) تا تکنیک‌های بسیار پیچیده‌تر مبتنی بر تحلیل‌های همدید و فیزیک چرخندها (Murry and Simmonds, 1999; Simmonds et al., 1999) در دسترس است. در مطالعه حاضر، از روش Alpert et al. (1990a) که با برخی از اصلاحات در کار Picornell et al. (2001) مورد

**مرحله سوم: ردیابی چرخندها در طول چرخه حیات شان:** در مرحله سوم بعد از آشکارسازی زمان و محل زایش چرخندها، مرکز آنها در طول چرخه حیات‌شان ردیابی شدند. برای این ردیابی طیف گسترده‌ای از روش‌ها، از روش‌های ساده جستجوی نزدیکترین همسایه (Trigo et al., 1999; Blender et al., 1997; Serreze et al.,

بعد در داخل دامنه بیضوی قرار بگیرد گمان می رود که همان چرخند خواهد بود، در غیر اینصورت چرخندزائی جدیدی رخ داده است. اندازه شعاع دامنه بیضوی در جدول ۲ برای تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال و دیگر ترازهای جوی آماده است.

استفاده قرار گرفته بود بهره برده شده است. در این روش هر زمان که مرکز یک چرخند در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکالی شناسایی شد، آنگاه وجود آن را در روز بعد در یک دامنه بیضوی شکل جستجو می شود. این دامنه بیضوی در طول مسیر باد و در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال به عنوان سطح هدایتی گسترش داده خواهد شد. اگر مرکز چرخند در روز

جدول ۲- شعاع جستجو (بر حسب کیلومتر) برای مراکز چرخند برای هر سطح فشار (بر حسب هکتوپاسکال) (کامپینز و همکاران، ۲۰۰۶)

شعاع (کیلومتر)	سطح (هکتوپاسکال)
۲۰۰	۱۰۰۰
۲۰۰	۹۵۰ و ۹۰۰
۲۵۰	۸۵۰ و ۸۰۰
۳۵۰	۷۵۰ و ۷۰۰
۴۰۰	۶۵۰ و ۶۰۰
۵۰۰	۵۰۰

جستجو" در هر تراز تعیین شدند. "شعاع جستجو" در واقع محدوده بیضی شکلی است (مقادیر آن بر حسب کیلومتر برای هر تراز در جدول ۲-۳ آورده شده است) که مرکز چرخند در هر تراز جوی در محدوده آن شناسایی می شود. فرایند شناسایی مرکز چرخندها براساس "شعاع جستجو" تا آنجا ادامه پیدا می کند که دیگر خبری از یک مرکز بسته از چرخند در تراز بالاتر وجود نباشد. در نهایت ویژگی های مختلف مرکز هر چرخند در ترازهای مختلف بر اساس ویژگی های تعریف شده در جدول ۳ استخراج و مورد تحلیل قرار گرفتند.

مرحله چهارم: شناسایی چرخندها در سطوح مختلف فشاری و اتصال آنها به یکدیگر: هنگامیکه تمامی ۹۶ چرخند موجد بارش های فراگیر غرب و شمال غرب ایران در تمامی ترازهای مورد مطالعه (۵۰۰-۱۰۰۰ هکتوپاسکال) شناسایی شدند، اتصال عمودی بین آنها انجام شد. همانگونه که در مرحله سوم تشریح شد، ابتدا مرکز چرخند در سطح ۱۰۰۰ هکتوپاسکالی شناسایی شد. سپس با مبنا قرار دادن این مرکز در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکالی، مرکز چرخند در دیگر ترازها (۱۰۰۰، ۹۵۰، ۹۰۰، ۸۵۰، ۸۰۰، ۷۵۰، ۷۰۰، ۶۵۰، ۶۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال) با لحاظ کردن "شعاع

جدول ۳- پارامترهای توصیف کننده ساختار عمودی چرخندهای مدیترانه‌ای موجد بارش‌های فراگیر غرب و شمال غرب ایران

واحد	شرح	پارامتر
درجه	مختصات مرکز چرخند	عرض جغرافیایی-طول جغرافیایی
هکتوپاسکال	در مرکز چرخند	میانگین فشار تراز دریا
متر	در مرکز چرخند	ارتفاع ژئوپتانسیل
سانتیگراد	در مرکز چرخند	دما
گرم بر کیلوگرم	در مرکز چرخند	رطوبت ویژه
S-1	در مرکز چرخند	چرخندگی
متر بر ثانیه	در مرکز چرخند	مؤلفه نصف النهاری باد
متر بر ثانیه	در مرکز چرخند	مؤلفه مداری باد

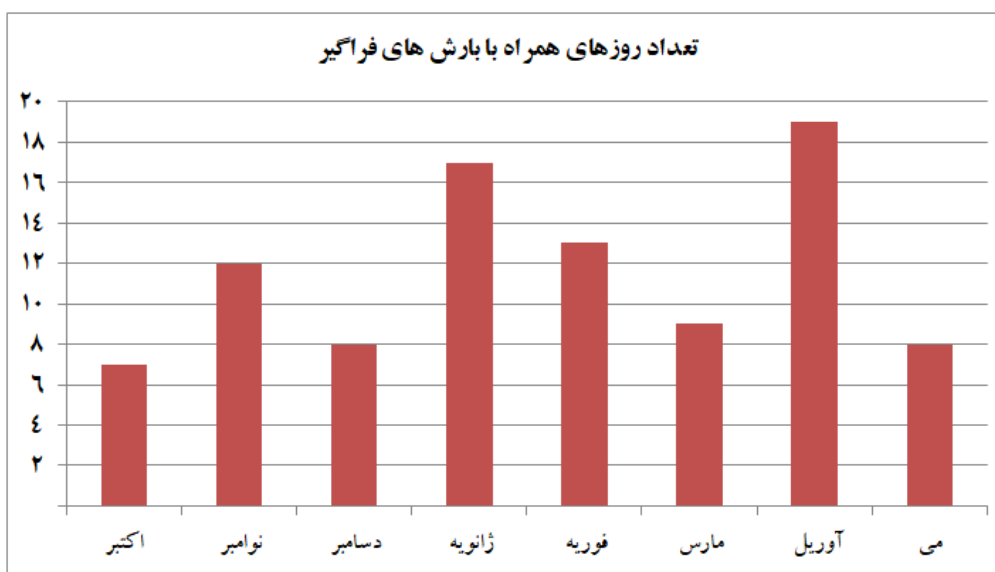
در نهایت چرخندهای شناسایی شده بر اساس معیارهای همچون ضخامت چرخندها، فصل زایش چرخندها، موقعیت جغرافیایی زایش چرخندها و مسیر حرکت آنها در طول چرخه حیات‌شان طبقه‌بندی و تحلیل شدند.

## نتایج و بحث

### بررسی ویژگی‌های زمانی و فضایی زایش چرخندهای مدیترانه‌ای موجد بارش‌های فراگیر غرب و شمال غرب ایران

جهت شناسایی چرخندهای مدیترانه‌ای و تعیین محل زایش آنها در دریای مدیترانه یک فرایند چهار مرحله‌ای پی‌موده شد. ابتدا تمامی روزهای بارشی غرب و شمال غرب ایران برای دوره سرد سال (از اکتبر تا می) و برای یک بازه زمانی ۱۰ ساله (۲۰۱۳-۲۰۰۴) شناسایی و استخراج شدند. تعداد روزهای بارشی که در این مرحله شناسایی شدند مجموعاً

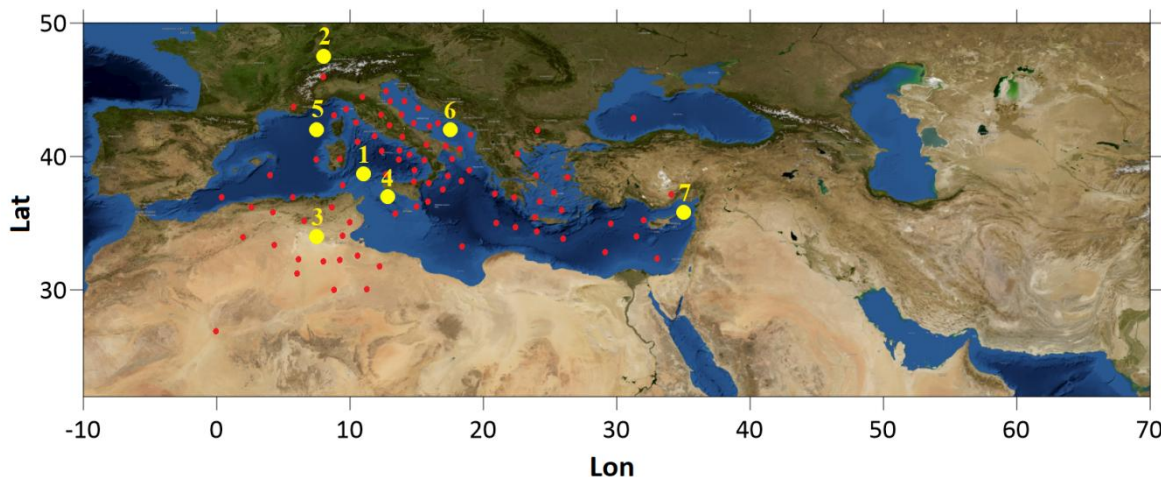
۱۶۱۳ روز بارشی بودند. در این مرحله روز بارشی به عنوان روزی تعریف شده است که حداقل یک ایستگاه از مجموع ۱۵ ایستگاه مورد مطالعه در غرب و شمال غرب ایران بارشی به اندازه ۰/۱ میلیمتر و بیشتر را ثبت کرده باشند. در مرحله دوم، از مجموع ۱۶۱۳ روز بارشی، ۹۳ روز به عنوان روزهای همراه با بارش‌های فراگیر تعیین شدند. روزهای همراه با بارش‌های فراگیر روزهایی بوده‌اند که در آن تمامی ۱۵ ایستگاه مورد مطالعه در غرب و شمال غرب ایران بارشی برابر با ۰/۱ میلی‌متر و بیشتر داشته‌اند. در شکل ۲ توزیع ماهانه این ۹۳ روز همراه با بارش‌های فراگیر در طول ماه‌های دوره سرد سال، از اکتبر تا می، آورده شده است. همانگونه که در شکل ۲ قابل مشاهده است دو ماه آوریل و ژانویه به ترتیب با ۱۹ و ۱۷ روز بارشی فراگیر بیشترین و ماه‌های اکتبر (۷ روز)، می (۸ روز) و دسامبر (۸ روز) نیز کمترین تعداد روزهای بارشی فراگیر را داشته‌اند.



شکل ۲- توزیع ماهانه تعداد روزهای همراه با بارش‌های فراگیر در بازه زمانی ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۳ برای ماه‌های دوره سرد سال

هکتوپاسکالی در یک مقیاس روزانه، ۱۰ روز قبل و ۵ روز بعد از روزهای مبنا (روز مبنا، روز وقوع بارش فراگیر در غرب و شمال غرب ایران) رسم و به صورت چشمی مورد ردیابی قرار گرفتند.

در نهایت در مرحله سوم با مبنا قرار دادن این ۹۳ روز، زمان و محل زایش چرخندهای موجد بارش‌های فراگیر غرب و شمال غرب ایران شناسایی و تعیین شدند (شکل ۳). لازم به اشاره است برای مشخص نمودن زمان و محل زایش این چرخندها، نقشه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۱۰۰۰



### تاریخ زایش هفت چرخند موجد بارش‌های فراگیر

۲۰۰۶ مارس ۲۵:۷	۲۰۰۶ مارس ۴:۵	۲۰۰۶ ژانویه ۳۰:۳	۲۰۰۴ ۱ ژانویه
	۲۰۱۲ دسامبر ۱۸:۶	۲۰۰۶ فوریه ۵:۴	۲۰۰۴ ۸ ژانویه

شکل ۳- موقعیت جغرافیایی محل زایش چرخندهای منجر به بارش‌های فراگیر غرب و شمال غرب ایران در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال (دایره‌های توپر قرمز) در یک بازه زمانی ۱۰ ساله (۲۰۱۳-۲۰۰۴) برای دوره سرد سال (از اکتبر تا می) به همراه موقعیت جغرافیایی محل زایش هفت چرخند منتخب در این مطالعه (دایره‌های توپر زرد)

سه فصل پاییز (اکتبر و نوامبر)، زمستان (دسامبر، ژانویه و فوریه) و بهار (مارس، آوریل و می) مورد بررسی قرار گرفتند. همان گونه که از جدول ۴ مشخص است در فصل پاییز هر سه نوع چرخندهای کم عمق، متوسط عمق و عمیق به یک اندازه مساوی توسعه پیدا کرده‌اند. در فصل زمستان حدود ۵۲/۶ درصد چرخندهای موجد بارش‌های فراگیر غرب و شمال غرب ایران جزء چرخندهای عمیق بوده‌اند. در حالیکه این مقدار برای فصل بهار ۱۱/۸ درصد بوده است که کمترین مقدار را در بین فصول مورد مطالعه به خود اختصاص داده است (جدول ۴). در فصل بهار بیشترین چرخندهای موجد بارش‌های فراگیر غرب و شمال غرب ایران از نوع چرخندهای کم عمق (۴۷/۱ درصد) بوده‌اند (جدول ۴). این نوع توزیع زمانی چرخندها به مکانیزم‌های اصلی چرخندزایی و همچنین گردش عمومی جو در هر فصل وابسته هستند. در فصل زمستان و به نسبت کمتر در دو فصل پاییز و بهار، به دلیل استقرار ناوهای عمیق ترازهای فوقانی جو که از جانب غرب به سمت شرق حرکت می‌کنند، شرایط برای ایجاد چرخندهای عمیق بیشتر فراهم می‌شود (Flocas et al., 2001, Campins et al., 2006).

در ادامه، برای داشتن درک عمیق‌تری از ویژگی‌های چرخندهای موجد بارش‌های فراگیر غرب و شمال غرب ایران در زمان زایش‌شان، در قالب چهار نوع طبقه بندی: ضخامت، فصل، مکان زایش و مسیر حرکت، ویژگی‌های آنها در دو بعد قائم و افقی مورد توجه قرار گرفتند.

### طبقه بندی چرخندها بر اساس ضخامت آنها

بعد از تعیین زمان و مکان زایش چرخندهای مورد مطالعه در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال، مراکز دیگر این چرخندها در دیگر ترازها نیز شناسایی و نیمرخ قائم آنها تا تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال رسم شدند. از لحاظ ضخامت (گسترش عمودی چرخند در داخل جو) می‌توان چرخندها را در سه دسته چرخندهای کم عمق، چرخندهای متوسط عمق و چرخندهای عمیق طبقه بندی نمود. چرخندهای کم عمق، متوسط عمق و عمیق به ترتیب چرخندهایی هستند که از میانگین سطح دریا تا تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، از میانگین سطح دریا تا تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال و از میانگین سطح دریا تا تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال گسترده شده‌اند (Campins et al., 2006). بر اساس این طبقه بندی، تمامی ۹۳ چرخند موجد بارش‌های فراگیر غرب و شمال غرب ایران در قالب



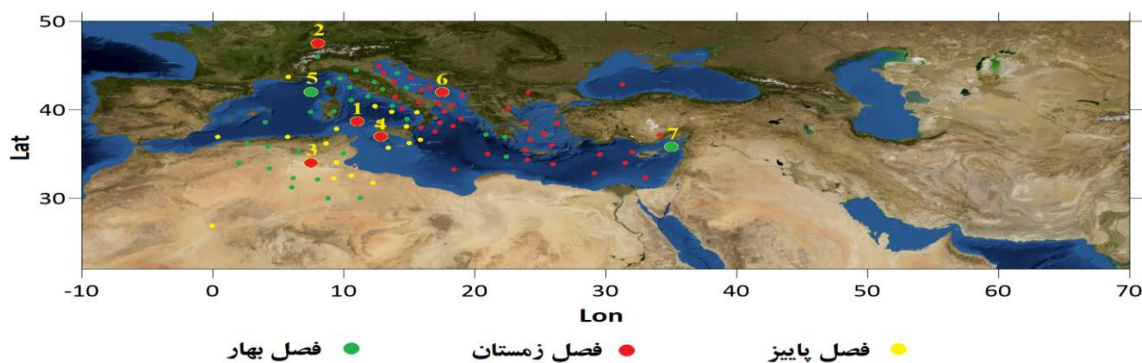
جدول ۴- طبقه بندی فراوانی فصلی (بر حسب درصد) مراکز چرخندها بر اساس ضخامت آنها در زمان پدیدار شدن آنها در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال

طبقه بندی چرخندها	پاییز	زمستان	بهار
چرخندهای کم عمق	۳۱/۶	۲۱	۴۷/۱
چرخندهای متوسط عمق	۳۱/۶	۲۶/۳	۴۱/۲
چرخندهای عمیق	۳۶/۸	۵۲/۷	۱۱/۷

### طبقه بندی چرخندها بر اساس فصل

از ۹۳ چرخند موجد بارش های فراگیر غرب و شمال غرب ایران، ۲۰/۹ درصد آنها در فصل پاییز، ۴۱/۷ درصد آنها در فصل زمستان و ۳۷/۴ درصد آنها در فصل بهار متولد شده‌اند. شکل ۴ موقعیت فضایی مرکز هر چرخند به تفکیک فصل در زمان زایش شان را نشان می‌دهد. در این نقشه دایره‌های توپر زرد مربوط به فصل پاییز، دایره‌های توپر قرمز مربوط به فصل زمستان و دایره‌های توپر سبز مربوط به فصل بهار هستند. با دقت در توزیع فضایی مراکز چرخندها در فصول مختلف سال مشاهده می‌شود که مراکز چرخندها در دو فصل پاییز و بهار تمایل بیشتری به تشکیل در نیمه غربی و بر روی خشکی‌ها دارد. اما در فصل زمستان شرایط مقداری متفاوت‌تر است و مراکز چرخندها تمایل دارند بیشتر در

نیمه شرقی و بر روی دریاها شکل بگیرند. این توزیع فضایی مراکز چرخندها در فصول مختلف سال نشان دهنده ویژگی‌های حرارتی چرخندهای شکل گرفته در حوضه دریای مدیترانه است. در طول فصل بهار و تا حدودی کمتر در فصل پاییز، واکنش متفاوت دریا و خشکی به گرمایش حرارتی، باعث ایجاد کم فشار بر روی خشکی‌ها می‌شود. اما در فصل زمستان دریای مدیترانه در مقایسه با خشکی‌های اطراف آن به یک استخر بزرگ آب گرم تبدیل شده و چرخندها به شدت تمایل دارند بر روی آن شکل بگیرند (برای دریافت جزئیات بیشتر در خصوص ارتباط بین میانگین فشار سطح دریا و میانگین دمای سطح دریا در حوضه دریای مدیترانه به منبع Radinovic (1987) مراجعه نمایید.



شکل ۴- طبقه بندی مراکز چرخندی موجد بارش های فراگیر غرب و شمال غرب ایران بر اساس فصل. دایره های توپر زرد مربوط به فصل پاییز، دایره های توپر قرمز مربوط به فصل زمستان و دایره های توپر سبز مربوط به فصل بهار

### طبقه بندی چرخندها بر اساس موقعیت جغرافیایی

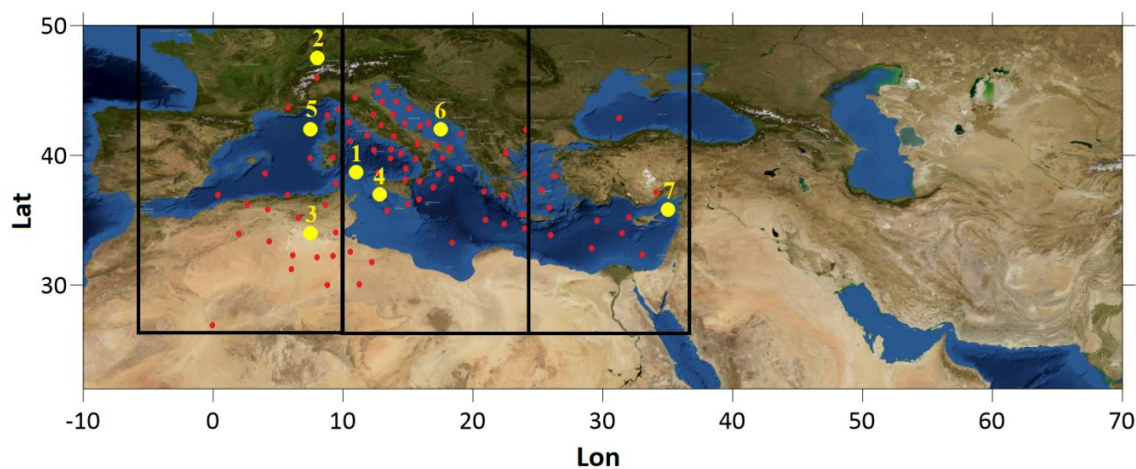
#### زایش آنها

همانطور که قبلاً ذکر شد، مراکز چرخندها در زمان زایش شان در کل حوضه آبریز دریای مدیترانه پراکنده هستند، اما در بعضی مناطق فراوانی آنها بیشتر می‌باشد. اگر حوضه

آبریز دریای مدیترانه را به سه بخش غربی، مرکزی و شرقی تقسیم شود مشاهده می‌شود که حدود ۵۹/۱ درصد مراکز چرخندهایی که موجد بارش‌های فراگیر غرب و شمال غرب ایران شده‌اند در قسمت مرکزی دریای مدیترانه متولد شده‌اند. غرب و شرق دریای مدیترانه نیز با ۲۷/۹ و ۱۲/۹ درصد در رتبه‌های بعدی قرار دارند (شکل ۵). بسیاری از

بخش مرکزی دریای مدیترانه را یکی از مناطق اصلی چرخندزایی دریای مدیترانه به خصوص در فصل زمستان معرفی نموده است. همچنین (Mahras et al. 2002) بر اساس نیمرخ های قائم ارتفاع ژئوپتانسیل و چرخندگی نشان داده اند که در فصل زمستان، چرخندهای شکل گرفته در بخش مرکزی دریای مدیترانه به خصوص در خلیج جنوا که به علت اختلاف حرارتی بین دریا و خشکی شکل می گیرند و در یک مقیاس همدید بسیار قدرتمند هستند.

چرخندهایی که در بخش مرکزی دریای مدیترانه تشکیل می شوند جزء چرخندهای عمیق هستند، هرچند چرخندهای کم عمق نیز در این قسمت از دریای مدیترانه به نسبت بسیار کمتری نیز تشکیل می شوند. بنابراین شرایط بادپناهی رشته کوه های آلپ و واداشت های حرارتی (تفاوت دمای بین سطح دریا و سطح خشکی ها) می توانند علل اصلی پیدایش این چرخندها در این قسمت از دریای مدیترانه باشند. (Buzzi and Speranza 1983) چرخندزایی در بادپناه رشته کوه های آلپ را به طور کامل تشریح نموده و



شکل ۵- طبقه بندی محل زایش چرخندهای موجد بارش‌های فراگیر غرب و شمال غرب ایران

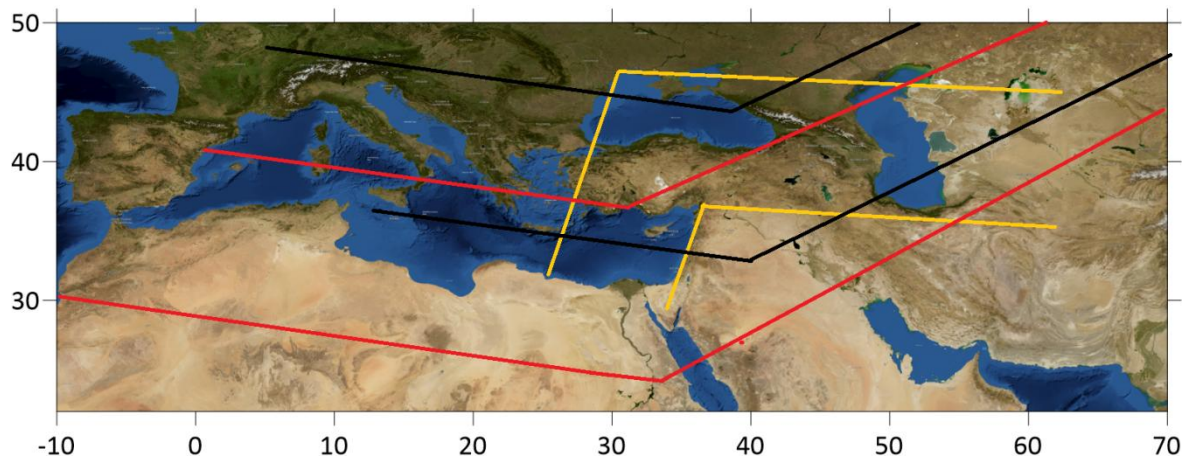
قسمت از ایران را سبب می‌شوند. این کریدور مسیر اصلی چرخندهای فصل زمستان، اواخر فصل پاییز و اوایل فصل بهار به شمار می‌روند. دومین کریدور که تقریباً ۱۶۷۷ چرخندها از طریق آن مسیر خود را به سمت شرق دریای مدیترانه و در نهایت غرب و شمال غرب ایران پیمایش می‌کنند، کریدوری است که با رنگ سیاه در شکل ۶ مشخص شده است. این کریدور چرخندها را به گونه‌ای هدایت می‌کند که آنها در طی مسیر خود به سمت ایران با چرخندهای دریای سرخ ادغام نشده و به صورت مستقل بارش های غرب و شمال غرب ایران را سبب شده اند. این کریدور مسیر اصلی چرخندهای اوایل فصل پاییز و اواخر فصل بهار به شمار می‌روند. هرچند در فصل زمستان نیز چرخندهایی مشاهده شده است که از طریق این کریدور رطوبت خود را به غرب و شمال غرب ایران رسانده اند. در نهایت کریدور سوم که با رنگ زرد در شکل ۶ مشخص

### طبقه بندی چرخندها براساس مسیر حرکت آنها

مسیر چرخه حیات ۹۳ چرخندی که موجد بارش‌های فراگیر غرب و شمال غرب ایران شده اند بررسی و بر روی یک نقشه در یک مقیاس روزانه ترسیم شدند. بعد از ترسیم تمامی مسیرهای پیموده شده توسط چرخندها از زمان زایش تا زمان ناپدید شدن شان مشخص شد که می‌توان همگی آنها را در سه کریدور اصلی دسته بندی کرد. در شکل ۶ سه کریدور اصلی که چرخندها در آن طی طریق نموده تا بارش های فراگیر غرب و شمال غرب ایران را سبب شوند مشخص شده است. مهمترین کریدور، کریدور قرمز رنگی است که حدود ۸۱/۶ درصد چرخندهای مورد مطالعه از طریق آن طی طریق نموده و بارش‌های فراگیر غرب و شمال غرب ایران را سبب شده‌اند. لازم به اشاره است که این چرخندها در طی مسیر خود به سمت ایران با چرخندهای دریای سرخ ادغام و بارش‌های فراگیر این

شرایط را برای انتقال رطوبت این دریا بر روی غرب و شمال غرب ایران فراهم می‌کنند.

شده است تنها ۲ درصد از چرخندها را که آن هم متعلق به فصل بهار می باشد به سمت غرب و شمال غرب ایران هدایت می کند. این چرخندها با عبور از روی دریای سیاه،



شکل ۶- کریدورهای اصلی مسیر چرخندهای مدیترانه‌ای موجد بارش‌های فراگیر غرب و شمال غرب ایران

حرکت و مکان ناپدید شدن این چرخند نشان داده شده است.

در شکل ۸ مشاهده می‌شود که هسته مرکزی این چرخند در روز اول بر روی خشکی های جنوب اروپا، در دامنه بادپناه رشته کوه‌های آلپ شکل گرفته است. بنابراین علت وجودی تشکیل این چرخند در ابتدا می‌تواند به دلیل شرایط بادپناهی رشته کوه‌های آلپ باشد. (Campins et al. (2006) تشریح کرده‌اند چرخندهایی را که بر روی خشکی‌ها شکل می‌گیرند می‌توانند جزء کم‌فشارهای حرارتی یا اوروگرافیکی باشند که گسترش عمودی زیادی در داخل جو ندارند. گسترش عمودی این چرخند در روز اول تا تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال بوده است. این شرایط در روز دوم نیز استمرار پیدا می‌کند. اما در روز سوم با جابجایی شرق سوی مرکز این چرخند و استقرار آن بر روی دریا بر گسترش عمودی آن تا تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال افزوده می‌شود. با دریافت رطوبت و گرمای بیشتر ضخامت این چرخند در روز چهارم به تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال افزایش پیدا می‌کند. در روز پنجم مرکز این چرخند در غربی‌ترین موقعیت خود بر روی دریای مدیترانه قرار می‌گیرد. در این روز یکی از فراگیرترین روزهای بارشی غرب و شمال غرب ایران اتفاق می‌افتد. در این روز غرب و شمال غرب ایران به طور میانگین ۱۶ میلیمتر بارش دریافت نموده است.

## بررسی ساختار سه بعدی چرخندهای منتخب

### منشاء گرفته از دریای مدیترانه

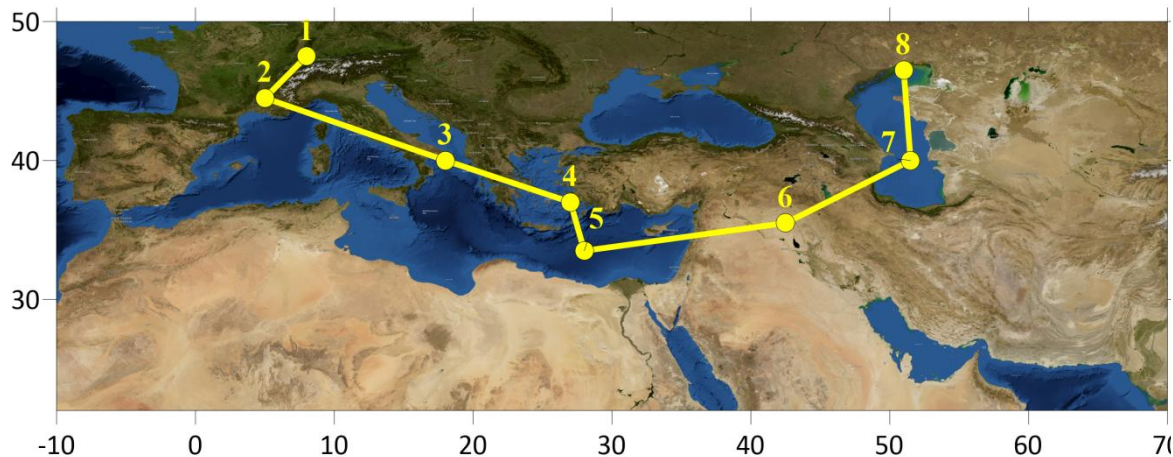
با توجه به اینکه هدف اصلی این مطالعه شناخت ویژگی‌های سه بعدی چرخندهای مدیترانه‌ای موجد بارش‌های فراگیر غرب و شمال غرب ایران می باشد، لذا دو چرخند از ۹۳ چرخند مورد مطالعه به عنوان چرخندهای نمونه انتخاب و ویژگی‌های سه بعدی آنها مورد توجه قرار گرفت. در شکل ۳ محل زایش این چرخندها با دایره‌های توپر زرد رنگ در دریای مدیترانه همراه با تاریخ وقوع بارش‌های فراگیر غرب و شمال غرب ایران آورده شده است.

### چرخند شماره ۲

اولین چرخندی که ساختار سه بعدی آن مورد توجه قرار گرفته است چرخندی بوده است که چرخه حیات آن ۸ روز به درازا کشیده است. مرکز بسته این چرخند، برای اولین بار، در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال، در تاریخ ۸ ژانویه ۲۰۰۴ (۱۸ دی ۱۳۸۲) در شمال خلیج جنوا، در حوالی رشته کوه‌های آلپ مشاهده و در تاریخ ۱۵ ژانویه ۲۰۰۴ (۲۵ دی ۱۳۸۲) مرکز بسته آن در شمال دریای خزر ناپدید شده است (شکل ۷). در شکل ۷ به روشنی مکان زایش، مسیر

می‌باید به طوریکه در روز هشتم که مصادف با ناپدید شدن مرکز چرخند در شما دریای خزر است، بارش‌های فراگیر این منطقه از ایران به پایان می‌رسد.

ایستگاه کرمانشاه با ۳۴ میلیمتر بیشترین و ایستگاه همدان با ۴/۵ میلیمتر کمترین بارش را در این روز داشته‌اند. در روز ششم با ورود مرکز چرخند به داخل خشکی‌های شرق دریای مدیترانه، بارش‌های غرب و شمال غرب ایران تقلیل



شکل ۷- مکان زایش، مسیر حرکت و مکان ناپدید شدن چرخند ۸ ژانویه ۲۰۰۴

چرخند در این دو روز، یک لایه وارونگی در ترازهای ۹۵۰ تا ۹۰۰ هکتوپاسکال مشاهده می‌شود. اما در روز سوم با جابجایی مرکز این چرخند بر روی دریای مدیترانه، لایه وارونگی از بین رفته و دما در مرکز چرخند با افزایش ارتفاع کاسته می‌شود. این شرایط تا روز هشتم، یعنی زمان ناپدید شدن مرکز چرخند به روشنی قابل مشاهده است. اما در روزهای چهارم و پنجم که مرکز چرخند هنوز بر روی دریای مدیترانه مستقر است، دمای مرکز چرخند در تمامی ترازهای جوی افزایش پیدا کرده است. در روز ششم که مرکز چرخند از روی پهنه آبی دریای مدیترانه بر روی خشکی‌های انتقال پیدا می‌کند، دما در مراکز چرخند در سطوح مختلف جوی کاهش پیدا کرده و این کاهش به گونه‌ای است که در روز هشتم دمای مرکز چرخند در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال به صفر درجه سانتیگراد می‌رسد (شکل ۸). همین ساختار سه بعدی برای نیمرخ‌های قائم رطوبت ویژه نیز قابل مشاهده است. بیشترین مقدار رطوبت ویژه در روزهای چهارم و پنجم، روزهایی که غرب و شمال غرب ایران دارای بارش فراگیر بوده‌اند مشاهده شده است (شکل ۸).

نیمرخ قائم مؤلفه‌های نصف النهاری و مدارای باد در مرکز چرخند در ترازهای مختلف جوی نیز مورد بررسی قرار

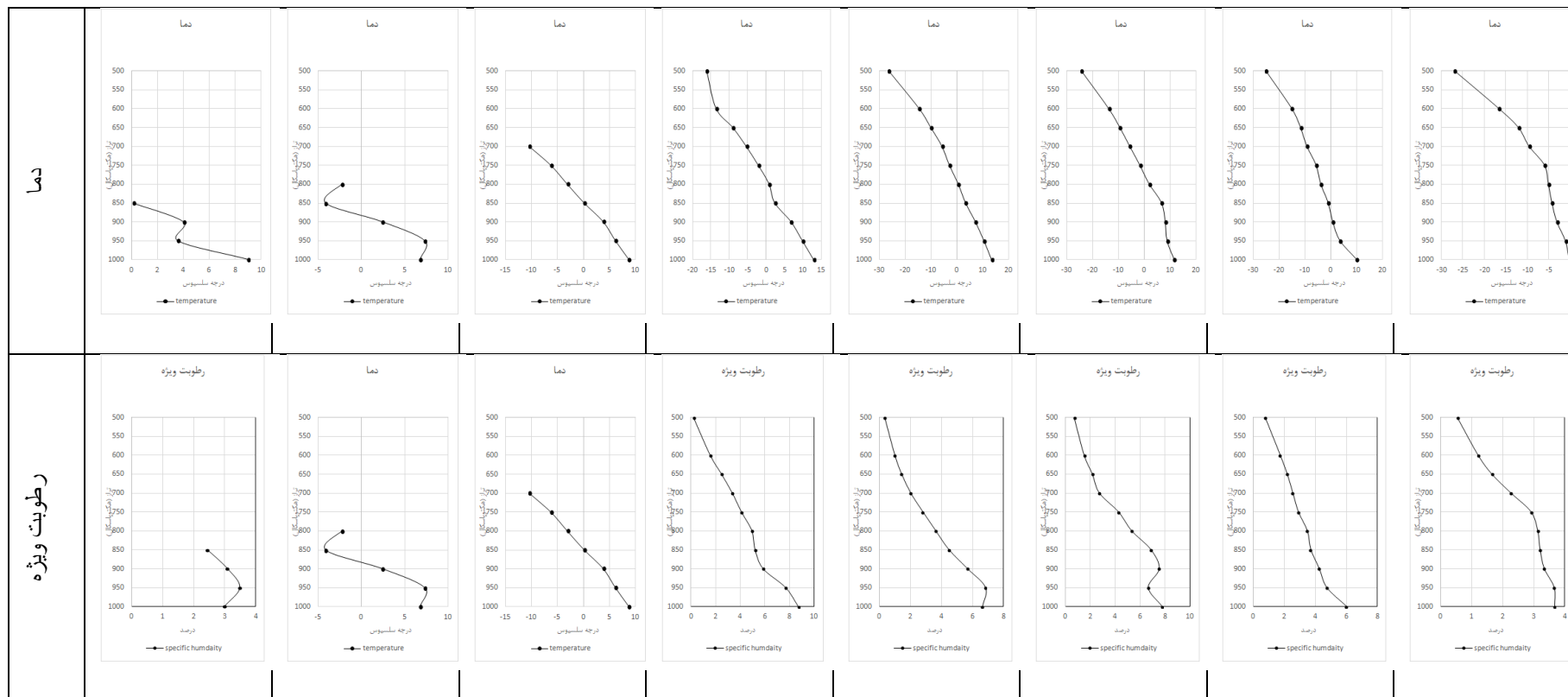
مقادیر چرخندگی در مراحل اولیه شکل‌گیری چرخند (دو روز اول حیات چرخند) در ترازهای مختلف جوی شرایط متفاوتی را نشان می‌دهند. به طوریکه در روزهای اول و دوم پیدایش این چرخند در بعضی از ترازها مقادیر مثبت (گردش چرخندی) و در بعضی دیگر مقادیر منفی (گردش و اچرخندی) مشاهده می‌شود. اما با اسقرار این چرخند بر روی دریا در روز سوم، مرکز چرخند در تمامی لایه‌ها، چرخندگی مثبت را نشان می‌دهند به طوریکه بیشترین مقدار آن در تراز ۹۵۰ هکتوپاسکال مشاهده می‌شود. از روز چهارم تا روز هشتم که چرخند دارای بیشترین گستردگی عمودی خود است، مقادیر چرخندگی در مرکز چرخند در تمامی سطوح، مثبت (گردش چرخندی) می‌باشد. در روز پنجم که مصادف با وقوع فراگیرترین بارش در غرب و شمال غرب ایران می‌باشد، مقادیر چرخندگی در تمامی سطوح، بالاترین مقادیر خود را در طول این هشت روز دارا هستند (شکل ۸).

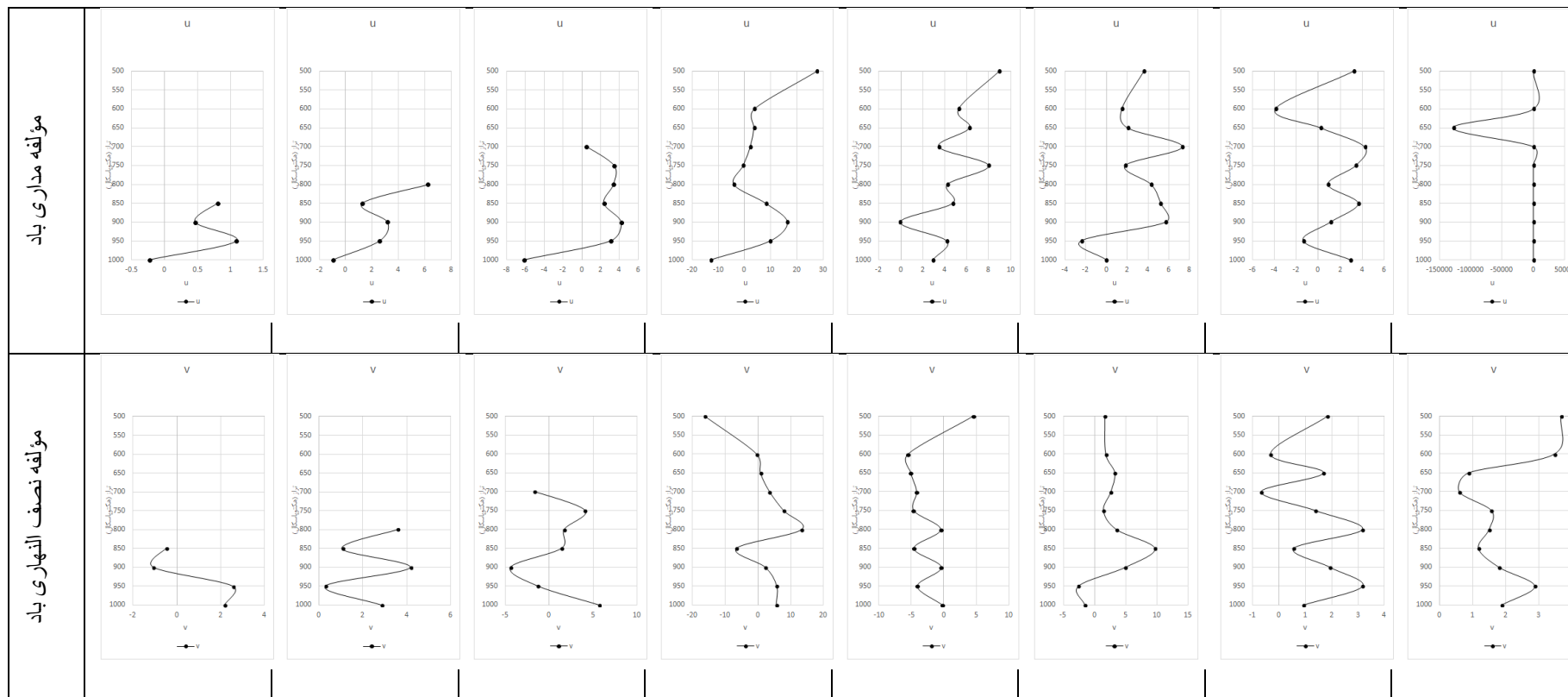
تغییرات دما در طول حیات ۸ روزه این چرخند نیز قابل توجه است. در دو روز اول پیدایش این چرخند، بر روی خشکی‌های جنوب اروپا، مشاهده می‌شود که دمای هوا در مرکز چرخند، در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال، حدود ۷ تا ۹ درجه سانتیگراد می‌باشد. با رسم نیمرخ قائم دمای این



گرفت. مؤلفه مداری باد به استثنای تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال، در اکثر ترازها مقادیر مثبت را نشان داده‌اند. مقادیر مثبت این مؤلفه حاکی از غرب سو بودن جهت باد می‌باشد. بالاترین مقدار این مؤلفه در طول حیات این چرخند، در روز چهارم، روزی که غرب و شمال غرب ایران بارش فراگیر داشته‌اند مشاهده گردید. در روز هشتم نیز که مصادف با ناپدید شدن مرکز این چرخند در شمال دریای خزر بوده است مقادیر این مؤلفه در بیشتر ترازها تغییر علامت داده و مقادیر آنها منفی شده‌اند. مقادیر منفی این مؤلفه حاکی از جهت غربی باد می‌باشد (شکل ۸). مؤلفه نصف‌النهاری باد نشان دهنده جهت‌های شمالی و جنوبی باد هستند. مقادیر مثبت این مؤلفه جهت شمال و مقادیر منفی آن جهت جنوب را نشان می‌دهند. نیمرخ‌های قائم مؤلفه نصف‌النهاری باد در روزهای مختلف چرخه حیات این چرخند شرایط گوناگونی را نشان می‌دهد. در چهار روز اول حیات این چرخند، به تناوب هم مقادیر مثبت و هم مقادیر منفی مشاهده می‌شود. اما مقادیر مثبت آن بیشتر می‌باشد. بیشترین مقادیر این مؤلفه نیز در روز چهارم یعنی روز همراه با بارش‌های فراگیر غرب و شمال غرب ایران مشاهده شد. در روز پنج با ورود مرکز این چرخند به داخل خشکی‌های شرق دریای مدیترانه، مقدار مؤلفه نصف‌النهاری باد در تمامی ترازها منفی (جهت جنوبی) را نشان دادند. جدا از این روز که یک استثنا در بین تمامی هشت روز حیات این چرخند بود، در دیگر روزهای باقیمانده یعنی روزهای ششم، پنجم و هشتم، جهت شمالی‌بادهای حاکمیت داشته‌اند (شکل ۸). در مقایسه بین دو مؤلفه نصف‌النهاری و مداری باد در طول چرخه حیات این چرخند مشاهده شد که مقادیر مؤلفه مداری باد بسیار بیشتر از مؤلفه نصف‌النهاری آن بوده است.

متغیر	روز اول	روز دوم	روز سوم	روز چهارم	روز پنجم	روز ششم	روز هفتم	روز هشتم
ارتفاع ژئوپتانسیل	<p>ارتفاع ژئوپتانسیل فشار</p>	<p>ارتفاع ژئوپتانسیل فشار</p>	<p>ارتفاع ژئوپتانسیل فشار</p>	<p>ارتفاع ژئوپتانسیل فشار</p>	<p>ارتفاع ژئوپتانسیل فشار</p>	<p>ارتفاع ژئوپتانسیل فشار</p>	<p>ارتفاع ژئوپتانسیل فشار</p>	<p>ارتفاع ژئوپتانسیل فشار</p>
تاوایی	<p>تاوایی</p>	<p>تاوایی</p>	<p>تاوایی</p>	<p>تاوایی</p>	<p>تاوایی</p>	<p>تاوایی</p>	<p>تاوایی</p>	<p>تاوایی</p>



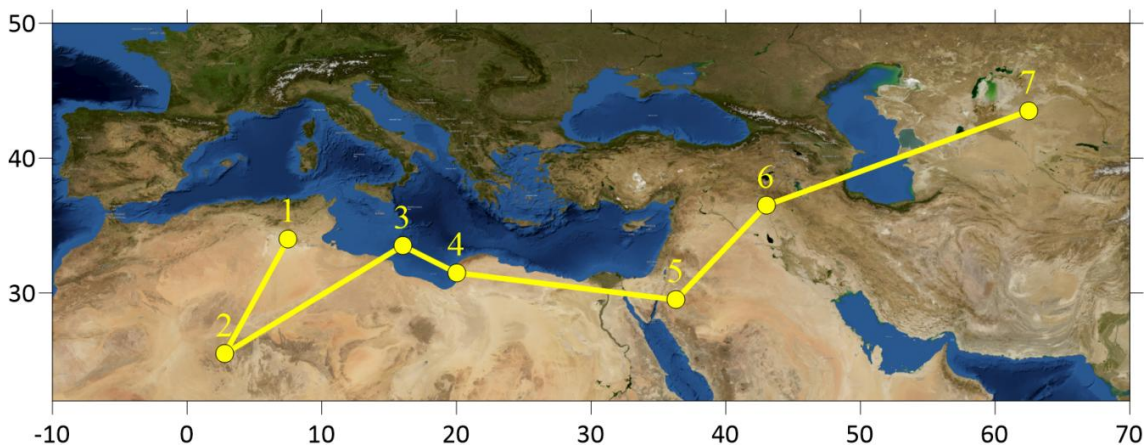


شکل ۸- نیمرخ قائم شش متغیر ارتفاع ژئوپتانسیل، چرخندگی، دما، رطوبت ویژه، مؤلفه نصف النهاری و مداری باد برای ۱۱ تراز جوی (از تراز ۱۰۰۰ تا تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال) برای چرخند ۸ ژانویه ۲۰۰۴



## چرخند شماره ۳

هسته مرکزی چرخند شماره ۳ برای اولین بار در شمال آفریقا بر روی کشور الجزایر در تاریخ ۳۰ ژانویه ۲۰۰۶ (۱۰ بهمن ۱۳۸۴) مشاهده شد. طول حیات این چرخند ۷ روز به درازا کشیده و در ۶ فوریه ۲۰۰۶ (۱۷ بهمن ۱۳۸۴) هسته



شکل ۹- مکان زایش، مسیر حرکت و مکان ناپدید شدن چرخند ۳۰ ژانویه ۲۰۰۶

جو اجازه این ماندگاری را به مراکز چرخندها نداده و آنها را به سمت دریای مدیترانه سوق می‌دهد.

نیمرخ قائم مقادیر چرخندگی برای روز اول، در ترازهای مختلف جوی، در مرکز چرخند، نشان می‌دهد که به استثنای تراز ۹۵۰ هکتوپاسکال که مقدار آن منفی (چرخش آنتی سیکلونی) بوده است در دیگر ترازها مقادیر آن مثبت (چرخش سیکلونی) می‌باشد. بالاترین مقدار چرخندگی در این روز در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال مشاهده شده است. از روز دوم تا روز هفتم، مقادیر چرخندگی برای تمامی ترازهای مورد مطالعه مقادیر مثبت را نشان می‌دهند. در روز سوم و چهارم مقادیر چرخندگی در مرکز چرخند به بالاترین مقادیر خود رسیده است. دلیل بالا رفتن مقادیر چرخندگی در این دو روز، قرارگیری هسته چرخند بر روی دریای مدیترانه بوده است. بعد از این دور روز مجدداً هسته چرخند به روی خشکی‌ها انتقال پیدا می‌کند. این انتقال همراه با کاهش مقدار چرخندگی در مرکز آن می‌باشد. نکته مهمی که در نیمرخ‌های قائم این چند روز بایستی بدان توجه کرد آن است که در زمان استقرار مرکز چرخند (روزهای سوم و چهارم) بر روی دریای مدیترانه بالاترین مقادیر چرخندگی در سطوح تحتانی (۸۵۰-۱۰۰۰ هکتو

ضخامت (گسترش عمودی) این چرخند در اولین روز پیدایش در تاریخ ۳۰ ژانویه ۲۰۰۶ (۱۰ بهمن ۱۳۸۴) تا تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال گستردگی داشته است. در روزهای دوم و ششم، ضخامت آن به ترازهای ۵۰۰ هکتوپاسکال رسید، اما در روز هفتم، یعنی در آخرین روز حیات این چرخند، ضخامت آن کاهش پیدا کرده و به تراز ۶۰۰ هکتوپاسکال رسیده است (شکل ۱۰). (Horvath et al. (2006 در تبیین تشکیل این نوع چرخندها بر روی شمال آفریقا به خصوص در قسمت بادپناه رشته کوه‌های اطلس توضیح داده اند که دلیل وجودی این نوع چرخندهای کم عمق و متوسط عمق در روز اول پیدایش شان در این قسمت از حوزه دریای مدیترانه به دلیل شرایط چرخندزایی بادپناهی کوه‌های اطلس بوده است، به خصوص در این مرحله (مرحله پیدایش)، سامانه‌های بندالی بادپناهی رشته کوه‌های اطلس نقش پر رنگی را بازی می‌کنند. آنها همچنین با بررسی مسیر چند نمونه چرخند تشکیل شده در این قسمت از حوزه دریای مدیترانه توضیح می‌دهند شرایط بادپناهی در رشته کوه‌های اطلس تمایل شدیدی به ثابت نگه داشتن مرکز چرخندها بر روی شمال آفریقا دارند، اما عوامل دینامیکی سطوح فوقانی

هکتوپاسکال) بوده است. در روز پنجم غرب و شمال غرب ایران به طور میانگین  $17/5$  میلی‌متر بارش داشته است (شکل ۱۰).

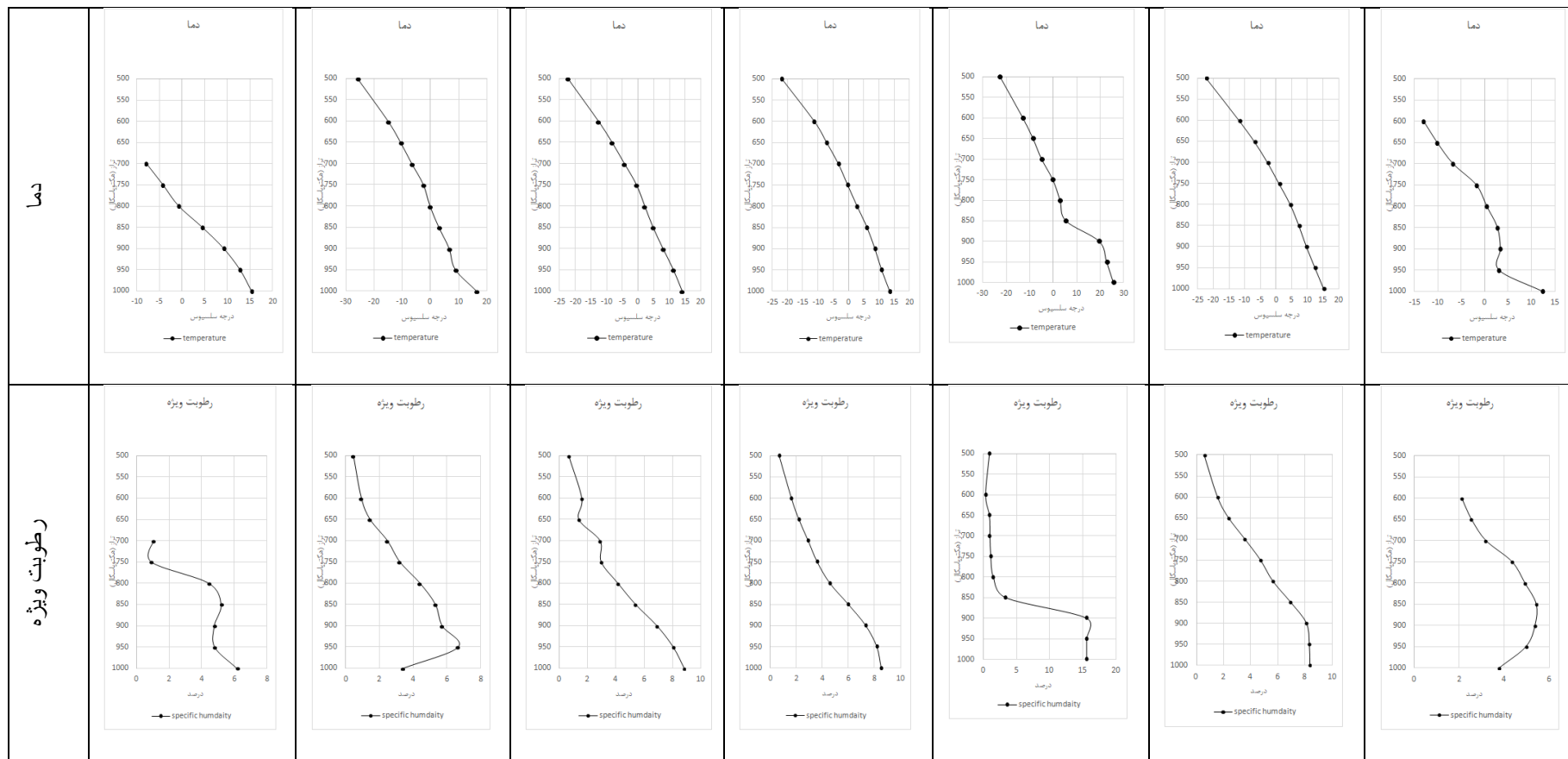
بارش‌های فراگیر غرب و شمال غرب ایران مشاهده نمود. در این روز هسته مرکزی چرخند با استقرار بر روی خشکی‌های شرق دریای مدیترانه، رطوبت ویژه آن به ناگاه در سه تراز  $1000$ ،  $950$  و  $900$  هکتوپاسکالی به  $16$  گرم بر کیلوگرم هوای مرطوب می‌رسد. دلیل این افزایش تزریق رطوبت اقیانوس هند و دریای سرخ به داخل این چرخند است. نکته جالب توجه در نیمرخ قائم این متغیر در این روز، کاهش بسیار شدید رطوبت از تراز  $850$  هکتوپاسکالی به بالا می‌باشد. در روزهای ششم و هفتم نیز کاهش رطوبت را در تمامی ترازها می‌توان مشاهده کرد (شکل ۱۰).

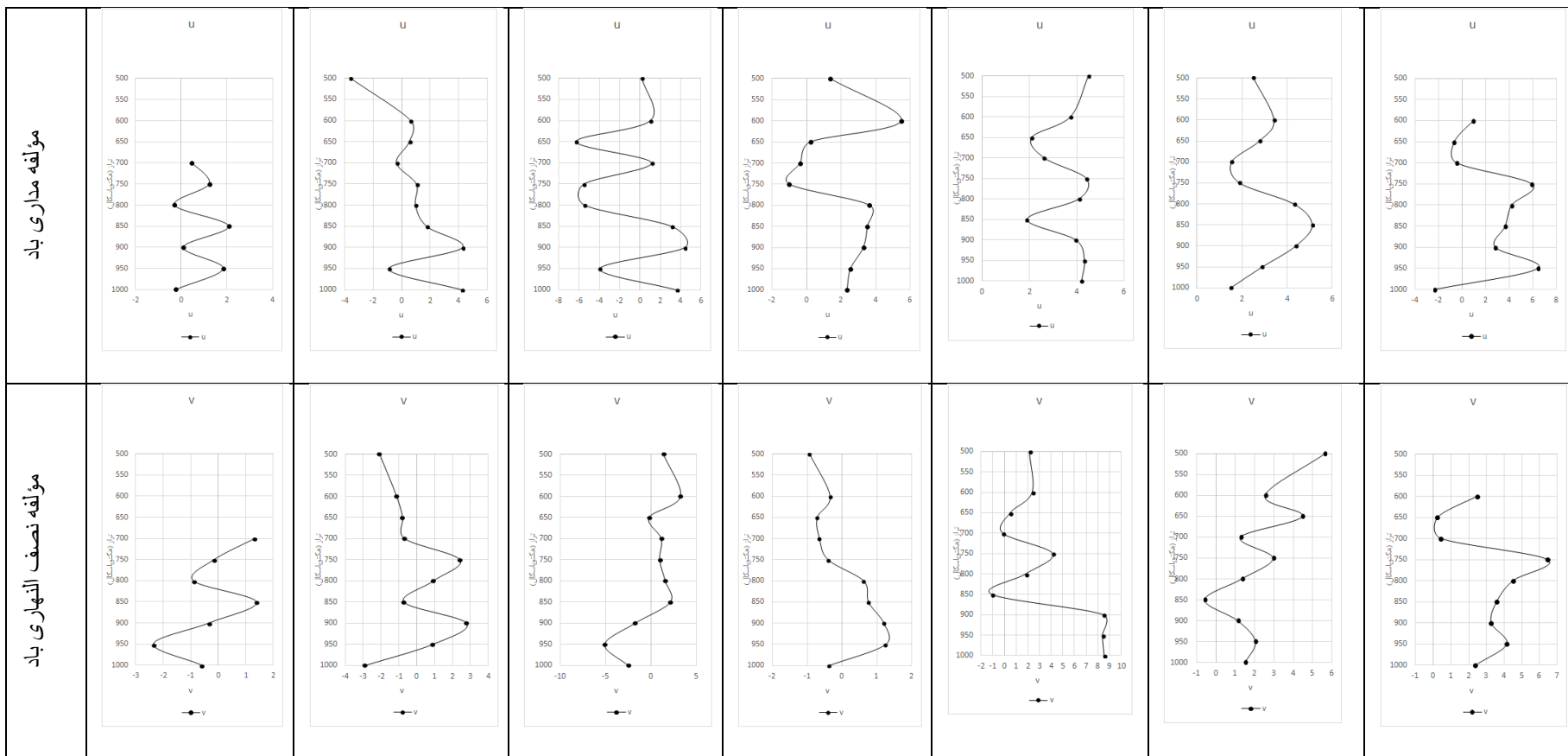
نیمرخ‌های قائم دو مؤلفه مداری و نصف‌النهاری باد در مرکز چرخند نیز نشان می‌دهند که در بیشتر ترازهای مورد مطالعه مقدار مؤلفه مداری باد مثبت (دارای جهت شرقی) بوده است. اما در روز سوم که مرکز چرخند از روی خشکی بر روی آب‌های دریای مدیترانه قرار می‌گیرد، الگوی مداری باد مقداری تغییر پیدا می‌کند و در ترازهای  $950$ ،  $800$  و  $750$  و  $650$  مؤلفه مداری باد غرب سو می‌شود. در روز پنجم (روز بارش فراگیر غرب و شمال غرب ایران) در تمامی یازده تراز مورد مطالعه مؤلفه مداری باد شرق سو می‌باشد و این الگو تقریباً تا روز هفتم در بیشتر ترازها مشاهده می‌شود (شکل ۴-۶). نیمرخ‌های قائم مؤلفه نصف‌النهاری باد در چهار روز اول حیات این چرخند الگوی خاصی را نشان نمی‌دهد و مقادیر آن نیز بسیار اندک هستند. اما در روز پنجم تا روز هفتم مؤلفه نصف‌النهاری باد کاملاً شمال سو می‌شود و در روز پنجم، بالاترین مقدار این مؤلفه در بین دیگر روزها را شاهد هستیم (شکل ۱۰).

پاسکال) و در روزهای پنجم و ششم که همزمان با روز بارش فراگیر غرب و شمال غرب ایران بوده است، بالاترین مقادیر چرخندگی مربوط به ترازهای فوقانی ( $650-500$ ) نیمرخ‌های قائم رسم شده برای دمای مرکز چرخند در ترازهای مختلف جوی ( $11$  تراز منتخب) نشان می‌دهند که تغییرات دما در شکل قائم خود تابع ارتفاع بوده و به ازای افزایش ارتفاع، دمای مرکز چرخند نیز در ترازهای مختلف جوی کاهش می‌یابد. در طول حیات هفت روزه این چرخند هیچگونه وارونگی دمایی مشاهده نشد. اما در بعد افقی با جابجایی شرق سوی مرکز چرخند، دمای آن تغییراتی داشته است. در دو روز اول پیدایش این چرخند بر روی خشکی‌های شمال آفریقا، دمای مرکز چرخند بین  $15$  تا  $16$  درجه سانتیگراد بوده است. اما در دو روز سوم و چهارم که مرکز چرخند بر روی دریای مدیترانه قرار گرفته است، دمای آنها به حدود  $13$  درجه کاهش پیدا می‌کند این کاهش می‌تواند به دلیل تبخیر بیشتر و در نهایت انتقال گرما به صورت گرمای نهان تبخیر به داخل چرخند باشد. در روز پنجم که بارش‌های فراگیر غرب و شمال غرب ایران نیز به وقوع پیوسته است، دما به اندازه  $10$  درجه در مرکز چرخند افزایش پیدا می‌کند. علت این افزایش می‌تواند آزاد شدن گرمای نهان تبخیر در داخل چرخند، صعود هوای گرم و در نتیجه وقوع بارش باشد (شکل ۱۰).

نیمرخ‌های قائم رطوبت ویژه نیز تقریباً از همان الگوهای دمایی پیروی می‌کنند، یعنی با افزایش ارتفاع، میزان رطوبت ویژه کاهش پیدا می‌کند. در روزهای اول و دوم که چرخند در حال شکل‌گیری بر روی خشکی‌های شمال آفریقا است، رطوبت در مرکز چرخند نسبتاً کم می‌باشد به طوری که در روز اول بالاترین مقدار رطوبت ویژه ( $6$  گرم بر کیلوگرم هوای مرطوب) در تراز  $1000$  هکتوپاسکال و در روز دوم ( $7$  گرم بر کیلوگرم هوای مرطوب) در تراز  $950$  هکتوپاسکال مشاهده می‌شود. در روز سوم و چهارم با استقرار هسته مرکزی این چرخند بر روی دریای مدیترانه، مقدار رطوبت ویژه افزایش پیدا می‌کند به طوری که مقدار آن در تراز  $1000$  هکتوپاسکال به بالاترین مقدار ( $9$  گرم بر کیلوگرم هوای مرطوب) می‌رسد. اما مهمترین تغییر در میزان رطوبت ویژه را می‌توان در روز پنجم، مصادف با

متغیر	روز اول	روز دوم	روز سوم	روز چهارم	روز پنجم	روز ششم	روز هفتم
ارتفاع ژئوپتانسیل	<p>ارتفاع ژئوپتانسیل افشار</p>	<p>ارتفاع ژئوپتانسیل افشار</p>	<p>ارتفاع ژئوپتانسیل افشار</p>	<p>ارتفاع ژئوپتانسیل افشار</p>	<p>ارتفاع ژئوپتانسیل افشار</p>	<p>ارتفاع ژئوپتانسیل افشار</p>	<p>ارتفاع ژئوپتانسیل افشار</p>
تاوایی	<p>تاوایی</p>	<p>تاوایی</p>	<p>تاوایی</p>	<p>تاوایی</p>	<p>تاوایی</p>	<p>تاوایی</p>	<p>تاوایی</p>





شکل ۱۰- نیمرخ قائم شش متغیر ارتفاع ژئوپتانسیل، چرخندگی، دما، رطوبت ویژه، مؤلفه نصف‌النهاری و مداری باد برای ۱۱ تراز جوی (از تراز ۱۰۰۰ تا تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال) برای چرخند ۳۰ ژانویه ۲۰۰۶

## نتیجه گیری

- قدرت چرخندهای با هسته گرم با افزایش ارتفاع کاهش پیدا می کند در حالیکه قدرت چرخندهای با هسته سرد با افزایش ارتفاع افزایش می یابد.
- اکثر چرخندهای کم عمق در زمان زایش شان به علت شرایط کوهساری رشته‌های کوه‌های آلپ در اروپا و رشته کوه‌های اطلس در شمال آفریقا ایجاد و بیشتر چرخندهای متوسط عمق و عمیق نیز به دلیل شرایط دینامیکی موج‌های کوتاه و بلند سطوح فوقانی جو تشکیل شده اند.
- چرخندهای کم عمق و متوسط عمق در زمان زایش شان در تمامی سطوح نسبت به چرخندهای عمیق رطوبت کمتری را نشان می دهند. دلیل این اختلاف می تواند در این نکته نهفته باشد که بسیاری از مراکز چرخندی کم عمق بر روی خشکی ها و مراکز عمیق چرخندی بر روی دریاها شکل می گیرند.

### ۵-۲- نتایج تغییرات سه بعدی متغیرهای جوی در

#### طول حیات چرخندهای مدیترانه‌ای

- بیشتر چرخندهای موجد بارش‌های فراگیر غرب و شمال غرب ایران در ابتدای زایش شان کم عمق و متوسط عمق بوده که در طول مسیر حرکت شان تبدیل به چرخندهای عمیق می شوند.
- بیشتر مرکز چرخندها قبل از استقرار هسته مرکزی آنها بر روی خشکی‌ها، بارش‌های فراگیر غرب و شمال غرب ایران را سبب می شوند.
- مقدار چرخندگی، به استثنای روزهای ابتدایی تولد چرخندهای موجد بارش‌های فراگیر غرب و شمال غرب ایران که در بعضی ترازها مقادیر منفی و در بعضی ترازها مقادیر مثبت به خود اختصاص می دهند، در بقیه روزها در مسیر حرکت شان به سمت شرق، در تمامی ترازها، مقادیر مثبت (گردش چرخندی) را نشان داده‌اند.
- در روزهای همراه با بارش‌های فراگیر غرب و شمال غرب ایران، مقدار چرخندگی در مرکز چرخندها، به خصوص در سطوح فوقانی جو به شدت افزایش پیدا می کند.

هدف اصلی این پژوهش، همانا، شناخت ساختار سه بعدی چرخندهای ورودی به غرب و شمال غرب ایران با منشأ دریای مدیترانه بوده است. لذا جهت رسیدن به این هدف اصلی و در راستای شناسایی چرخندهای مدیترانه‌ای و تعیین محل زایش آنها در دریای مدیترانه یک فرایند سه مرحله ای پیموده شد. براساس این فرایند سه مرحله‌ای، ۹۳ چرخند را که بارش‌های فراگیر غرب و شمال غرب ایران را در یک بازه زمانی ۱۰ ساله (۲۰۱۳-۲۰۰۴) را سبب شده‌اند شناسایی و ساختار سه بعدی آنها مورد توجه قرار گرفت. مهمترین نتایجی که از بررسی ساختار سه بعدی این چرخندها به دست آمده است در دو قسمت مجزا و در عین حال مرتبط با یکدیگر ارائه می شوند. در قسمت اول نتایج مربوط به ویژگی های زمانی- فضایی چرخندها در زمان زایش شان در دریای مدیترانه در اختیار قرار داده می شوند و در قسمت دوم مهمترین تغییرات سه بعدی ارتفاع ژئوپتانسیل، چرخندگی، دما، رطوبت، مؤلفه نصف النهاری و مداری باد بررسی می شوند.

### نتایج ویژگی‌های زمانی- فضایی چرخندها در زمان

#### زایش شان در دریای مدیترانه

- از لحاظ زمانی، بیشترین چرخندهای مدیترانه‌ای موجد بارش‌های فراگیر غرب و شمال غرب ایران به ترتیب در فصل زمستان (۴۱/۷ درصد)، فصل بهار (۳۷/۴ درصد) و فصل پاییز (۲۰/۹) توسعه پیدا کرده‌اند.
- از لحاظ مکانی، بیشترین چرخندهای مدیترانه‌ای موجد بارش‌های فراگیر غرب و شمال غرب ایران به ترتیب در مرکز مدیترانه (۵۹/۱ درصد)، غرب مدیترانه (۲۷/۹ درصد) و شرق مدیترانه (۱۳/۹ درصد) تشکیل شده اند.
- از لحاظ ضخامت (گسترش قائم)، چرخندهای کم عمق و متوسط عمق بیشتر در فصل بهار و بر روی خشکی‌ها و چرخندهای عمیق در فصل زمستان و بر روی دریا شکل گرفته اند.
- هسته های مرکزی چرخندهای کم عمق در مقام مقایسه با چرخندهای متوسط عمق و عمیق، دارای هسته‌های گرم تر و قوی تری هستند.

7. Alpert, P., B.U. Neeman, Y. Shay, 1990b, Climatological analysis of Mediterranean cyclones using ECMWF data. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, 65, pp. 65-77.
8. Alpert, P., M. Tsiduiko, S. Krichak, U. Steni, 1996a. A Multi-stage evolution of an ALPEX cyclone. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, 48, pp. 209-220.
9. Asakereh, H., A. Khojasteh, 2021, Frequency of entrance Mediterranean Cyclones to Iran and Their Impact on Widespread precipitation. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 10(27), pp. 159-176.
10. Bell, G. D., L. F. Bosart, 1989, A 15-Year climatology of Northern Hemisphere 500 mb closed cyclone and anticyclone centers. *Monthly Weather Review*, 117, pp. 2142–2164.
11. Buzzi, A., A. Speranza, 1983, Cyclogenesis in the lee of the Alps. In *Mesoscale Meteorology-Theories, Observations and Models*, Lilly DK, Gal-Chen T (eds). D. Reidel publishing Company: Edited by NATO ASI Series: Dordrecht, Holland.
12. Buzzi, A., Tibaldi, S, 1978, Cyclogenesis in the Lee of the Alps: A case study. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 104, pp. 271-287.
13. Blender, R, K. Fraedrich, F. Lunkeit, 1997, Identification of cyclone-track regimes in the North Atlantic. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 123, pp. 727–741.
14. Campins, J., A. Genoves, A. Jansa, J. A. Guijarro, C. Ramis, 2000, A catalogue and a classification of surface cyclones for the Western Mediterranean. *International Journal of Climatology*, 20, pp. 969-984.
15. Campins, J., A. Jansa, A. Genoves, 2006, Three-dimensional structure of western Mediterranean cyclone. *International Journal of Climatology*, 26, pp. 323-343.
16. Flocas, H.A., P. Maheras, T. S. Karacostas, I. Patrikas, C. Anagnostopoulou, 2001, A
  - در زمان زایش چرخندهای کم عمق بر روی خشکی‌های اروپا همواره یک وارونگی دمایی ضعیف در سطوح تحتانی جو قابل مشاهده است که می‌تواند یکی از ویژگی‌های مهم چرخندهای کوهساری باشد.
  - در طول مسیر حرکت چرخندهای مدیترانه‌ای به سمت شرق، شیب تغییرات قائم دما در هسته مرکزی چرخندها دارای تغییرات زیادی است. زمانی که هسته چرخندها بر روی دریاها قرار دارند شیب تغییرات قائم اندک و زمانی که هسته مرکزی آنها بر روی خشکی‌ها قرار می‌گیرند شیب تغییرات قائم افزایش پیدا می‌کند.
  - تغییرات روز به روز دمای هسته مرکزی چرخندها در طی مسیرشان به سمت شرق، بر روی دریاها کمتر و بر روی خشکی‌ها بسیار شدیدتر است.
  - مقادیر مؤلفه مداری باد در مرکز چرخندهای مولد بارش‌های فراگیر غرب و شمال غرب ایران بیشتر از مقادیر مؤلفه نصف‌النهاری بوده است.

#### منابع

1. Ahmadi Givi, F., M. A. Nasr Esfahani, 2003, A study of Mediterranean cyclones and their impacts on the Middle-East weather. *Journal of The Earth and Space Physics*, 29(2), pp. 66-78. (In Persian)
2. Ahmadi Givi, F., Y. Najibifar, 2004, The study of Cyclones on lee of the Alps mountains and its effect on the Middle East climate for the one-year period. *The Journal of the Earth and Space Physics*, 30(2), pp. 1- 19. (In Persian)
3. Alijani, B., 1979, Cyclone Tracks in Relation to the Upper Flow Pattern in the Middle East December-March 1964-67. M. A. Thesis, Michigan State University, USA.
4. Alijani, B., 1995, Climate of Iran. Payam-e-Noor Publication, Tehran, Iran. (In Persian)
5. Alijani, B., 2002, Synoptic climatology. SAMT Press, Tehran, Iran. (In Persian)
6. Alpert, P., B. U. Neeman, Y. Shay, 1990a, Intermonthly Variability of Cyclone Tracks in the Mediterranean. *Journal of Climate*, 3, pp. 1474- 1478.

25. Kavosi, R., S. movahedi, 2015, A synoptic survey of cyclone activity over Iran in 1992. *Geographical Researches*, 29 (4), pp. 97-112. (In Persian)
26. Lefevre, R. J., J. W. Nielsen-Gammon, 1995, An objective climatology of mobile troughs in the northern hemisphere. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, 47, pp. 638-655.
27. Maheras, P., H. A. Flocas, Chr. Anagnostopoulou, I. Patricas, 2002, on the vertical structure of Composite Surface Cyclones in the Mediteranean Region. *Theoretical and Applied Climatology*, 71, pp. 199 -217
28. Maheras, P., H. A. Flocas, I. Patricas, Chr. Anagnostopoulou, 2001, A 40 year objective climatology of surface cyclones in the Mediterranean region: Spatial and temporal distribution. *International Journal of Climatology*, 21, pp. 109-130.
29. Masoodian, S. A., 2012, A Synoptic Analysis of Cyclonic Activity During 1961-2003. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 1(1), pp. 15-33. (In Persian)
30. movahedi, S., M. barati, 2016, The Synoptic and three-dimensional Survey of Cyclone Activity over Iran in 1372. *Geography and Environmental Planning*, 26(4), pp. 21-40. (In Persian)
31. Murray, R. J., I. Simmonds, 1991, A numerical scheme for tracking cyclone centres from digital data. Part I: development and operation of the scheme. *Australian Meteorological Magazine*, 39: pp. 155-166.
32. Petterssen, S., 1956, *Weather Analysis And Forecasting*. 2nd ed., Vol. I, Chapters 13, 14 and 17. McGraw-Hill, New York.
33. Picornell M. A., A. Jansa, A. Genoves, J. Campins, J, 2001, Automated database of mesocyclones from HIRLAM (INM)-0.5 analyses in the Western Mediterranean. *International Journal of Climatology*, 21, pp. 335-354.
34. Radinovic, D., 1987, Mediterranean cyclones and their influence on the weather 40-Year Climatological Study of Relative Vorticity Distribution over the Mediteranean. *International Journal of Climatology*, 21, pp. 1759-1778.
17. Hejazizade, Z., M. Sedaghat, 2010, Numerical Tracking of Middle Eastern Cyclones in the Cold Period of the Year. *Physical Geography Research Quarterly*, 41(69), pp. 1-17. (In Persian)
18. Hoskins, B. J., K. I. Hodges, 2002, New Perspectives on the Northern Hemisphere Winter Storm Tracks. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 59, pp. 1041-1061
19. Homar, V., C. Ramis, S. Alonso, 2002, A deep cyclone of African origin over the Western Mediterranean: diagnosis and numerical simulation. *Annals Geophysicae*, 20, pp. 93-106.
20. Homar, V., R. Romero, D. J. Stensrud, C. Ramis, S. Alonso, 2003, Numerical diagnosis of a small, quasi-tropical over the western Mediterranean: dynamical vs. boundary factors. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 129, pp. 1469-1490.
21. Horvath, K., L. Fita, R. Romero, B. Ivancan-Picek, I. Stiperski, I, 2006, Cyclogenesis in the lee of the Atlas Mountains: a factor separation numerical study. *Advances in Geosciences*, 7, pp. 327-331.
22. Jansa, A., A. Genoves, J. A. Garcia-Moya, 2000, Western Mediterranean cyclones and heavy rain. Part 1: Numerical experiment concerning the Piedmont Flood Case. *Meteorological Applications*, 7, pp. 323-333.
23. Jansa, A., A. Genoves, M. A. Picornell, J. Campins, R. Riosalido, O. Carretero, 2001, Western Mediterranean cyclones and heavy rain. Part 2: Statistical approach. *Meteorological Applications*, 8, pp. 43-56.
24. Karaca, M., A. Deniz, M. Tayanc, 2000, Cyclone Track Variability over Turkey in Association with Regional Climate. *International Journal of Climatology*, 20, pp. 1225-1236



- Australian Meteorological Magazine, Special Edition, pp. 35–49.
43. Sinclair, M. R., 1997., Objective identification of cyclones and their circulation intensity, and climatology. *Weather and Forecasting*, 12, pp. 595–612.
  44. Trigo, I. F., T. D. Davies, G. R. Bigg, 1999, Objective climatology of cyclones in the Mediterranean region. *Journal of Climate*, 12, pp. 1685–1696.
  45. Trigo, I. F., G. R. Bigg, T. D. Davies, 2002, Climatology of cyclogenesis mechanisms in the Mediterranean. *Monthly Weather Review*, 130, pp. 549-569.
  46. Zareei, S., H. Yazdanpanah, 2012, Detection and Investigation of Spatial-temporal Resolutions of Exotropical Cyclones. *Geographic Space*, 12(38), pp. 77-98.
  - and climate. WMO, PSMP Report Ser.No.24, 131 pp, Geneva, Switzerland.
  35. Ramis, C., M. C. LLasta, A. Genoves, A. Jansa, 1994, The October 1987 floods in Catalonia: synoptic and mesoscale mechanisms. *Meteorological Applications*, 1, pp. 377-350.
  36. Ramis, C., R. Romero, V. Homar, S. Alonso, M. Alarcon, 1998, Diagnosis and numerical simulation of a torrential-precipitation event in Catalonia (Spain). *Meteorology and atmospheric physics*, 69, pp. 1-21.
  37. Romero, R., 2001, Sensitivity of heavy-rain-producing western Mediterranean cyclone to embedded potential –vorticity anomalies. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 127, pp. 2559-2597.
  38. Romero, R., C. Ramis, S. Alonso, 1997, Numerical simulation of an extreme rainfall event in Catalonia: Role of Orography and evaporation from the sea. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 123, pp. 537-559.
  39. Romero, R., G. Sumner, C. Ramis, A. Genoves, 1999, A classification of the atmospheric circulation patterns producing significant daily rainfall in the Spanish Mediterranean area. *International Journal of Climatology*, 19, pp. 765-785.
  40. Serreze, M. C., F. Carse, R. G. Barry, J. C. Rogers, 1997, Icelandic low cyclone activity: climatological features, linkages with NAO, and relationships with recent changes in the Northern Hemisphere circulation. *Journal of Climate*, 10, pp.453–464.
  41. Simmonds, I., R. J. Murray, 1999, Southern extratropical cyclone behavior in ECMWF analyses during the FROST special observing periods. *Weather and Forecasting*, 14, pp. 878–891.
  42. Simmonds, I., R. J. Murray, R. M. Leighton, 1999, A refinement of cyclone tracking methods with data from FROST.