



سمیه زارعی^۱
حجت‌اله یزدان‌پناه^۲

شناسایی و بررسی توزیع مکانی و زمانی چرخندهای برون حاره

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۰۹/۱۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۰۴/۱

چکیده

در پژوهش حاضر، شناسایی، فراوانی و چگونگی رفتار چرخندهای برون حاره در فصول مختلف سال، برای نمونه در سال ۱۹۹۶-۱۹۹۵ م. مورد مطالعه قرار گرفته است. برای این کار از داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل با تفکیک زمانی ۶ ساعته و تفکیک مکانی $2/5^*2/5$ درجه قوسی در ترازهای (۵۰۰، ۶۰۰، ۷۰۰، ۸۵۰، ۹۲۵، ۱۰۰۰) که از پایگاه داده‌ی جوی (NCEP/NCER) برداشتی، استفاده شده است. مطالعات گذشته نشان دهنده‌ی آن است که سهم زیادی از بارش ایران ناشی از چرخندهای برون حاره می‌باشد و از آنجا که ایران کشوری است که توزیع زمانی و مکانی بارش آن ناهمبند است پرداختن به این موضوع از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. شناسایی چرخندها، با در نظر گرفتن دو شرط بوده است که عبارتند از: ۱- نقاطی که ارتفاع ژئوپتانسیل آنها نسبت به ۸ همسایه پیرامونش کمینه باشد، ۲- میانگین منطقه‌ای بزرگی شیو ارتفاع ژئوپتانسیل بر روی ۹ نقطه موجود در پنجره حداقل ۱۰۰ متر بر ۱۰۰۰ کیلومتر باشد. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که در کلیه ترازها چرخندها در فصول زمستان و پاییز با تفاوت بسیار کم بیشترین فراوانی را دارند، با این تفاوت که توزیع فراوانی در فصل زمستان نسبت به دیگر فصول یکنواخت‌تر و

Email:s.zarei@ltr.ui.ac.ir

۱- دانش‌آموخته‌ی کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی، دانشگاه اصفهان.

۲- استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه اصفهان.

تمایل پهنه‌های چرخندی به طرف عرض‌های پایین‌تر است. از بارزترین ویژگی‌های فصول سرد حضور پهنه‌های چرخندی در منطقه‌ی مدیترانه است. فصل بهار از نظر فراوانی چرخندی در رتبه سوم قرار دارد. چرخندهای تابستان از نظر فراوانی با اختلاف زیاد کم‌ترین مقدار را دارند. اصلی‌ترین رخداد چرخندی فصل تابستان و بهار چرخند گنگ می‌باشد که در نقشه‌های تراز ۱۰۰۰ و ۹۲۵ هکتوپاسکال دیده می‌شود که بارش‌های تابستانی و بادهای ۱۲۰ روزه سیستان در جنوب شرق ایران با شکل گیری این سامانه در ارتباط می‌باشند.

کلید واژه‌ها: چرخند، ارتفاع ژئوپتانسیل، شیو ارتفاع ژئوپتانسیل، توزیع مکانی و زمانی.

مقدمه

وضع هوا در عرض‌های میانه، که کشور ایران نیز در بخشی از آن واقع شده، نه تنها تحت تأثیر توده‌های هوای قطبی و حاره ای است بلکه برخورد آنها و ایجاد سامانه‌های چرخندی و واپرخندی نیز بسیار حائز اهمیت است (علیزاده، ۱۳۷۸، ۱۴۸). سیکلون‌های برون حاره پدیده‌ای غالب برای عرض‌های میانه به شمار می‌آیند. از آنجا که کشور ایران نیز در این عرض‌ها قرار گرفته پیامدهای مهم را برای کشورمان به دنبال داشته است. مطالعات نشان دهنده‌ی آن است که سهم زیادی از بارش ایران از چرخندهایی ناشی می‌شود که در منطقه‌ی برون حاره شکل می‌گیرند؛ و از آنجا که ایران کشوری است که توزیع زمانی و مکانی بارش آن ناهمگون است پرداختن به این موضوع از اهمیت زیادی برخوردار است. بنابراین برای رسیدن به پاسخ این سوال که آیا این سامانه‌ها رابطه‌ی معناداری با آب و هوای کشور دارند، در مرحله‌ی اول نیازمند شناسایی رفتارهای زمانی و مکانی این ساز و کارها هستیم. در واقع این مطالعه گامی برای پاسخ گویی و تأیید بسیاری از سوالات و فرضیه‌هایی است که در مورد چرخندها وجود دارد. عبارت چرخند زایی برای تشکیل سامانه‌های کم فشاری که دارای پهنای بیش از ۱۰۰۰ کیلومتر باشند به کار می‌رود. این سامانه‌ها، بسته به این که از عرض‌های جغرافیایی ۳۰ درجه به سمت قطب و یا استوا قرار داشته باشند، معروف به چرخندهای فوق حاره ای یا عرض‌های میانی و حاره ای هستند (حبیبی، ۱۳۸۶، ۸۵). چرخندهای فوق حاره ای بخشی از انرژی خود را از تبخیر و میعان آب اقیانوس و بخش دیگر را از گرادیان افقی دمای جو کسب می‌کنند. در یک جو کاملاً کم فشاری قرار دارند، توسعه می‌یابند و سپس به سمت قطب حرکت می‌کنند و دارای بارش‌های سنگین به شکل برف و یا باران هستند. بیرکنس و سولبرگ در سال ۱۹۲۲ نشان دادند که این ساز و کار در مبادله‌ی گرما میان عرض‌های پایین و بالا مهم‌ترین ساز و کار است (تاج‌الدین بنی‌هاشم، ۲۴۵، ۱۳۷۷). بر اساس تحلیل‌هایی که به آغاز قرن بر می‌گردد مطالعات زیادی در زمینه شناسایی چرخندها مربوط به نیمکره شمالی صورت گرفته و از

سال ۱۹۵۸ با انتشار مسیرهای چرخه‌ای طراحی شده، آغاز شده است. تصور می‌شود که در طرح‌های اجرا شده، اساساً هدف ایجاد یک وسیله موثر و مورد نیاز برای مطالعه اقلیم شناسی های چرخه برون حاره ای می‌باشد (موری^۳ و سیموند، ۱۹۹۱، ۱۵۵). آلپرت^۴ و همکاران (۱۹۹۰) در مطالعه‌ی بر روی مسیرهای چرخندی مدیترانه مشخص کردند که مدیترانه بویژه در فصل زمستان یکی از مناطق مهم چرخندزایی است. تریگو^۵ و همکاران (۱۹۹۹، ۱۶) چرخندهای حوضه‌ی مدیترانه را طی سال‌های ۱۹۷۹ تا ۱۹۹۶ به روشی برون سو و با استفاده از داده‌های مرکز اروپایی پیش بینی هوا، شناسایی و مسیریابی کردند. پیکورنل^۶ و همکاران (۲۰۰۱، ۳۳۶)، یک روش خودکار را برای شناسایی چرخندها و توصیف مسیرهای آنها توسط مدل رقومی (HIRLAM) به کار گرفتند و با استفاده از این روش، چرخندها را از نظر فراوانی، توزیع جغرافیایی و ابعاد افقی بررسی کردند. کاراکا^۷ و همکاران (۲۰۰۰، ۱۲)، تغییر پذیری مسیرهای چرخندی ترکیه و رابطه‌ی آن با اقلیم را بررسی کرده‌اند. ایشان پس از تشخیص مسیرهای چرخندی، رابطه‌ی آنها با بارش‌های ثبت شده در ترکیه را بررسی کرده و تغییرات مداری هسته‌ی رودباد جنب حاره بر روی شرق مدیترانه و همچنین فراوانی پر فشار ماندگار مدیترانه‌ای را که در حقیقت زبانه‌ای از پر فشار آزور به شمار می‌آید مورد بحث و بررسی قرار دادند. ماهراس^۸ و همکاران (۲۰۰۱، ۱۲۸) توزیع مکانی و زمانی چرخندهای مدیترانه را برای یک دوره‌ی ۴۰ ساله، به صورت فصلی و روزانه بر روی سه مرکز عمده‌ی چرخندی در غرب (خلیج جنوا)، مرکز (جنوب ایتالیا) و شرق مدیترانه (قبرس) بررسی کردند. آنان همچنین توزیع بلند مدت تاوایی افقی و عمودی چرخندهای مدیترانه را مورد مطالعه قرار دادند. ورنلی^۹ و همکاران (۲۰۰۶، ۱۵)، به بررسی فراوانی فصلی چرخندها و مراکز عمده‌ی چرخندزایی در نیمکره‌ی شمالی و جنوبی پرداخته و به منظور شناسایی چرخندها با استفاده از داده‌های فشار تراز دریا ابتدا مراکز کمینه‌ی فشار نسبت به هشت نقطه‌ی پیرامون را به دست آورده و سپس با استفاده از روش جست و جوی خطوط هم فشار (خطوط کتوری)، با فواصل ۲ هکتوپاسکالی، چرخندها را شناسایی کرده‌اند. رابیلی^{۱۰} و همکاران (۲۰۰۸، ۸۸۰)، در مطالعه‌ای تحت عنوان بررسی چرخندهای برون حاره (مقایسه‌ی روش‌های مختلف شناسایی و مسیریابی چرخندها و واکاوی های متفاوت) به بررسی چرخندها پرداخته‌اند، در این مطالعه از سه طرح برای شناسایی و مسیریابی چرخندها با استفاده از داده‌های دوباره تحلیل شده

3. Murray & Simmond

4. Alpert

5. Trigo

6. Picornel

7. Karaka

8. Maheras

9. Wernli

10. Raible

استفاده شده است در ابتدا ویژگی‌های چرخندی دو سری داده‌ی NCAP/NCAR و ECMWF/40-YR^{۱۱} با هم مقایسه شدند. نتایج نشان دهنده‌ی این مطلب است که تعداد چرخندها و همینطور مراکز با تراکم بالای چرخندی در داده‌های 40-YR-ECMWF بیشتر از NCEP/NCAR می‌باشد. علیجانی (۱۳۶۶، ۱۲۸)، رابطه پراکندگی مکانی مسیرهای چرخندی خاورمیانه را با سامانه‌های هوایی تراز بالا بررسی کرد. نتایج این مطالعه نشان داد که اثر سامانه‌های تراز بالا یعنی رود باد جبهه قطبی و فرود بلند مدیترانه در پراکندگی مسیرهای چرخندی خاورمیانه خیلی بیشتر و مهم‌تر از نقش ناهمواری‌ها و همچنین الگوی فشار سطح زمین (دریا) است. نصر اصفهانی (۱۳۸۲، ۶۶)، به بررسی چرخندهای مدیترانه طی دوره‌ی یک ساله پرداخته و نتیجه گرفته است که با شروع ماه‌های سرد به تدریج چرخندهایی در شرق مدیترانه تقویت و از غرب وارد کشور می‌شوند. در اوایل بهار نیز تضاد حرارتی شمال آفریقا و دریای مدیترانه و وجود کوه‌های اطلس، دلایل اصلی ایجاد و تقویت این چرخندها هستند. جعفریگلو (۱۳۸۸، ۷۳)، با مطالعه بر روی ۶۶ سامانه چرخندی و مشخص نمودن سه مسیر عمده نشان داد که مراکز چرخندزایی مدیترانه، سودان و دریای سرخ و نیز بین‌النهرین بیشترین نقش را در بارش‌های دوره مرطوب در غرب میانی ایران داشته‌اند. تمامی مطالعاتی که شرح آن گذشت، با وجود ارزش فراوان شان بیشتر بر مبنای مسیر یابی چرخندها می‌باشند و تا کنون مطالعه‌ای که مبنای آن بر شناسایی زمانی و مکانی در ترازهای مختلف جو باشد صورت نگرفته است. بنابراین این پژوهش، سعی بر شناسایی چرخندها از نظر فراوانی و نحوه‌ی توزیع مکانی آنها در منطقه‌ی مورد بررسی دارد.

مواد و روش‌ها

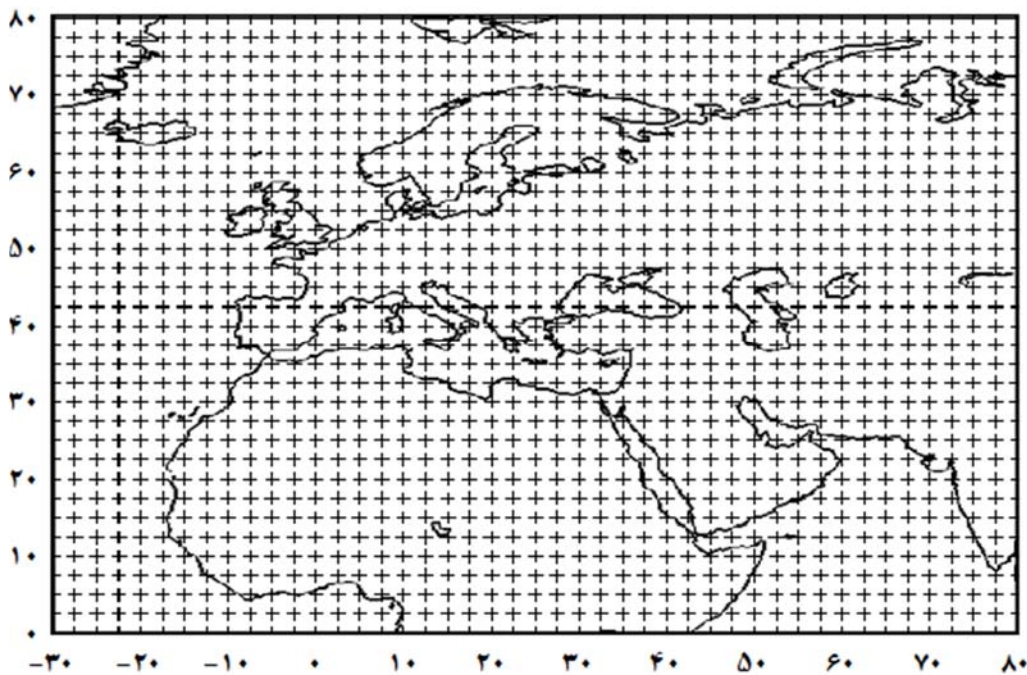
در این پژوهش برای دستیابی به یک شناخت کلی از موقعیت مکانی، زمانی سامانه‌ها و محاسبات عددی مورد نیاز از داده‌های اقلیمی تحلیل مجدد شده پایگاه داده‌های جوی مرکز پیش‌یابی اقلیم NCEP/NCAR^{۱۲} وابسته به سازمان ملی جو و اقیانوس‌شناسی ایالات متحده برای دوره یک ساله (۱۹۹۵-۱۹۹۶ میلادی) (۱۳۷۴ خورشیدی) که به عنوان نمونه انتخاب شده، استفاده شده است. پارامتر به کار گرفته شده، ارتفاع ژئوپتانسیل hgt (برحسب متر m) است. برای انجام این کار ابتدا برنامه‌ای^{۱۳} تهیه شد و با استفاده از نرم افزار grads داده‌های ژئوپتانسیل تجزیه و تحلیل گردید. پس از آن با استفاده از نرم افزارهای Excel و Mat lab درصد، فراوانی‌ها و نمودار آنها تهیه گردید و در نهایت با استفاده از نرم افزار Surfr نقشه‌های هر تراز ترسیم گردید. از آنجا که برای داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل در هر روز ۴ دیده بانی وجود دارد و محاسبات برای یک سال انجام شده، بنابراین ۱۴۶۰ دیده بانی به همراه ۱۴۸۵

11. The European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

12. National Centers for Environmental Prediction / National Center for Atmospheric Research

13. Script

یاخته‌ی مکانی که از تفکیک مکانی $2/5 * 2/5$ درجه‌ی داده‌ها، به دست آمده و آرایه‌ای با ابعاد $1485 * 1460$ را ساخته که مبنای محاسبات قرار گرفته است. در این آرایه سطرها نشان دهنده‌ی بعد زمانی داده‌ها و ستون‌ها نشان دهنده‌ی بعد مکانی داده‌ها می‌باشند. در بررسی داده‌های جو بالا، محدوده‌ی مورد مطالعه، گسترده‌تر از قلمرو کشور ایران انتخاب شده است (شکل ۱). این چهار چوب، مناطق بین طول جغرافیایی 30° تا 80° درجه شرقی و عرض جغرافیایی صفر تا 80° درجه شمالی را شامل می‌شود. دلیل انتخاب این محدوده‌ی گسترده، شناسایی بهتر پدیده‌های همدید و سامانه‌های جوی بوده است.



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه

بنا به تعریف چرخندها اولین شرط برای تشخیص آنها در این بررسی، پیدا کردن نقطه‌ی کمینه‌ی ارتفاع ژئوپتانسیل، در یک شبکه‌ی هشت همسایگی است. این روش در کارهای نظیر، (ماهراس، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱)، (بلندر، ۲۰۰۰) و سایرین استفاده شده است. در این روش برای یافتن نقطه‌ی کمینه‌ی ارتفاع ژئوپتانسیل، از یک پنجره یا کرنل نه تایی استفاده شده است، (جدول ۱). ارقام این جدول مربوط به داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال می‌باشند. در این مثال یاخته‌ی مرکزی کمترین ارتفاع ژئوپتانسیل را به خود اختصاص داده و همچنین میانگین وزنی شیو ارتفاع ژئوپتانسیل بیشتر یا مساوی از مقدار آستانه‌ی مذکور بوده است، چنانچه ارتفاع ژئوپتانسیل یک یاخته، نسبت به مقدار هشت نقطه‌ی مجاور خود کمینه یا مساوی باشد این یاخته به عنوان یک مرکز چرخندی در مرحله‌ی اول شناخته می‌شود.

جدول ۱. نقطه‌ی کمینه‌ی ارتفاع ژئوپتانسیل در یک کرنل

۷۲۳	۶۶۹	۶۶۹
۷۱۵	۶۶۹	۶۷۴
۷۱۴	۶۸۳	۷۰۳

ارتفاع ژئوپتانسیل مرکزی

اما این شرطی ضعیف برای شناسایی چرخندها می‌باشد و منجر به شناسایی تعداد زیادی مراکز چرخندی می‌شود. بنابر این آستانه‌ای به عنوان شیو ارتفاع ژئوپتانسیل در نظر گرفته شده است. این آستانه برابر است با $m/1000km$ ۱۰۰ که از کار (بلندر، ۲۰۰۰) اقتباس شده است. به این معنا که میانگین منطقه‌ای بزرگی شیو ارتفاع ژئوپتانسیل بر روی ۹ یاخته‌ی موجود در پنجره کرنل حداقل ۱۰۰ متر در ۱۰۰۰ کیلومتر باشد (بزرگی شیو فشار مرکزی ما نباید کمتر از ۱۰۰ در هر ۱۰۰۰ کیلومتر باشد). (بلندر، ۲۰۰۰) دلیل استفاده از این آستانه برای شیو ارتفاع ژئوپتانسیل را وارد کردن چرخندهای بسیار قوی در محاسبات دانسته است. شیو ارتفاع ژئوپتانسیل از طریق تابع زیر محاسبه می‌شود.

$$GF = -\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x}\hat{i} + \frac{\partial\varphi}{\partial y}\hat{j}\right)$$

$$\varphi = hgt \times g$$

$$\frac{9}{8}m.s^{-2} = g$$

در این تابع ∂x بیانگر مختصات متریک طول جغرافیایی، ∂y بیانگر مختصات متریک عرض جغرافیایی و hgt ارتفاع ژئوپتانسیل می‌باشد. در معادلات جوی از مختصات متریک طول و عرض جغرافیایی استفاده می‌شود و مقدار متریک عرض جغرافیایی متناسب با مقدار \cos مختصات کروی عرض جغرافیایی است که مقدار آن در هر مدار متفاوت است. بنابراین به هر عرض جغرافیایی وزن متناسب با مقدار متریک آن داده شده است. سپس میانگین وزنی شیو ارتفاع ژئوپتانسیل کرنل مربوط محاسبه شده است. میانگین وزنی از طریق فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$\overline{GF} = \frac{1}{\sum_{i=1}^9 w_i} * \sum_{i=1}^9 w_i GF_i$$

$$W_i = \frac{1}{2}(\cos \varphi_s + \cos \varphi_N)$$

φ_N = مدار گذرنده از شمال یاخته

φ_s = مدار گذرنده از جنوب یاخته

$$W_i = \text{وزن هر یاخته}$$

$$\overline{GF} = \text{میانگین وزنی منطقه‌ای شیو ارتفاع ژئوپتانسیل}$$

بنابراین تنها نقاطی به عنوان چرخند انتخاب می‌شوند که هم ارتفاع ژئوپتانسیل آنها کمینه باشد و هم شیو ارتفاع ژئوپتانسیل بالاتر از $1000 \text{ m}/1000 \text{ km}$ را داشته باشند. این نقاط به عنوان چرخند شناخته شده و با کد ۱ مشخص می‌شوند و چنانچه شروط مذکور را نداشته باشند با کد صفر مشخص و حذف می‌گردند (جدول ۲).

جدول ۲. نحوه کد گذاری در هر کرنل

.	.	.
.	۱	.
.	.	.

سپس برای هر فصل و هر ماه درصد فراوانی چرخندها محاسبه و در پایان نقشه‌های ماهانه و فصلی و همینطور درصد فراوانی سالانه‌ی چرخندها ترسیم شده است.

نتایج

توزیع مکانی و زمانی چرخندها

در بین مطالعات انجام شده، محققان روش‌های متفاوتی را برای شناسایی و بررسی چرخندها به کار برده‌اند. در بیشتر روش‌های موجود برای بررسی چرخندها از الگوریتم‌های خاصی استفاده شده که شامل روش‌های متفاوتی می‌باشد. یکی از ویژگی‌های مهم چرخندها فراوانی رخداد آنها در یک منطقه می‌باشد. بررسی فراوانی رخدادهای چرخندی بخش مهمی از مطالعات چرخندی را در بر می‌گیرد. برای بررسی بهتر فراوانی چرخندها، تعداد و درصد فراوانی آنها در سطوح مختلف محاسبه شده و نقشه‌های آنها ترسیم شده است. لازم به ذکر است که در مطالعه حاضر چرخندها با فراوانی $0/03$ و بیشتر، در نقشه‌ها ترسیم و به صورت فصلی بررسی شده است. چرخندها در ترازهای پایینی به صورت مراکز بسته‌تر و محدودتری فعالیت می‌کنند. بهترین تعبیر برای توصیف آنها شکل مخروطی است. که قله‌ی آن در ترازهای پایینی و قاعده‌ی آن در سطوح بالایی قرار می‌گیرد. نقشه‌های تراز 500 این مسأله را به خوبی تبیین می‌کنند. در حالی که در نقشه‌های تراز پایین پهنه‌های محدودی وجود دارد در تراز 500 این پهنه‌ها بسیار وسیع شده و بیشتر منطقه را در بر گرفته‌اند، بنابراین مطالعه‌ی جامع چرخندها جز با بررسی آنها در تمام ترازها مقدور نیست. در مطالعات قبلی که روی چرخندها انجام شده است، مثل کمپینز و همکاران در (۲۰۰۶)،

۳۲۵)، تریگو (۱۹۹۹)، ماهراس (۲۰۰۲، ۲۱۶) به بررسی چرخندها به تفکیک فصول سال پرداخته‌اند. تریگو برای بررسی چرخندهای مدیترانه به بررسی سه فصل پاییز، زمستان و بهار به عنوان فصول چرخندزایی پرداخته است. کمپینز و همکاران چرخندها را از نظر توزیع فصلی طبقه بندی کرده است. ماهراس به بررسی سه منطقه‌ی عمده‌ی چرخندی در حوضه‌ی مدیترانه با توجه به تفاوت‌های فصلی آنها پرداخته است. در این پژوهش نیز چرخندها در شش تراز به تفکیک فصول بررسی شده‌اند. در سال مورد بررسی بیشترین فراوانی در تراز ۵۰۰ و کم‌ترین آن در تراز ۷۰۰ می‌باشد. در واقع می‌توان تراز ۷۰۰ را تراز انفصال نامید زیرا چرخندهای ترازهای ۵۰۰ و ۶۰۰ دینامیکی و چرخندهای ترازهای پایین‌تر می‌باشند. به نظر می‌رسد دلیل این افزایش به خاطر ساختار چرخندها باشد و اینکه در ترازهای بالایی شرایط دینامیکی برای فعالیت چرخندها بیشتر مهیا است و چرخندها بر خلاف ترازهای پایین در مراکز باز فعالیت می‌کنند (جدول ۳)

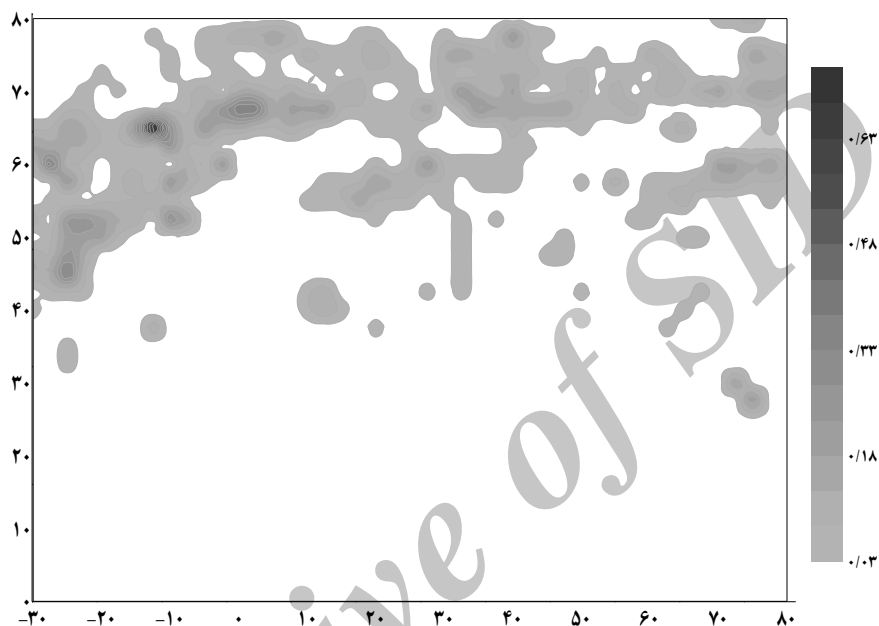
ترازهای جو	فراوانی چرخندی
۵۰۰	۲۳۶۲
۶۰۰	۱۲۸۵
۷۰۰	۸۴۸
۸۵۰	۸۹۰
۹۲۵	۱۱۰۰
۱۰۰۰	۱۵۰۱

جدول ۳. فراوانی چرخندها در ۶ تراز اصلی جو

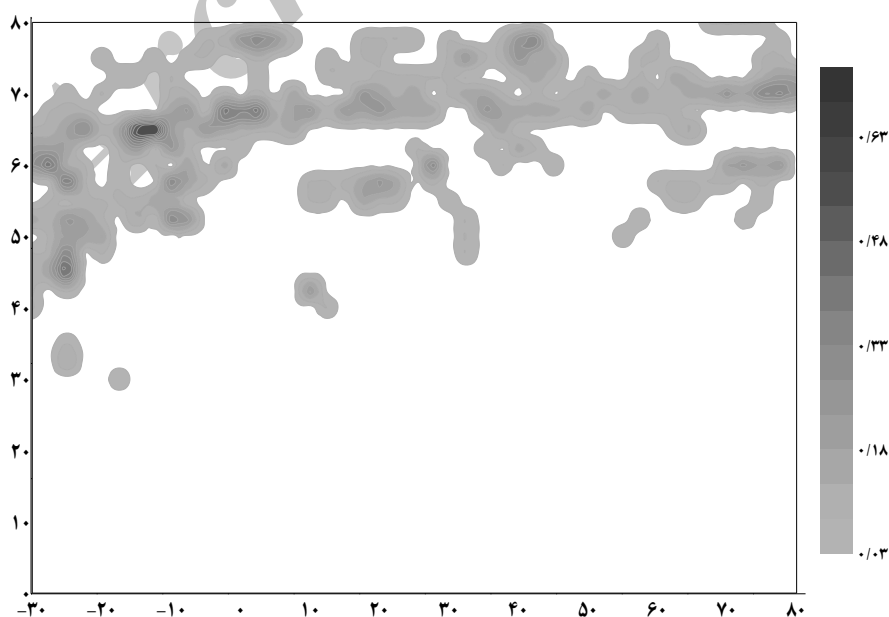
توزیع مکانی فراوانی چرخندها در فصل پاییز

در این فصل پهنه‌های چرخندی هنوز محدودند تنها در اطلس شمالی پهنه‌ای متمرکز و وسیع از چرخندها حضور دارد که تمایل آنها نسبت به فصل زمستان هنوز به عرض‌های شمالی است. بر روی دریای مدیترانه در ترازهای ۱۰۰۰، ۹۲۵ و ۷۰۰ هکتوپاسکال به جز بر روی خلیج جنوا که گستره‌ای کوچک چرخندی نمایان است، هیچ پهنه‌ی چرخندی دیگری حضور ندارد. ولی در سطوح بالایی پهنه‌های وسیع در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بر روی این دریا نمایان می‌شود که با چرخندهای اطلس شمالی پیوند خورده و تمامی دریای سیاه را پوشانده‌اند. پهنه‌ی غربی این چرخندها تا کوه‌های اطلس شمالی آفریقا پیش رفته است. چرخندهای اطلس شمالی که بیشترین فراوانی را در این فصل دارند که در ترازهای پایینی جو بیشتر مشهود هستند (شکل ۲ و ۳). در این فصل بر روی ایران رخداد

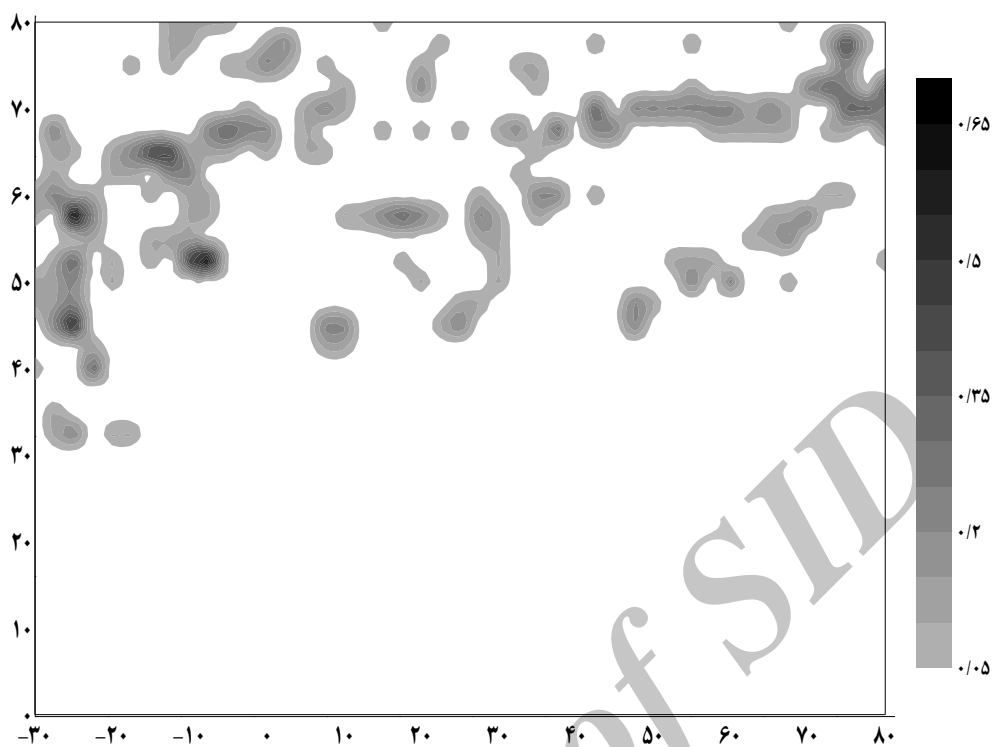
چرخندی مشاهده نمی‌شود، تنها در ترازهای بالایی جو در قسمت‌های شمالی دریای خزر هسته‌هایی به چشم می‌خورد، در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال این هسته به پهنه‌ای تبدیل شده که با چرخندهای عرض‌های بالا پیوند خورده است. در تراز ذکر شده پهنه چرخندی وسیعی بر دریای سیاه، کشور ایتالیا و شمال شرقی مدیترانه مشاهده می‌شود که به منطقه ایران بسیار نزدیک می‌باشد و می‌تواند شمال غرب را تحت تأثیر قرار دهد، (شکل ۴ و ۵).



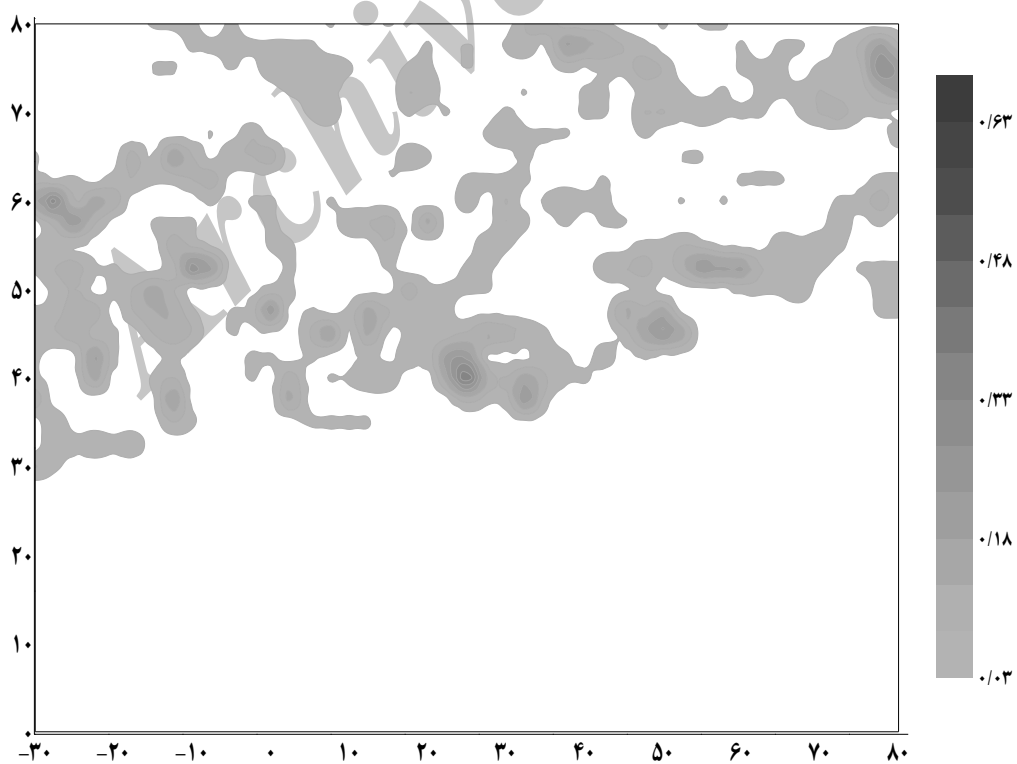
شکل ۲. توزیع مکانی سامانه‌های چرخندی فصل پاییز تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال



شکل ۳. توزیع مکانی سامانه‌های چرخندی فصل پاییز تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال



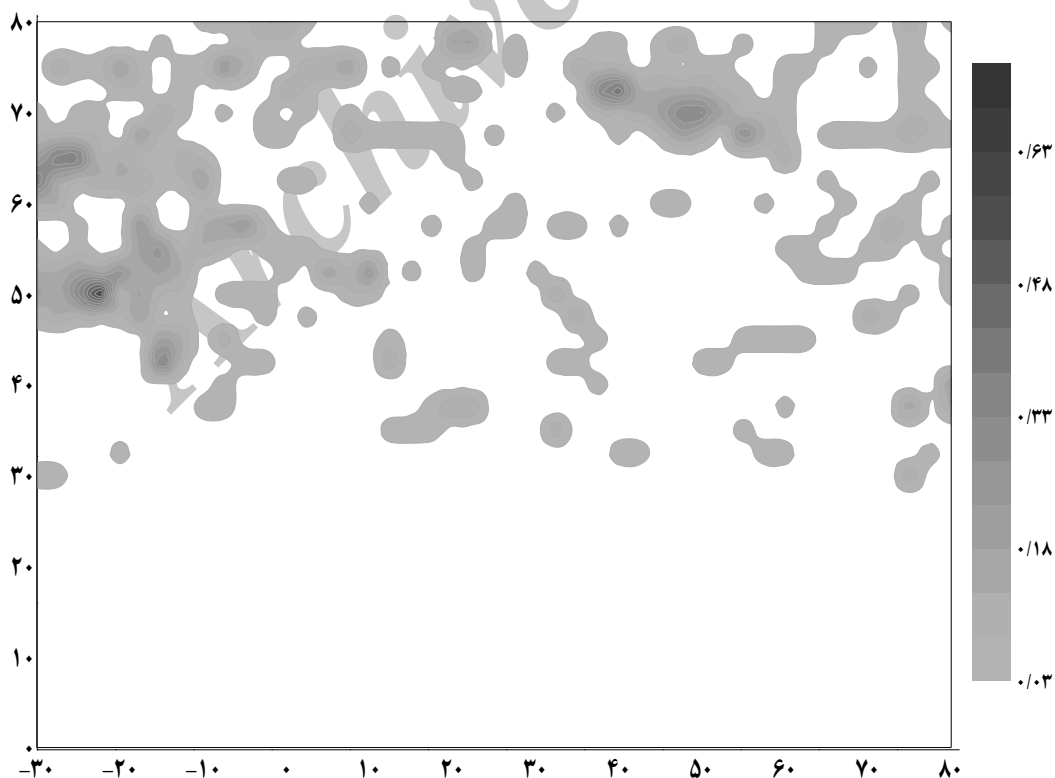
شکل ۴. توزیع مکانی سامانه‌های چرخندی فصل پاییز تراز ۷۰۰۰ هکتوپاسکال



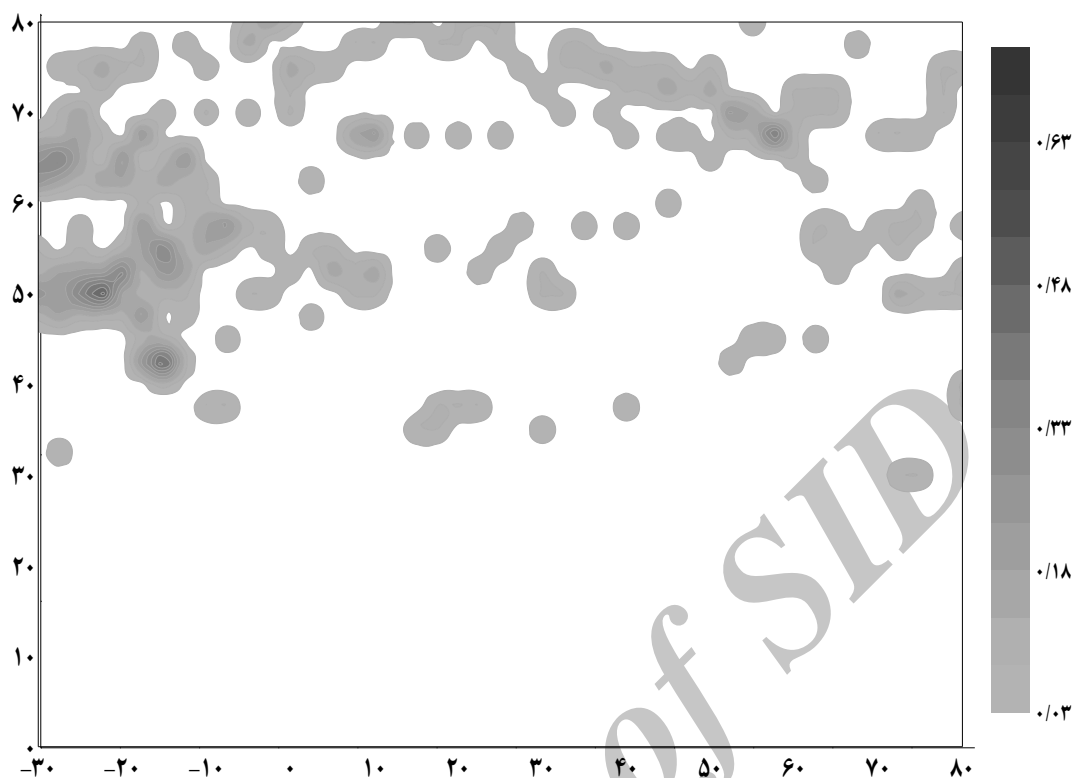
شکل ۵. توزیع مکانی سامانه‌های چرخندی فصل پاییز تراز ۵۰۰۰ هکتوپاسکال

توزیع مکانی فراوانی چرخندها در فصل زمستان

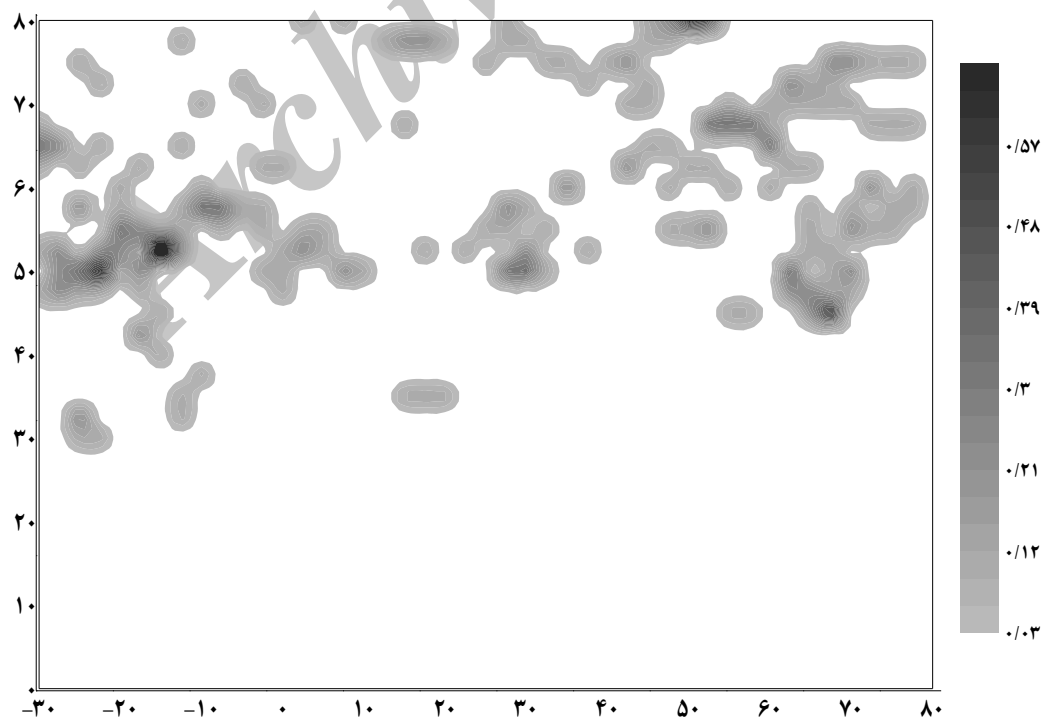
در فصل زمستان عمده‌ترین مراکز فراوانی بیشینه‌ی چرخندها بر روی اقیانوس اطلس شمالی است که در تمام سطوح قابل مشاهده است. چرخندهای عرض‌های شمالی‌تر در ترازهای پایین گستره‌ی بیشتری را به خود اختصاص داده‌اند و در ترازهای بالاتر به صورت پهنه‌های جدا از هم در نقشه‌ها نمایان اند. تراز ۵۰۰ از نظر تعداد چرخندها و الگوهای پراکندگی با دیگر ترازها متفاوت است و چرخندها در این تراز، در پهنه‌های وسیع‌تری حضور دارند (شکل ۹). در این فصل چرخندهای واقع در طول ۵۰ تا ۷۰ درجه‌ی شرقی و عرض ۵۰ تا ۷۰ درجه‌ی شمالی که در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال قسمت‌هایی از آسیا و جلگه سیبری را اشغال کرده‌اند در ترازهای بالاتر به صورت پهنه‌های پراکنده و کوچک‌تر نمایان می‌شوند. منطقه‌ی مدیترانه یکی از مراکز عمده چرخندزایی در این فصل است. در این فصل پهنه‌هایی از چرخندها در مرکز دریای مدیترانه قرار گرفته که قسمت‌هایی از خلیج جنوا، بخش جنوبی ایتالیا و قسمتی از جنوب دریای آدریاتیک را در بر گرفته است. در ترازهای بالاتر این پهنه و پهنه‌های اطلس شمالی به صورت یک نوار ممتد با آرایشی غربی-شرقی به هم پیوسته تا تراز ۵۰۰ که به شکل یک پهنه‌ی وسیع غربی-شرقی از غرب مدیترانه تا شرق آن کشیده شده و قسمت‌هایی از شمال ایران، سوریه، عراق، ترکیه و قسمتی از شمال آفریقا را نیز در بر می‌گیرد.



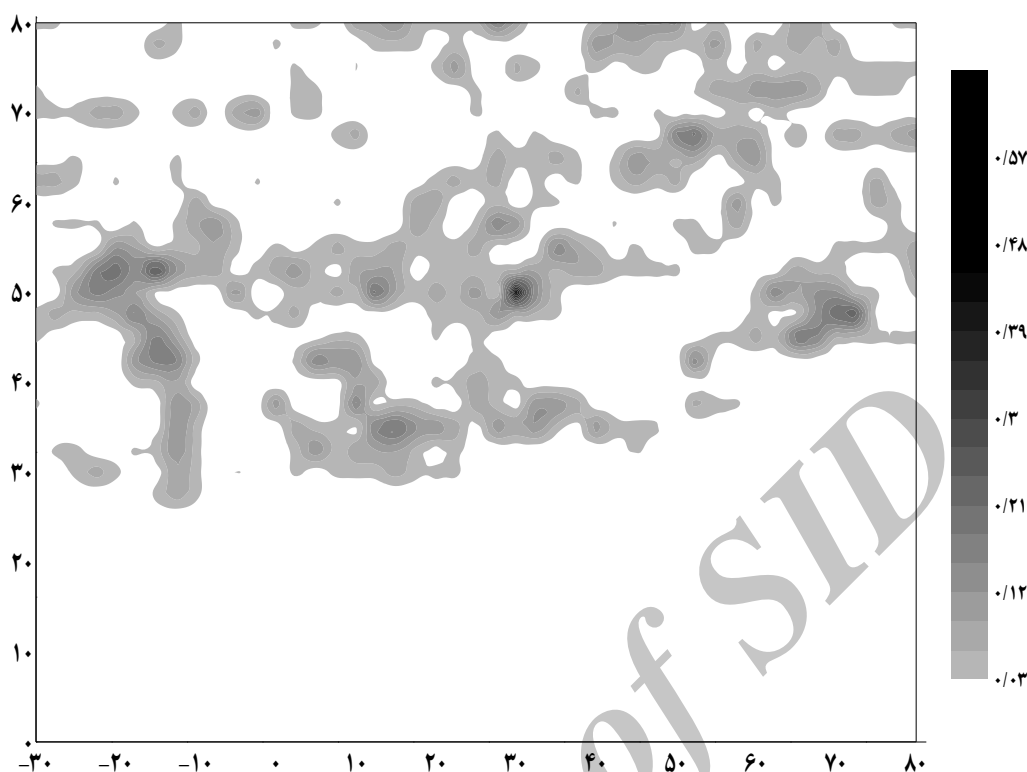
شکل ۶. توزیع مکانی سامانه‌های چرخندی فصل زمستان تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال



شکل ۷. توزیع مکانی سامانه‌های چرخندی فصل زمستان تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال



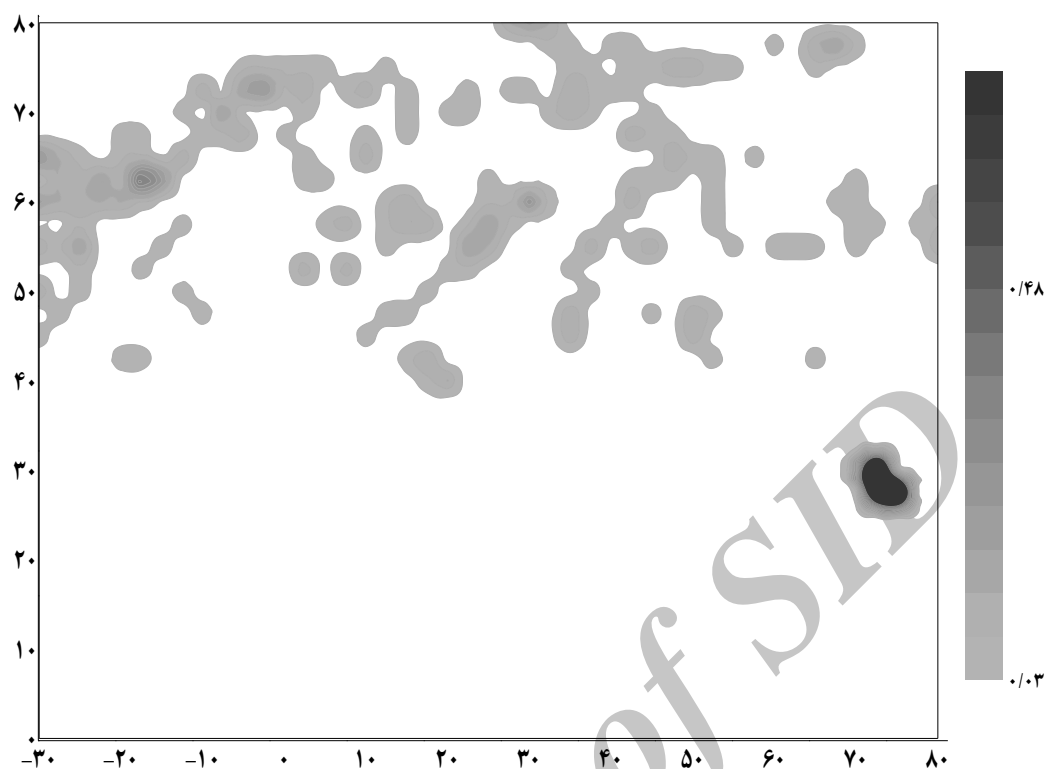
شکل ۸. توزیع مکانی سامانه‌های چرخندی فصل زمستان تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال



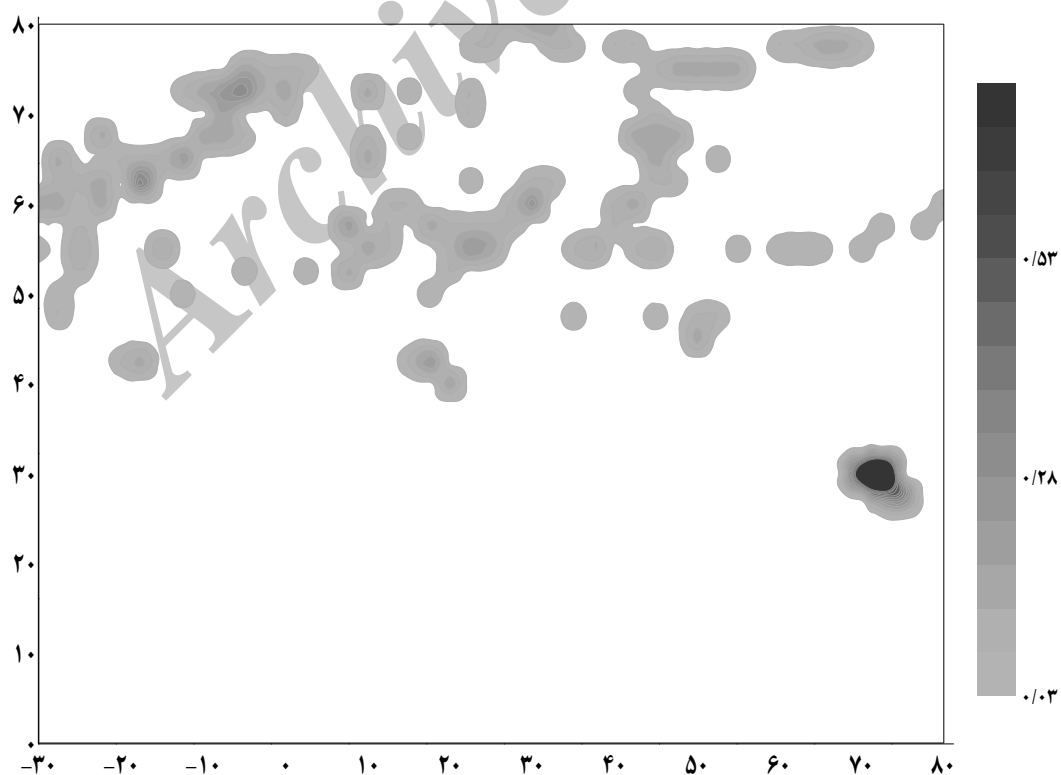
شکل ۹. توزیع مکانی سامانه‌های چرخندی فصل زمستان تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

توزیع مکانی فراوانی چرخندها در فصل بهار

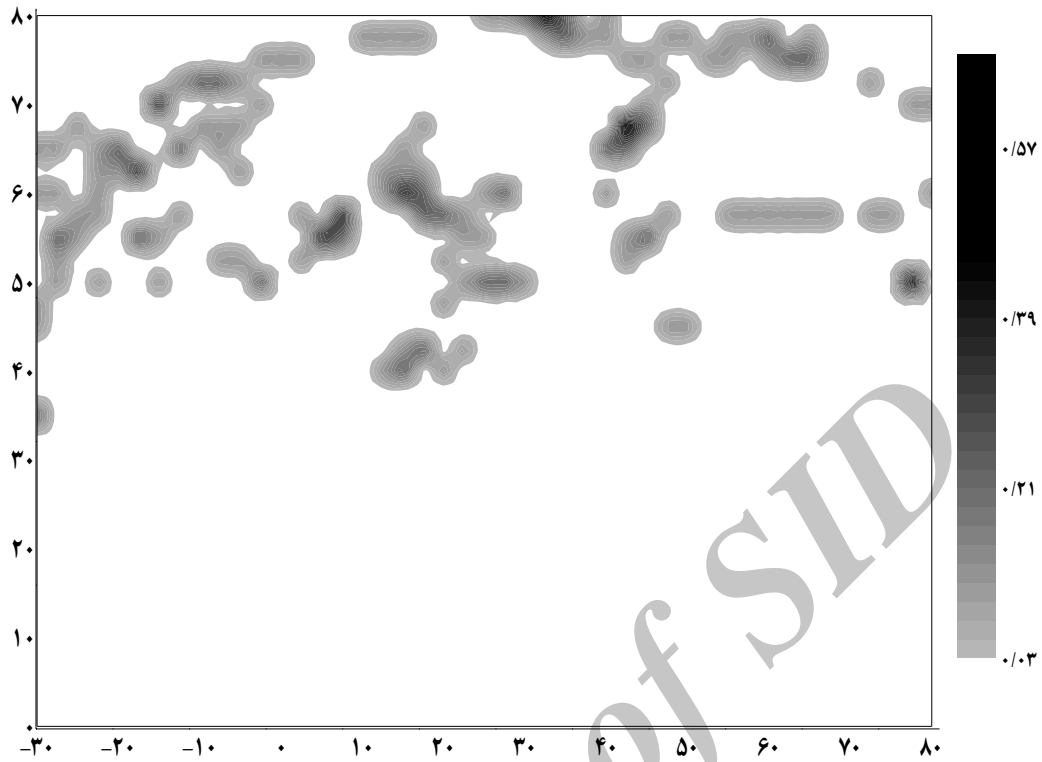
ویژگی بارز این فصل که در نقشه‌ها نمایان است (شکل ۱۰ و ۱۱)، حضور کم فشار گنگ در ترازهای پایینی جو در جنوب شرقی کشور ایران و غرب کشور پاکستان می‌باشد. در این فصل این کم فشار به اوج قدرت و وسعت خود می‌رسد، به طوری که تا ترازهای بالا پیشروی می‌کند. پهنه‌های چرخندی این فصل وسیع‌تر از تابستان هستند و به عرض‌های پایین‌تر متمایل اند. پهنه‌هایی از چرخند بر فراز دریای خزر (در شمال آن) دیده می‌شوند که می‌توانند نواحی شمالی کشور را تحت تأثیر قرار دهند. در قسمت‌های شمالی دریای مدیترانه پهنه‌های عظیم چرخندی که با چرخندهای اطلس شمالی پیوند خورده‌اند مشاهده می‌شود. علاوه بر آن در همین تراز بر روی نیمه جنوبی دریاچه آرال هسته چرخندی دیده می‌شود که به سمت شمال شرقی ایران در حال کشیدگی است و می‌تواند نواحی شمال شرقی را تحت تأثیر قرار دهد (شکل ۱۳). در تراز میانی جو چرخندهای جنب قطبی در این فصل پهنه‌های وسیع‌تری نسبت به دیگر فصول از خود نشان می‌دهند.



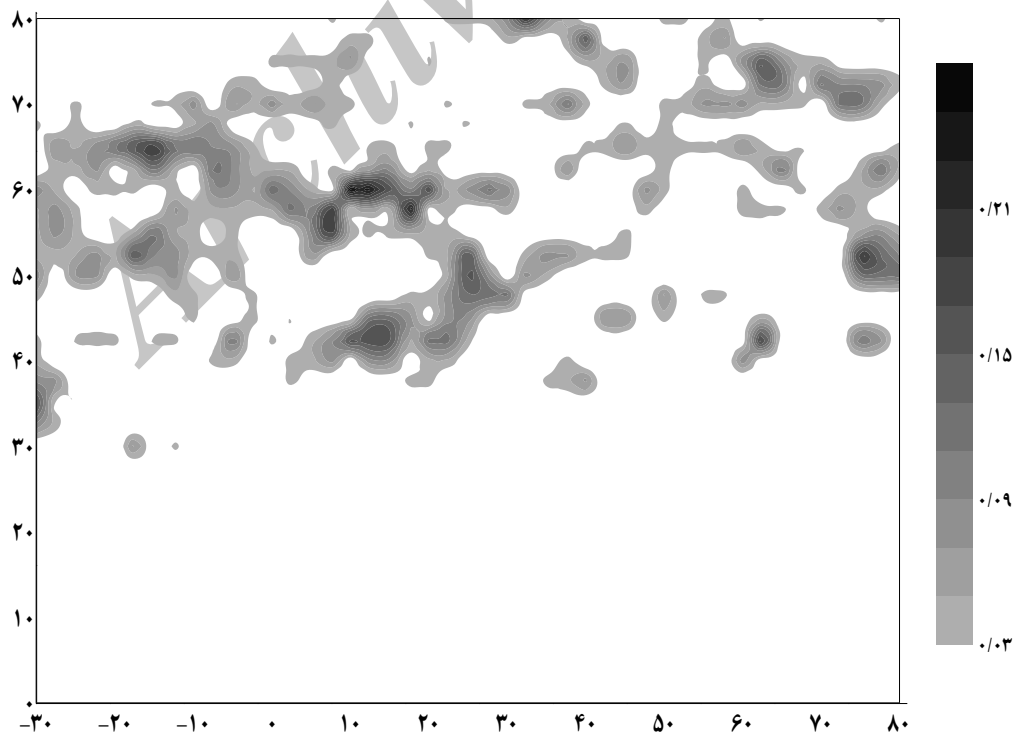
شکل ۱۰. توزیع مکانی سامانه‌های چرخندی فصل بهار تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال



شکل ۱۱. توزیع مکانی سامانه‌های چرخندی فصل بهار تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال



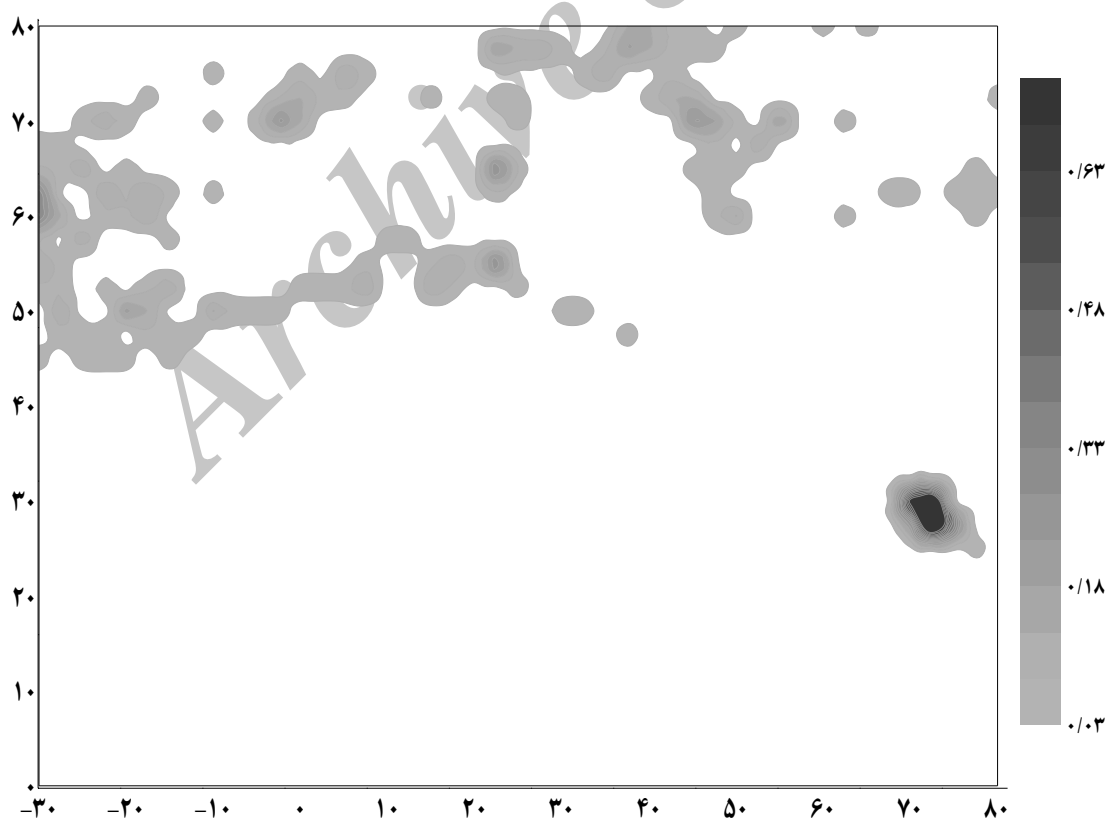
شکل ۱۲. توزیع مکانی سامانه‌های چرخندی فصل بهار تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال



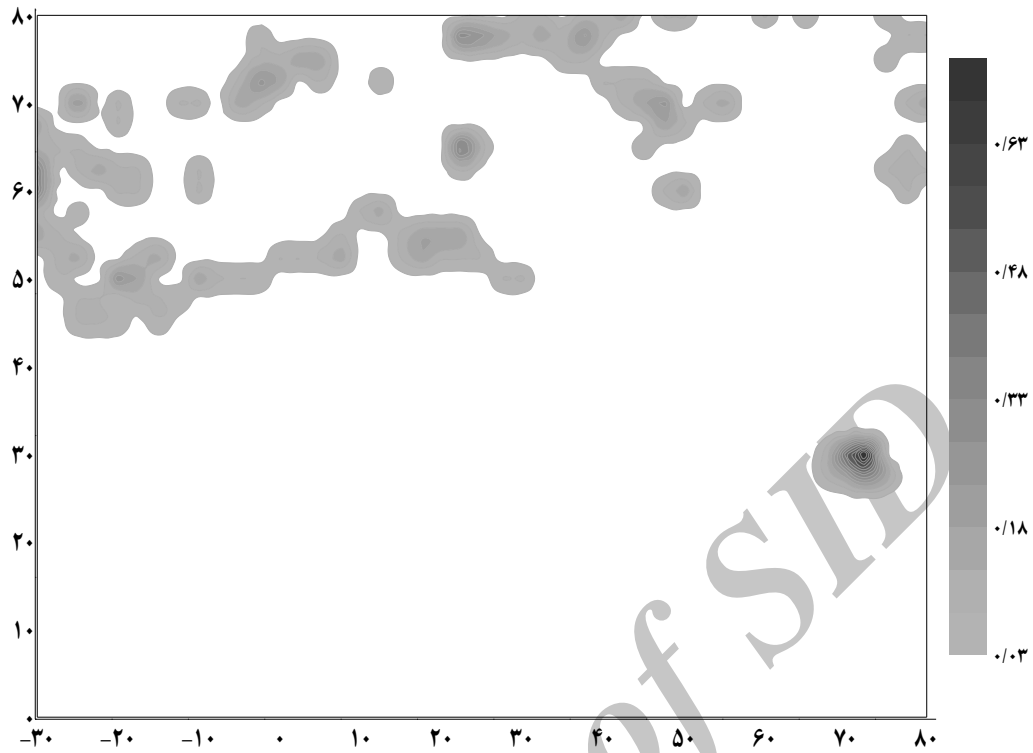
شکل ۱۳. توزیع مکانی سامانه‌های چرخندی فصل بهار تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

توزیع مکانی فراوانی چرخندها در فصل تابستان

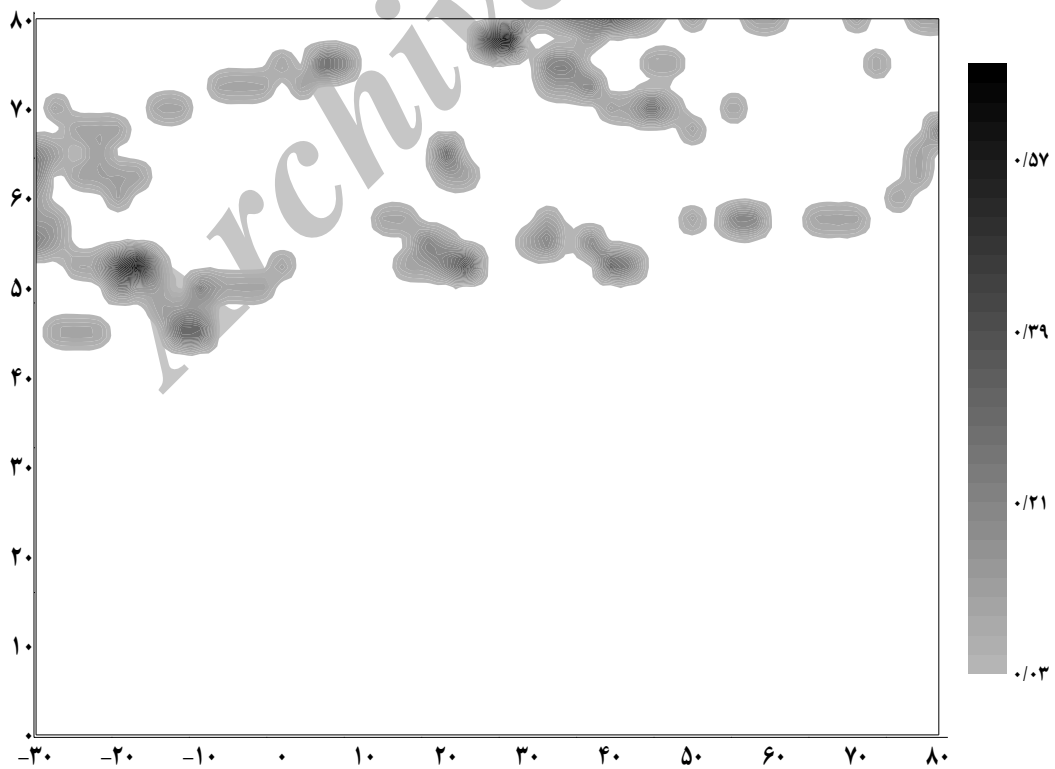
در این فصل چرخندهای ترازهای پایین در مقایسه با فصل زمستان محدود تر شده‌اند و برخلاف فصل زمستان، تمایل توزیع چرخندها به عرض‌های شمالی‌تر و پهنه‌های خشکی نمایان است. پهنه‌های چرخندی اطلس شمالی که در فصل زمستان در پهنه‌های وسیع‌تر فعالیت داشتند در این فصل به صورت پهنه‌هایی جدا از هم و کوچکتر نمایان شده‌اند. نکته‌ی دیگر که در نقشه‌های این فصل نمایان است عدم حضور چرخندها در دریای مدیترانه است. تنها در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در شمال غرب دریای سیاه گستره‌ی کوچک چرخندی حضور دارد که نسبت به فصل زمستان کوچک‌تر شده و به طرف شمال جابه جا شده است (شکل ۱۷). در ترازهای پایینی چرخند گنگ با گستره‌ی وسیع‌تر نسبت به ترازهای دیگر حضور دارد (شکل ۱۴ و ۱۵). در این فصل چرخندهای اطلس شمالی بسیار محدود شده و موقعیت شرقی‌تری به خود گرفته‌اند. اصلی‌ترین رخداد چرخندی همانطور که قبلاً ذکر شد، حضور چرخند گنگ در نقشه‌های تراز ۱۰۰۰ و ۹۲۵ در فصل تابستان و بهار است که بارش‌های تابستانی و بادهای ۱۲۰ روزه سیستان در جنوب شرق ایران با شکل‌گیری این سامانه در ارتباط می‌باشند.



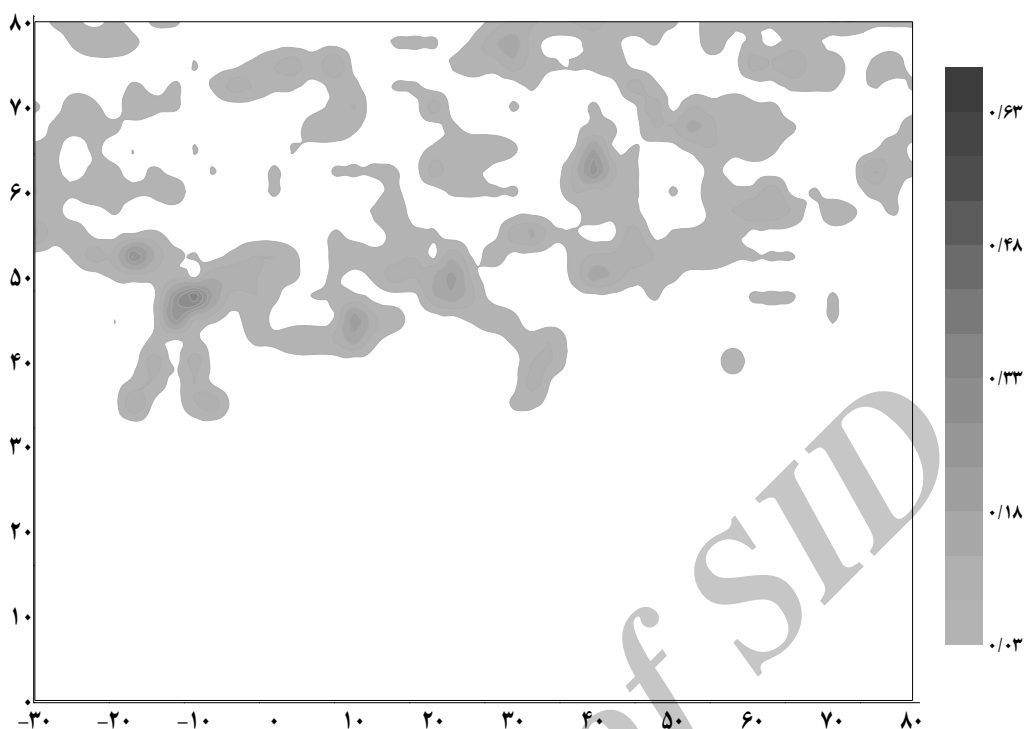
شکل ۱۴. توزیع مکانی سامانه‌های چرخندی فصل تابستان تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال



شکل ۱۵. توزیع مکانی سامانه‌های چرخندی فصل تابستان تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال



شکل ۱۶. توزیع مکانی سامانه‌های چرخندی فصل تابستان تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال



شکل ۱۷. توزیع مکانی سامانه‌های چرخندی فصل تابستان تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

به طور کلی، درصد فراوانی چرخندها در همه‌ی ترازهای بررسی شده در (جدول ۴) نشان داده شده است. در این جدول اعدادی که در هر تراز مشخص شده‌اند نشان دهنده‌ی بیشترین فراوانی فصلی در هر تراز اند. بر طبق این جدول فصل پاییز بیشترین فراوانی چرخندی را نسبت به فصول دیگر دارد. بعد از آن زمستان با اختلاف نسبتاً کمی بیشترین درصد فراوانی چرخندی را دارد. درصد فراوانی فصل تابستان با اختلاف قابل توجهی نسبت به سایر فصول کم‌ترین مقدار را دارا می‌باشد.

جدول ۴. درصد فراوانی چرخندها در هر تراز

فصل تراز	پاییز	زمستان	بهار	تابستان
۵۰۰	۲۸/۰۲	۲۶/۹۶	۲۲/۳۹	۲۳/۱۱
۶۰۰	۲۷/۷۸	۲۹/۶۴	۲۱/۱۶	۲۱/۴۰
۷۰۰	۳۱/۷۲	۲۹	۲۰/۵۱	۱۸/۷۵
۸۵۰	۳۷/۱۹	۲۴/۸۳	۲۰/۲۲	۱۷/۷۵
۹۲۵	۳۶/۰۹	۲۶/۲۷	۲۰/۰۹	۱۷/۵۴
۱۰۰۰	۳۲/۶۴	۲۹/۵۱	۲۱/۶۵	۱۶/۱۸

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از الگوریتم رقومی به کار برده شده در جهت شناسایی چرخندها در این مطالعه نشان می‌دهد که فراوانی چرخندی در طول دوره‌ی مطالعه در ۶ تراز اصلی تفاوت‌های قابل توجهی داشته است. چنانچه در (جدول ۳) نشان داده شد، در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال تعداد رخداد‌های چرخندی ۱۵۰۱ می‌باشد که با افزایش تراز، تا تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال این فراوانی روند کاهشی داشته و از تراز ۶۰۰ هکتوپاسکال تعداد رخداد چرخندها دوباره افزایش یافته، تا اینکه در تراز میانی جو به حداکثر فراوانی رسیده است. توزیع فراوانی چرخندها در فصول مختلف و مراکز بیشینه درصد فراوانی چرخندها به ترتیب تفاوت‌های زمانی و مکانی قابل توجهی را نشان می‌دهند. در ترازهای پایین جو فصل پاییز حداکثر فراوانی را نشان داده اما در ترازهای فوقانی و میانی جو، فصل زمستان با فراوانی بالا بیشینه چرخندی را نشان می‌دهد. با توجه به تحلیل نقشه‌ها و مطالعات پیشین می‌توان اظهار داشت هنگامی که جبهه‌ی قطبی به سمت عرض‌های جغرافیایی مناطق گرمسیری هجوم می‌برد، امواج چرخندی فعال متعددی را ایجاد می‌نماید که این اتفاق در اوایل دوره سرد سال رخ می‌دهد، چنانکه در (جدول ۴) مشاهده شد، حداکثر درصد فراوانی چرخندها در منطقه‌ی مورد بررسی در فصل پاییز می‌باشد. در این فصل چرخندهای اطلس شمالی بیشترین فراوانی را نشان می‌دهند. پس از فصل پاییز، فصل زمستان بیشترین فراوانی را به خود اختصاص داده است. مطالعه در ترازهای بالای جو بویژه تراز میانی نشان می‌دهد که در سراسر قلمرو نیمکره شمالی در تمامی فصول بویژه با شروع دوره سرد سال چرخندزایی، حرکت و تأثیر گذاری چرخندها افزایش می‌یابد و این سامانه‌ها همراه با جابجایی بادهای غربی به طرف سرزمین‌های شرقی و خاورمیانه حرکت کرده و نواحی پیرامون بویژه مناطق شرقی، خاورمیانه و ایران را تحت تأثیر قرار می‌دهند. چرخندهای این دوره‌ی سال عمدتاً به علت غلبه‌ی دینامیکی دارای جابجایی بیشتری هستند که در تراز میانی جو حرکت آنها مشهودتر به نظر می‌رسد. با توجه به نقشه‌ها در فصل زمستان، مدیترانه به عنوان یک مرکز قوی چرخند زایی دیده می‌شود که رخداد در خور توجه و بیشترین تأثیر را بر روی ایران می‌تواند داشته باشد. در فصول مختلف سال دیده شده که چرخندهایی که در منطقه جنوبا تشکیل می‌شوند، از سیمای ثابتی برخوردارند. چرخندهای ایجاد شده در بخش شرقی دریای مدیترانه با داشتن فراوانی و شدت بیشتر در بارش‌های ایران سهم بسیاری را دارا می‌باشند. با توجه به بررسی در این ناحیه چرخندهای این دریا به طور متوسط نسبت به سایر مناطق مشاهده شده در تمامی ایام سال حضور داشته و حرکت بیشتری نیز در بر داشته‌اند. بعد از زمستان بهار بیشترین فراوانی را به خود اختصاص داده است. در این فصل توزیع چرخندها در پهنه‌هایی وسیع‌تر اما با فراوانی کمتری نسبت به پاییز در نقشه‌ها نمایان هستند. چرخندهای تابستان از نظر فراوانی با اختلاف زیاد در مقایسه با بقیه فصل‌ها کمترین مقدار فراوانی در سال را دارند. سامانه‌ی کم فشار گنگ که یکی از

عناصر سازنده‌ی گردش عمومی جوّ در جنوب غربی آسیا می‌باشد، پدیده غالب نقشه‌ها در فصول بهار و تابستان است. این سامانه در فصول ذکر شده از مهم‌ترین عوامل تأثیر گذار بر اقلیم ایران می‌باشد، اثرات این سامانه گاهی تا نواحی مرکزی کشور پیشروی می‌کند. بارش‌های تابستانی و بادهای ۱۲۰ روزه سیستان در جنوب شرق ایران با شکل‌گیری این چرخند ارتباط دارد.

منابع

- ۱- احمدی گیوی، ا و نجیبی فر، ی، (۱۳۸۳)، «مطالعه‌ی چرخندزایی در پشت به باد کوه‌های آلپ و اثر آن بر آب و هوای خاورمیانه برای دوره‌ی یک ساله»، مجله فیزیک زمین فضا، جلد ۳۰، شماره ۲، صص: ۱۹-۱.
- ۲- احمدی گیوی، ف و محب الحججه، ع و قرابلو، م. (۱۳۸۴)، «مطالعه دینامیک سامانه‌های چرخندی بر روی ایران از دیدگاه تاوایی پتانسیلی: مطالعه موردی برای آذر ماه ۱۳۸۲»، مجله فیزیک زمین و فضا، جلد ۳۲، شماره ۱، صص: ۱-۱۳.
- ۳- جعفر بیگلر، م و خوش اخلاق، ف و اوجی، ر. (۱۳۸۸)، «موقعیت و فراوانی فصلی مسیرهای چرخندی در تر سالی‌های غرب میانی ایران»، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۶۸، تابستان، صص: ۷۱-۸۴.
- ۴- حبیبی، ف، (۱۳۸۶)، «آنالیز سینوپتیکی و دینامیکی چرخندزایی روی مدیترانه»، مجله نیوار، شماره ۶۵-۶۴، بهار و تابستان، صص: ۷۷-۹۱.
- ۵- حجازی زاده، ز و صداقت، م، (۱۳۸۸)، «مسیریابی رقومی سیکلون‌های خاورمیانه در دوره سرد سال»، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۶۹، پاییز، صص: ۱۷-۱.
- ۶- خوش اخلاق، ف و قائمی، ه، (۱۳۷۸)، «تکوین چرخندها»، مجله تحقیقات جغرافیایی، شماره ۵۵-۵۴، پاییز و زمستان، صص: ۲۵۱-۲۱۲.
- ۷- علیجانی، ب و کاویانی، م، (۱۳۷۱)، «مبانی آب و هواشناسی»، انتشارات سمت، تهران.
- ۸- علیجانی، ب، ۱۳۶۶، «رابطه پراکندگی مکانی مسیرهای سیکلونی خاورمیانه با سیستم‌های هوایی سطح بالا»، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال اول، شماره ۴، بهار، صص: ۱۴۳-۱۲۵.
- ۹- عزیزاده، ا، (۱۳۸۷)، «اصول هیدرولوژی کاربردی»، انتشارات آستان قدس رضوی، دانشگاه امام رضا (ع) - مشهد.
- ۱۰- رابرت بایرز، ه، (۱۳۷۷)، «هواشناسی عمومی»، ترجمه، تاج الدین بنی‌هاشمی، بهروز حاجبی، علیرضا بهروزیان مرکز نشر دانشگاهی، تهران

- 11- Alpert, P., B. U. Neeman, and Y. Shay-EL., (1990), "Climatological analysis of Mediterranean cyclones using ECMWF data", *Tellus*, 42A, 65-77.
- 12- Alpert, P., B. U. Neeman, and Y, Shay- EL, (1990), "Intermonthly variability of cyclone tracks in the Mediterranean", *J. Climate*, 3 1474- 78.
- 13- Blender, R. , Schubert M. , (2002), "Cyclone tracking in different spetial and termportal resolution", *American Meteorological Society*, Vol. 128, pp. 377- 384
- 14- Campins, J., Jansa, A & Genoves, A, (2006), "Three-dimentional structure of western Mediterranean cyclones", *Int. J. Climatol.* 26: 323 –343.
- 15- Heini ,Wernli, and Huw C. Davies, (1997), "A lagrangian- based analysis of extratropical cyclone. I: The method and some applications" , *Q. J. R. Meteorol. Soc*, 123. pp. 467-489.
- 16- Horvath,K, (2006), "Cyclogenesis in Lee of the Atlas Mountains: "A Factor Separation Numerical Study", *Advances in Geosciences*, 7, 327-331.
- 17- Karaca, M., Ali, Deniz and Mete, Tayanc, (2000), "Cyclone track variability over Turkey in association with regional climate", *International Journal of Climatology* 20: 1225-1236.
- 18- Krichak, S. O., M, Tsidulko, and P, Alpert, (2000), "Monthly synoptic patterns associated with wet/dry conditions in the Eastern Mediterranean", *Theor. Appl. Climatol*, 65, 215-229.
- 19- Maharas, P., Flocas, H. A., Patrikas. I & Anagnostopoulou, CHR, (2001), "A 40 year objective climatology of surface cyclones in the Mediterranean region: Spatial and temporal distribution", *Int. J Climatol.* 21: 109 – 130.
- 20- Muskulus, M., and D, Jacob, (2005), "Tracking cyclones in regional model data: The future of Mediterranean storms", *Advances in Geosciences*, 2: 13-19.
- 21- Picornell, M. A., Jansa, A., Genoves & Campins, J., (2001), "Automated database of mesocyclones from the hiram (INM) – 0. 5 analyses in the western Mediterranean", *Int. J. Climatol.* 21: 335 – 354.

- 22- Raible, C. C., Della- Marta, P. M., Schwirz, C., Wernli, H., Blender, R., (2008), "Northern hemisphere extratropical cyclones: A comparison of detection and tracking methods and different reanalyses", *Monthly Weather Review*, Vol136, 880 – 897.
- 23- Simmond, (1991), "A numerical scheme for tracking cyclone center from digital data Part I: Development and operation of the scheme", *Aust. Met. Mag.* 39 (1991) 155-166.
- 24- Simmond Ian. , Ross J. Murray. , (1999), "A refinement of cyclone tracking methods with data from FROST", *Aust. Met. Mag.* 35-49.
- 25- Simmond Ian. , (2000), "Size changes over the life sea level cyclones in the NCEP reanalysis", *Monthly Weather Review*, Vol 128, 4118 – 4125.
- 26- Trigo, Isabel, F., and Trevor D, Davies, (1999), "Objective climatology of cyclones in the Mediterranean region", *American Meteorological Society*, Vol 12, 1685-1696.
- 27- Wernli, H., Schwirz, C, (2006), "Surface cyclones in the ERA40 data set (1985-2001), Part I: Novel identification method and global", *J. Atmos. Sci.* 1-12.