

مسیریابی رقومی سیکلون‌های خاورمیانه در دوره سرد سال

زهره حجازی‌زاده - استاد گروه جغرافیا، دانشگاه تربیت معلم تهران
مهدی صداقت* - دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی در برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه تربیت معلم تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۸۷/۵/۱۵ تأیید نهایی: ۱۳۸۸/۴/۲

چکیده

پژوهش حاضر به بررسی مسیریابی رقومی سیکلون‌های خاورمیانه پرداخته است. مناطق سیکلون‌زایی و مسیرهای حرکتی آنها را می‌توان به‌وسیله الگوریتم‌های مرتبط تعیین ساخت. در این تحقیق از داده‌های دوباره تحلیل‌شده NCEP، با تفکیک زمانی (۲۴ ساعته)، و تفکیک مکانی $2/5 \times 2/5$ درجه، برای دوره سرد (ماه‌های دسامبر، ژانویه، فوریه و مارس) سال‌های ۱۹۹۳-۹۴ تا ۲۰۰۳-۰۴ استفاده شده است. محدوده مورد مطالعه، عرض‌های ۱۰ تا ۴۵ درجه شمالی و طول صفر تا ۶۵ درجه شرقی را شامل می‌شود. به‌منظور مکان‌یابی نقاط، از الگوریتم نوشته شده در زبان C++، و برای ترسیم مسیرها از نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد. طبق نتایج به‌دست آمده، پنج مسیر اصلی شناسایی شد. در ماه‌های مورد بررسی بیشترین فراوانی ورود سیکلون‌ها از جانب غرب و شمال غرب صورت می‌گیرد. هر ماه اقلیم‌شناسی خاص خود را ارائه می‌دهد. در ماه ژانویه، مسیرها میل به حرکت در طول بخش شمالی مدیترانه دارند. در ماه مارس، کم‌فشارهای اطلس به شدت افزایش می‌یابند. بیشتر سیکلون‌ها تداوم ۲-۳ روزه دارند. تأثیر عامل ناهم‌واری در تشکیل نواحی سیکلون‌زایی به مراتب بیشتر از هدایت مسیرهاست. سیکلون‌ها از سه مسیر اصلی و سه مسیر فرعی وارد ایران می‌شدند. مهمترین مسیر، غرب‌مرکزی، از غرب کشور با منشأ قبرس است. فراوانی وقوع سیکلون‌ها در دهه مورد مطالعه، دارای روندی افزایشی است.

کلیدواژه‌ها: سیکلون، مسیریابی، خاورمیانه.

مقدمه

سیکلون، مرکز کم‌فشاری است که یک یا چند منحنی هم‌فشار بسته دارد (کاویانی و علیجانی، ۱۳۷۸، ۱۴۳ و ۳۰۲). سیکلون‌ها از دیدگاه‌های مختلف از جمله: شرایط تشکیل، فراوانی وقوع در فصل‌های مختلف، ویژگی‌ها و تغییرات فشاری، چرخندگی و شدت و ضعف و ویژگی‌های بارش، و به‌ویژه مسیرهای حرکتی همواره مورد توجه پژوهشگران بوده‌اند. سیکلون‌های برون‌حاره‌ای پدیده‌ای غالب برای اقلیم‌عرض‌های میانه به‌شمار می‌آیند (Piexoto & Oort, 1992, 520). منطقه مورد مطالعه در مسیر سیکلون‌های خاورمیانه قرار دارد و سهم دریای مدیترانه در شکل‌گیری آن و

* E-mail: sedaghat.me@gmail.com

رخداد نزولات جوی فراوان و درخور توجه است. ایران نیز جزو این منطقه به‌شمار می‌آید و بیشترین ریزش‌های جوی‌اش مربوط به سامانه‌هایی است که از مدیترانه شکل می‌گیرند. حکیم و کاناوان^۱ (۲۰۰۴)، گردش تروپوپاز را در جریان شکل‌گیری سیکلون و آنتی‌سیکلون مورد بررسی قرار دادند و از منظر دینامیکی به تحلیل تفاوت‌های بین این دو پدیده پرداختند. مطالعه مسیره‌های انفرادی و شرح و بسط آنها می‌تواند در مطالعه وقایع فرین، از جمله طوفان‌ها، مورد استفاده قرار گیرد (Ulbrich et al., 2001, 70-80). سیکلون‌زایی مدیترانه‌ای اغلب به‌عنوان سیکلون‌زایی ثانویه در نظر گرفته می‌شود. گاهی نیز این موضوع برای سیکلون‌زایی‌های اوروگرافیک (متأثر از ناهمواری)، صادق است (Speranza, 2001, 189-200 & Buzzi et al., 2003, 276-300). مطالعات سیکلون‌زایی اوروگرافیک و به‌ویژه سیکلون‌زایی آلپی (یا سیکلون‌زایی خلیج جنوا)، در دهه‌های ۵۰ تا ۶۰ میلادی بنیان نهاده شدند (Egger, 1965, 279-299; Ziv et al., 2005). همچنین در مطالعات مختلف مشخصات ورتکس قطبی، نقش اختلالات سطوح بالا و جریان‌ات آن برای سیکلون‌زایی مدیترانه‌ای مورد بررسی قرار گرفته است (Perzerakos et al., 1997, 108-119; Homar & Stensrud, 2004, 799-811; Kotroni & Lagouvardos, 2001, 1977-1980; Lambert et al., 2003, 155-158; Lambert et al., 2004; Romero, 2001, 2559-2597; Romero et al., 2005). نواحی مرجع مهم شامل اطلس (در عرض‌های متفاوت، از جنب حاره تا عرض‌های میانی و بالایی)، افریقای شمالی و خود مدیترانه می‌شوند. برحسب شکل‌گیری مسیره‌های سیکلونی ثانویه در غرب و شرق مدیترانه، نواحی متفاوتی وجود دارد، که از آن جمله می‌توان خلیج لیون، خلیج جنوا، دریای آلبران، دریای ترینین، شمال و جنوب آدریاتیک، دریاهای اونیون و اژیبه و ناحیه قبرس را نام برد (Michaelides et al., 2004, 1829-1844; Nicolaidis et al., 2004; Prezerakos et al., 2005). به اینها ناحیه افریقای شمالی به‌ویژه بخش بادپناه کوه‌های اطلس را نیز باید اضافه کرد (Prezerakos et al., 2005, 1729-1744 & Nicolaidis et al., 2005, 463-486). با وجود پیشرفت‌های فراوان در دیده‌بانی و سامانه‌های درون‌یابی داده‌ها، هنوز تردیدهای بسیاری در خصوص مدل‌های پیش‌بینی رقومی هوایی وجود دارد. از سویی دیگر، مدل‌سازی و پیش‌بینی سیکلون‌زایی و چرخه عمر سیکلون برای ردیابی مسیر آن در مقیاس‌های مختلف جهانی (مسیره‌های طوفانی اطلس، گردش و عرض‌های میانه و جنب حاره‌ای) و محلی (تأثیر ناهمواری و همرفت)، ضروری است (Corazza et al., 2003, 131-143; Richard et al., 2003, 799-811; Accadia et al., 2005, 279-300; Zampieri et al., 2005, 603-612; Casaioli et al., 2005). منشأ سیکلون‌های مدیترانه‌ای که در برخی متون از آن به‌عنوان کم‌فشارهای مدیترانه‌ای نیز یاد می‌شود، یا مستقیماً خود دریای مدیترانه است و یا کم‌فشارهایی ثانوی هستند که از شمال غرب اروپا وارد می‌شوند، ضمن اینکه از سوی اقیانوس اطلس نیز کم‌فشارهایی در مسیر جنوب غرب فرانسه

1. Hakim & Canavan

یا حوالی تنگه جبل الطارق^۱ وارد منطقه می‌شوند. برخی از کم‌فشارها نیز، به‌ویژه در شمال غرب، منشأ بادپناهی دارند که عمدتاً بر روی خلیج جنوا و شمال ایتالیا شکل می‌گیرند (Kedrew, 1953). سیکلون‌های مدیترانه‌ای مسیره‌های مختص خود را طی می‌کنند، که در طول فصول مختلف فراوانی‌های متفاوتی دارند و کدرو آنها را در ۱۰ مسیر اصلی معرفی کرده است. در بررسی مشابهی که مرکز هواشناسی انگلستان انجام داده است، به‌طور کلی پنج مسیر اصلی برای سیکلون‌های مدیترانه‌ای معرفی شده، که هریک از آنها به نوبه خود به چندین مسیر فرعی تقسیم شده‌اند. حوضه دریای مدیترانه، فعالیت‌های سیکلونی مهمی را به‌ویژه در طول فصل پاییز و زمستان و بهار در خود جای می‌دهد؛ البته این فعالیت‌ها در فصل تابستان کاهش شدیدی می‌یابند. در این زمینه تحلیل سینوپتیکی مسیره‌های اغتشاش برای دو ماه زمستان و دو ماه تابستان بر روی شرق دریای مدیترانه از سوی کاراس و زنگویل^۲ (1990)، انجام گرفته است. مقایسه بین مسیره‌های سیکلونی و سیکلون‌های زودگذر، در سطح دریا و سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال، نشان داد که شباهت و همخوانی بین مسیره‌ها در هر دو سطح وجود دارد و در حدود ۵۰ درصد از مسیره‌های سیکلونی با مسیره‌های اغتشاشات سیکلونی زودگذر منطبق هستند (Karas & Zangvil, 1990). بررسی تغییرات ماهانه مسیره‌ها به‌وسیله آلپرت^۳ و همکاران (1990, 65-77)، نشان داد که ترکیب فصلی مسیره‌های سیکلونی تصویری واضح از اقلیم‌شناسی مسیره‌ها ارائه نمی‌دهد و از سوی دیگر هر ماه، در هر فصل، اقلیم‌شناسی مسیره‌های مربوط به خود را ارائه می‌دهد و نمی‌توان مستقیماً آن را از تصویر کلی سالیانه مسیره‌ها استنتاج کرد. با توجه به این امر، امروزه به‌منظور تهیه و تنظیم سیکلون‌های شناسایی‌شده، چندین الگوریتم رقومی مورد توجه قرار گرفته‌اند و در حال تکامل و توسعه هستند. در اغلب موارد، هسته‌های سیکلونی در شرایط حداقل فشار سطح دریا یا به عبارتی حداقل فشار در سطح ۱۰۰۰ هکتوپاسکال، تعیین شده‌اند. افزون بر آن، می‌توان سیکلون‌ها را در شرایط حداکثر چرخندگی سطح پایین شناسایی کرد (Hodges, 1994, 2573-2586). در اغلب روش‌ها، سیکلون به‌عنوان نقطه حداقل فشار میانگین سطح دریا در شبکه در نظر گرفته شده است (Lambert, 2004). برای مثال، لی تروت و کالنی^۴ (1990, 57-71)، فقط نقاط شبکه‌ای را که فشارشان ۴ درجه پایین‌تر از میانگین فشار ۲۰ نقطه شبکه اطراف‌شان بود در نظر گرفتند، در صورتی که اینو (1993)، حداقل میزان اختلاف فشار محاسبه‌شده از ۸ نقطه شبکه اطراف را مورد توجه قرار داد. به‌رغم تلاش‌های محاسباتی فراوانی که صورت گرفته (Alpert et al., 1990; Hodges, 1994; Haak & Ulbrich, 1996, 24-30)، تعداد و عمق سامانه‌ها شدیداً به نوع تفکیک داده‌های اولیه وابسته است (Haak & Ulbrich, 1996; Blender & Schubert, 2000, 377-384; Zolina & Guler, 2002, 748-759). بررسی تغییرات فعالیت سیکلونی اطلس شمالی و اروپا از سال ۱۸۸۱ تا ۲۰۰۳ میلادی، کاهش جدی را در تعداد سیکلون‌ها نشان می‌دهد (Jons Bend, 2005). تراکم سیکلونی روی مدیترانه غربی با تغییری ۶۵ درصدی در میانگین‌ها از سال ۱۸۸۱ تا سال ۲۰۰۳، کاهش شدیدی پیدا کرده است، در حالی که در شرق مدیترانه افزایش ناچیزی در

1. Giblortar
2. Karas & Zangvil
3. Alpert
4. Le Treut & Kalnay

تراکم سیکلون‌ها مشاهده شده است. به کار بردن شاخص‌های چندگانه به منظور شناسایی فعالیت‌های سیکلونی، خود عاملی در جهت بالا بردن ضریب اطمینان نتایج به دست آمده، قلمداد می‌شود. در برآورد روندهای زمانی و تجزیه و تحلیل ارتباطات موجود، برای زمستان‌های ۱۹۴۹ تا ۱۹۹۹، بر روی ناحیه ۲۰ تا ۷۰ درجه نیمکره شمالی از شش شاخص فعالیت سیکلونی استفاده شده است (Paciorek et al., 2001, 1573-1590). پژوهش دیگری به بحث درباره چگونگی مسیرهای سیکلونی در تفکیک‌های زمانی - مکانی متنوع آمار موجود می‌پردازد. مسیرها نیز با استفاده از روشی کاربردی از نقاط مجاور استخراج شده‌اند (Blender et al., 1997; Schubert et al., 1998). در مورد عوامل کنترل‌کننده مسیرهای سیکلونی مدیترانه نیز مطالعاتی انجام گرفته است که از مهم‌ترین آنها می‌توان به رابطه پراکندگی مکانی مسیرهای سیکلونی خاورمیانه با سامانه‌های هوایی سطح بالا اشاره کرد (علیجانی، ۱۳۶۶، ۱۲۵-۱۴۳). علاوه بر مطالب فوق، در محدوده مورد مطالعه نیز مباحثی چون مسیریابی سامانه‌های سودانی و نحوه تکوین و تقویت کم‌فشارهای مذکور و نقش آنها به عنوان منشأ بارش‌های سنگین در غرب و جنوب غرب کشور ایران از سوی برخی از پژوهشگران مورد توجه خاص قرار گرفته است (لشکری و قائمی، ۱۳۸۰، ۱۶۷-۱۸۱؛ لشکری، ۱۳۸۱، ۱۳۴-۱۵۶؛ مفیدی، ۱۳۸۳؛ مفیدی و زرین، ۱۳۸۴). در زمینه مسیریابی سامانه‌ها و دیگر عناصر تأثیرگذار بر اقلیم ایران نیز مطالعاتی صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان مسیریابی سامانه‌های کم‌فشار باران‌زا بر روی ایران (فرجی، ۱۳۶۰)، و یا تعیین جریان‌های رطوبتی تغذیه‌کننده بارش‌های دریای خزر (حجازی‌زاده و وروده، ۱۳۸۵) را برشمرد. تمامی مطالعاتی که شرح آن گذشت، با وجود ارزش فراوان‌شان، اغلب با دیدی سینوپتیکی به تحلیل‌هایی دستی از عوامل و عناصر تأثیرگذار در اقلیم خاورمیانه پرداخته‌اند، در حالی که با توجه به گسترش چشمگیر رایانه‌ها و توسعه روزافزون منابع و آرشیوهای اطلاعاتی، ضرورت مجهز شدن به فناوری‌های جدید بیش از پیش احساس می‌گردد. لذا به دلیل فقدان منابع درباره مسیریابی رقومی سیکلون‌ها در مطالعات داخلی، پژوهش حاضر اقدام به ارائه تصویری هرچند کلی از این دسته مطالعات کرده است.

مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر از داده‌های بازسازی شده NCEP (Kalnay, 1996)، برای دوره سرد سال (چهار ماه دسامبر، ژانویه، فوریه و مارس)، در سال‌های ۹۴-۱۹۹۳ تا ۰۳-۲۰۰۲ استفاده شده است. انتخاب تفکیکی مناسب برای کار بر روی داده‌های منطقه مورد مطالعه، از مؤلفه‌های اساسی در برآورد نتایج مطلوب به‌شمار می‌آید. تفکیک‌های زمانی - مکانی خود بنابر مساحت محدوده مورد مطالعه و اهداف موردنظر در مطالعه تعیین می‌گردند. با توجه به این موضوع، از ترکیب دو روش بلندر و اسپچوبرت (2000)، با در نظر گرفتن تفکیک مکانی $2/5 \times 2/5$ درجه و روش ماری و سیموندز (1991)، با تفکیک زمانی داده‌های روزانه (۲۴ ساعته)، استفاده شده است. محدوده مورد مطالعه، عرض‌های ۱۰ تا ۴۵ درجه شمالی و طول صفر تا ۶۵ درجه شرقی را شامل می‌شود (شکل ۱).

الگوریتم به کار برده شده در جست‌وجوی نقاط کمترین فشار از بین ۸ نقطه اطراف آن است (جدول ۱). معادله ۱ این روند را مطابق عملکرد ماری و سیموندز (1991) برای داده‌های میانگین فشار روزانه سطح دریا با اندکی تفاوت در شبکه تفکیک مکانی، یعنی شبکه $2/5 \times 2/5$ درجه مورد ارزیابی قرار می‌دهد.

معادله (۱)

$$\frac{a_{i,j} - a_{i-1,j}}{a_{i,j} - a_{i-1,j}} + \frac{a_{i,j} - a_{i+1,j}}{a_{i,j} - a_{i+1,j}} + \frac{a_{i,j} - a_{i,j-1}}{a_{i,j} - a_{i,j-1}} + \frac{a_{i,j} - a_{i,j+1}}{a_{i,j} - a_{i,j+1}} + \frac{a_{i,j} - a_{i-1,j-1}}{a_{i,j} - a_{i-1,j-1}} + \frac{a_{i,j} - a_{i+1,j+1}}{a_{i,j} - a_{i+1,j+1}} + \frac{a_{i,j} - a_{i+1,j-1}}{a_{i,j} - a_{i+1,j-1}} + \frac{a_{i,j} - a_{i-1,j+1}}{a_{i,j} - a_{i-1,j+1}} = -8$$

$a_{i-1,j-1}$	$a_{i-1,j}$	$a_{i-1,j+1}$
$a_{i,j-1}$	$a_{i,j}$	$a_{i,j+1}$
$a_{i+1,j-1}$	$a_{i+1,j}$	$a_{i+1,j+1}$

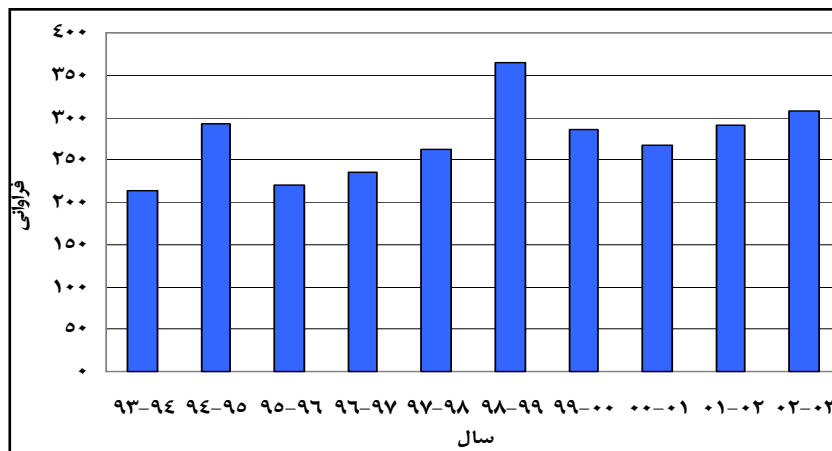
شکل ۱. ماتریس طراحی الگوریتم

اطلاعات استخراجی از الگوریتم اعمال شده بر روی داده‌ها، به ترتیب هر ردیف دربرگیرنده یک نقطه کم‌فشار با زمینه‌هایی چون طول و عرض جغرافیایی، تاریخ وقوع و میزان فشار است، که در ادامه با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS، به اطلاعات مکانی تبدیل شدند و مسیریابی نهایی صورت گرفت.

یافته‌های تحقیق

توزیع زمانی کم‌فشارها و مسیرها

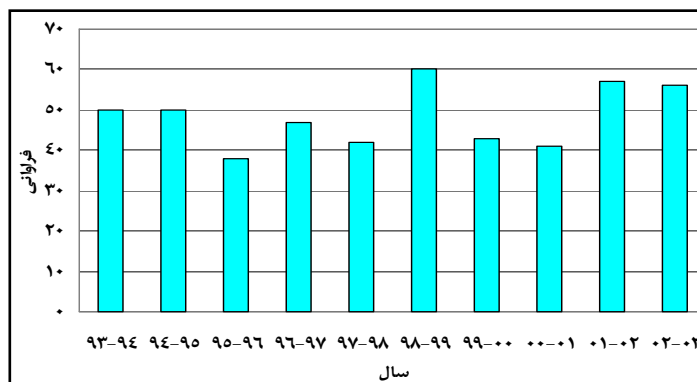
مجموعاً در محدوده مورد بررسی و در طول دوره، تعداد ۲۷۳۷ نقطه کم‌فشار مکان‌یابی شده است که در طول ۱۰ سال مورد بررسی، حداکثر آن مربوط به سال ۹۸-۹۹ با تعداد ۳۶۴ کم‌فشار و حداقل آن مربوط به سال ۹۳-۹۴ با تعداد ۲۱۳ کم‌فشار است (شکل ۲).



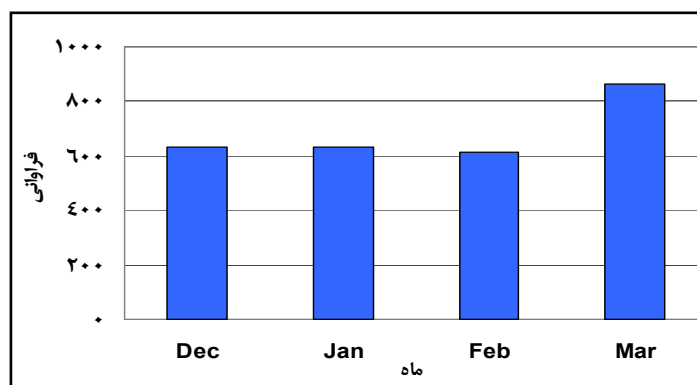
شکل ۲. فرآوانی سالانه کم‌فشارهای بسته

پس به‌طور متوسط در هر سال دوره آماری، تعداد ۲۳۷ کم‌فشار بسته به‌وجود آمده است. در همین زمینه تعداد ۴۸۴ مسیر، که حداکثر آنها در سال ۹۸-۹۹ با تعداد ۶۰ مسیر و حداقل آنها در سال ۹۵-۹۶ با تعداد ۳۸ مسیر رخ داده،

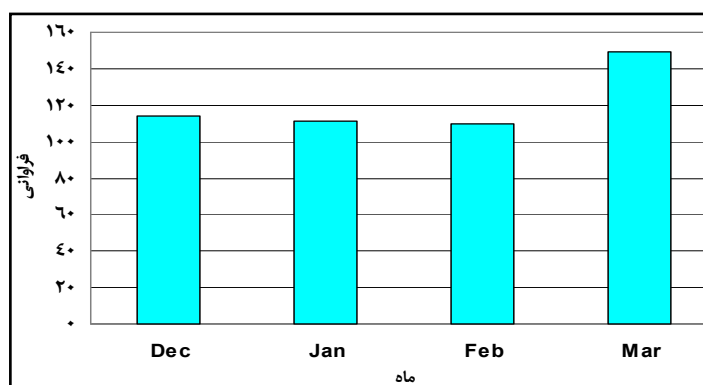
شناسایی شده است (شکل ۳). فراوانی‌های ماهانه وقوع کم‌فشارها و مسیره‌ها نیز در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳. فراوانی سالانه مسیره‌ها

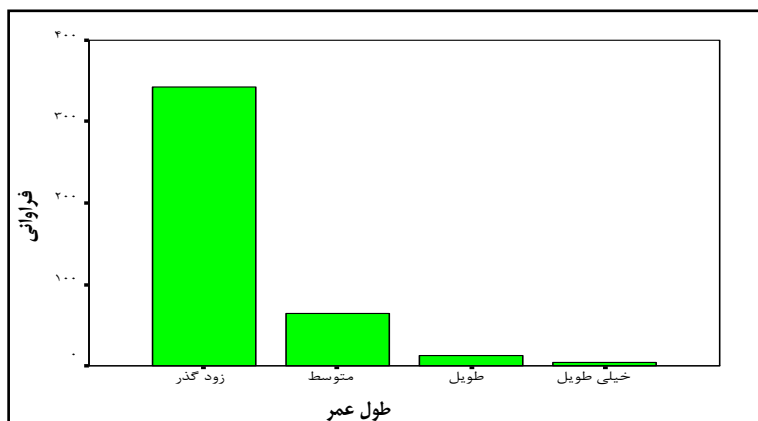


شکل ۴. فراوانی ماهانه کم‌فشارهای بسته

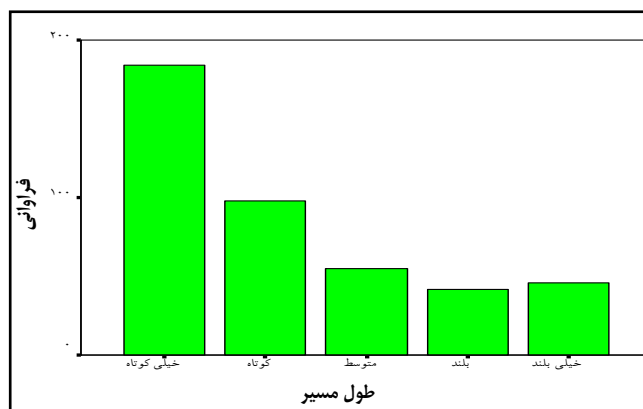


شکل ۵. فراوانی ماهانه مسیره‌ها

همان‌گونه که در شکل ۶ نشان داده شده است، اکثریت مسیره‌های به‌دست آمده جزو گروه اول یعنی مسیره‌های زودگذر با طول عمر ۲ تا ۴ روز به‌شمار می‌آیند. همچنین طول مسیره‌های سیکلونی طی شده (شکل ۷)، نیز به میزان خیلی زیادی وابسته به گرادیان درجه حرارت و فشار غالب است، به‌گونه‌ای که بالا بودن فراوانی مسیره‌های خیلی کوتاه، نشان‌دهنده گرادیان‌های درجه حرارتی و فشار نسبتاً پایین است.



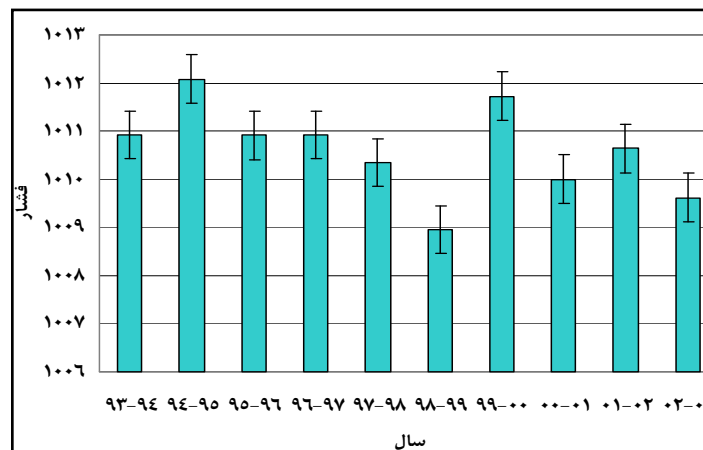
شکل ۶. طول عمر مسیرهای استخراج شده



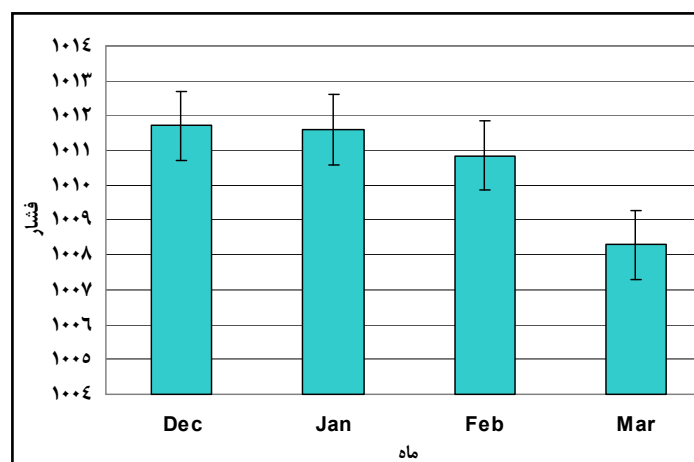
شکل ۷. فراوانی مسیرهای طی شده به درصد

تغییرات فشار مرکزی

میانگین کلی فشارهای نقاط کم‌فشار استخراج شده $1011/6$ هکتوپاسکال است. حداکثر فشارها مربوط به سال $94-95$ با میانگین $1012/1$ هکتوپاسکال، و حداقل‌ها در سال $98-99$ با میانگین 1009 هکتوپاسکال است. بین نحوه‌گردان فشار و شکل‌گیری و توسعه سامانه‌های مربوط به آن رابطه تنگاتنگی وجود دارد. همان‌طور که شکل‌ها نشان می‌دهند، سال وقوع حداکثر سامانه‌های کم‌فشار (سال $98-99$)، با سال مشاهده فشارهای حداقل برابر است. از سوی دیگر در بررسی روند تغییرات فشار ماهانه، همین حالت معکوس را بین ماه‌های حداقل فشار و حداکثر کم‌فشارهای یافت شده می‌توان دید (شکل‌های ۸ و ۹).



شکل ۸. نوسان سالانه میانگین فشار سیکلون‌ها



شکل ۹. نوسان ماهانه میانگین فشار سیکلون‌ها

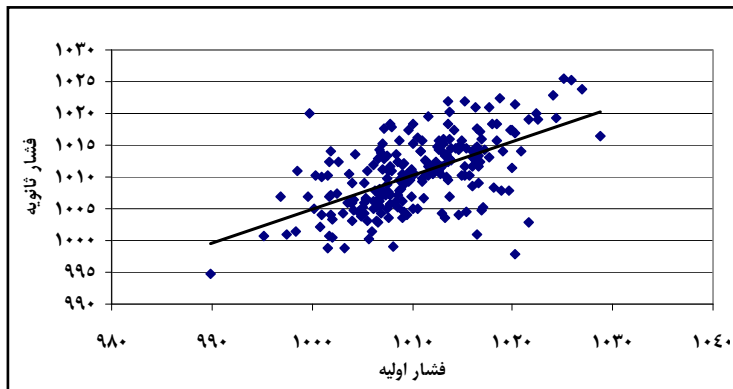
بررسی دو نمونه از دیگر شاخص‌های برداشت‌شده، یعنی فشار اولیه و ثانویه (نقطه ابتدا و انتهای مسیر حرکت سیکلون) و نتایج حاصل از رگرسیون، گویای آن است که بین این دو متغیر به میزان ۵۸٪ همبستگی وجود دارد. بدین معنی که ۳۴ درصد واریانس متغیر فشار ثانویه به وسیله متغیر فشار اولیه تبیین می‌گردد و این مقدار واریانس تبیین‌شده نیز درجه معنی‌داری بالایی در سطح ۰/۰۰۰۱ دارد.

جدول ۱. ضریب همبستگی و برآورد معناداری معادله رگرسیونی

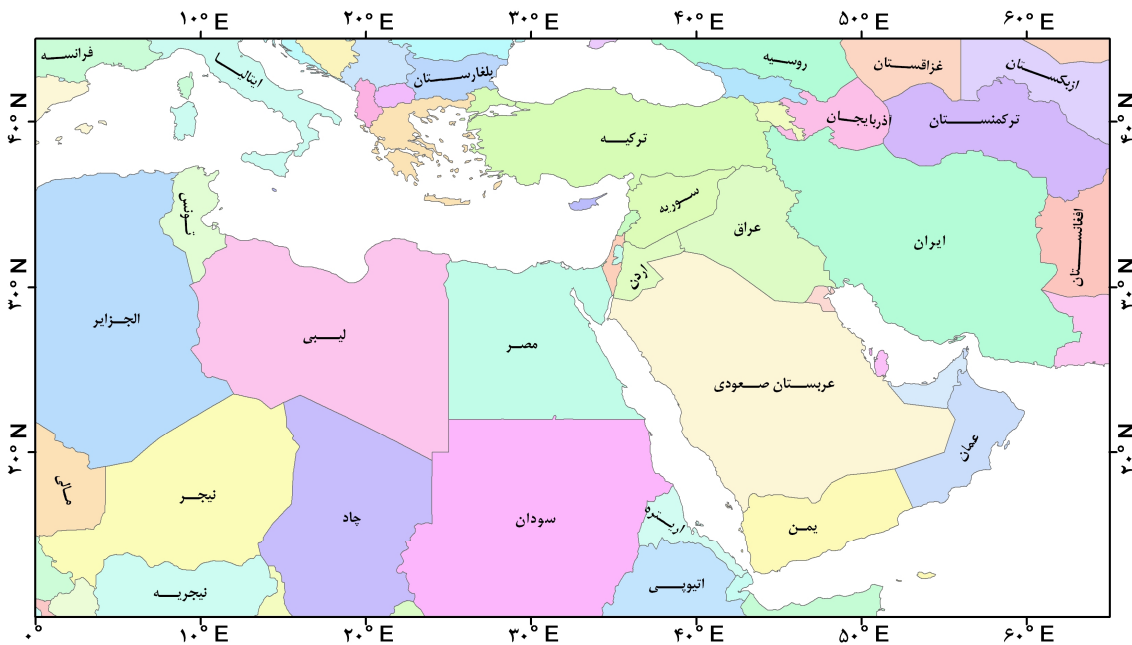
خطای استاندارد برآورد	واریانس تعدیل شده	واریانس تبیین شده	ضریب همبستگی	
۴/۵۷۹۸۱	۰/۳۴۴	۰/۳۴۷	۰/۵۸۹	
معنی‌داری α	t	رگرسیون استاندارد	معادله رگرسیون	
۰/۰۰۰۱	۹/۵۳۶	β	انحراف استاندارد	شیب خط
			۴۹/۵۱۹	۴۷۲/۲۲۴
۰/۰۰۰۱	۱۰/۸۷	۰/۵۸۹	۰/۰۴۹	۰/۵۳۳

در همبستگی مرتبه صفر، مقدار همبستگی برابر با شیب خط استاندارد شده (β) است. نیز مقدار t بزرگ‌تر و کوچک‌تر از $\pm 1/96$ نشان‌دهنده معنی‌داری آن است (در سطح $\alpha = 0/05$). در همین زمینه با محاسبه معادله مربوط به همبستگی بین این دو متغیر، اقدام به ترسیم خط رگرسیونی مربوط به آن شد (شکل ۱۰)، که حاصل آن معادله (۲) است.

$$y = 0/5327x + 472/22 \quad \text{معادله (۲)}$$



شکل ۱۰. رابطه رگرسیونی دو متغیر فشار اولیه و ثانویه

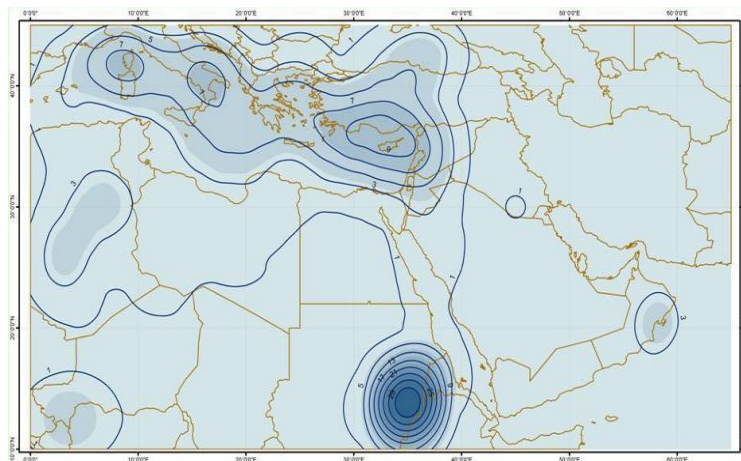


شکل ۱۱. محدوده مورد مطالعه

توزیع مکانی کم‌فشارها و مسیرها

همان‌گونه که در شکل ۱۲ مشخص است، مراکز سیکلون‌زایی عمده به ترتیب فراوانی مشاهده شده شامل سودان، قبرس، خلیج جنوا، اژه، دریای آدریاتیک، کوه‌های اطلس و ناحیه دریای سیاه می‌شوند. مطالعه حاضر، رخداد درخور توجه

کم‌فشارهای ناحیه سودانی را نشان می‌دهد. البته کارشناسان مرتبط، این تعداد فراوانی بالا را تا حدودی ناشی از ناوۀ کم‌فشار بین حاره‌ای^۱ می‌دانند. مراکز متوالی خلیج جنوا، آدریاتیک، اژه و جزیره قبرس و نحوه قرارگیری آنها نسبت به یکدیگر خود عاملی در جهت تقویت و تداوم هرچه بیشتر مسیرهای سیکلونی است. مراکز مذکور در مواقعی با افزایش قدرت سیکلونزایی به صورت مجموعه‌ای یک‌پارچه و قوی عمل می‌کنند. مراکز سیکلونزایی دیگر، از جمله ناحیه کوه‌های اطلس و دریای سیاه، هرکدام به نوعی با فراهم ساختن زمینه شکل‌گیری مراکز کم‌فشار به صورت مراکز با درجه اهمیت کمتر عمل می‌کنند. در این زمینه نقش دریای سیاه در تقویت و گسیل سامانه‌های کم‌فشار به کشور ایران از ناحیه شمال غربی شایان توجه است. در شکل ۱۲ ناحیه ایران و قسمت‌های جنوبی‌تر آن به دلیل تراکم پایین‌تر و نقاط کم‌فشاری بیشتر در حکم ناحیه گذر سامانه‌ها عمل می‌کند، که این می‌تواند تا حدود زیادی بر اثر ناهمواری‌های منطقه و پرفشار جنب‌حاره‌ای باشد.



شکل ۱۲. توزیع سالانه مراکز عمده سیکلونزایی

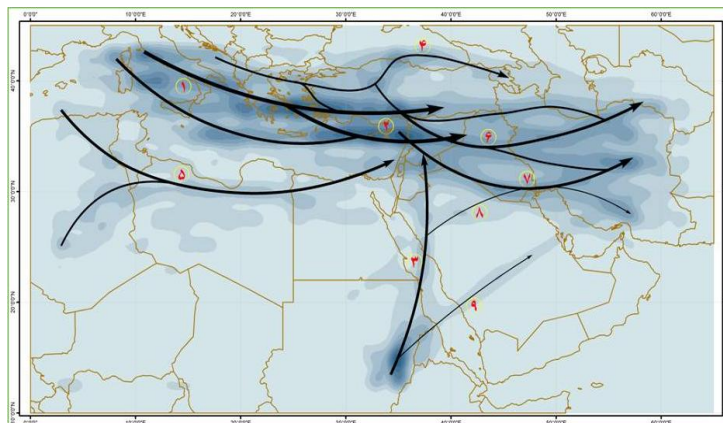
توزیع مکانی سالانه مسیرهای چرخندی

در تصویری کلی، جهت حرکت غالب مطابق جریان کلی بادهای غربی از غرب به شرق است. مسیرها از ابتدای مراکز سیکلونزایی در جهت امواج بادهای غربی با انحنایی به طرف جنوب، حرکت‌شان را به سمت شرق ادامه می‌دهند. تقریباً تمامی قسمت‌های شمالی محدوده مورد مطالعه، تحت پوشش مسیرها - البته با درجه تراکم متفاوت - است. مسیرهای شناسایی شده به ترتیب مسیر شماره ۱، از مرکز سیکلونزایی خلیج جنوا در شمالی‌ترین بخش محدوده و بعضاً زبانه‌های کم‌فشاری است که از سواحل غربی اروپا و اقیانوس اطلس سرچشمه گرفته‌اند و در ترکیب با کم‌فشارهای دریای آدریاتیک به جهت جنوب شرقی حرکت می‌کنند. از ویژگی‌های مسیر مذکور نظم و تجانس مطلوب در رویداد سیکلون‌ها و سرعت نسبتاً بالای آنهاست. مسیر شماره ۲، در امتداد مسیر شماره ۱ با احیای دوباره مسیرهای عبوری در ناحیه جزیره قبرس و ادغام با مرکز بیشینه سیکلونزایی دریای اژه از مسیر شماره ۱، جدا می‌شود. مسیر شماره ۲ نیز همانند مسیر

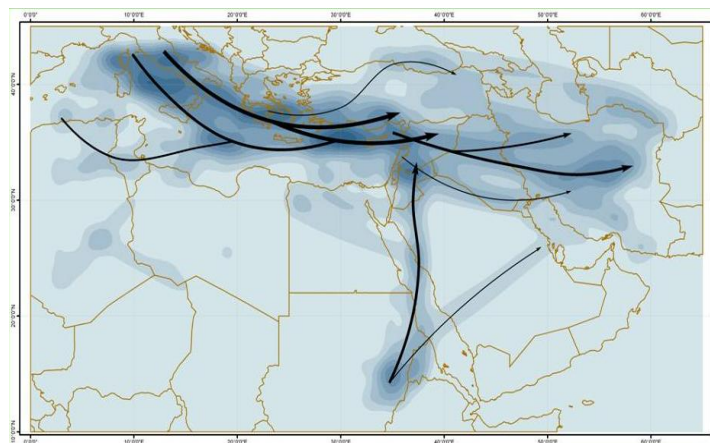
1. ITCZ

قبلی تراکم‌های بالایی دارد و حتی در مواقعی از سال به دلیل قدرت سیکلونزایی بالا، خود را قوی‌تر نشان می‌دهد. مسیر شماره ۳، از مرکز سیکلونزایی فوق‌العاده قوی سودان منشأ می‌گیرد. ویژگی بارز مسیر سودانی، تمایل به حرکت شمالی به سوی شرق مدیترانه است، که برخی از معادلات گردش عمومی جو را به وسیله ترکیب با عوامل سطحی - از قبیل شیار زمین‌ساختی دریای سرخ - برهم ریخته است. گاهی اوقات مسیر مذکور با بریدگی از جریان اصلی با پیمودن شبه‌جزیره عربستان از مرزهای غربی و ناحیه جنوب غربی، وارد کشور ایران می‌شود که مسیری فرعی به شمار می‌رود. مسیر فرعی شماره ۴، قسمت اعظم سیکلون‌های خود را از دریای سیاه و در مواقعی از سال از مراکز سیکلونزایی خلیج جنوا و دریای آدریاتیک دریافت می‌کند. مسیر شماره ۵، از جمله مسیرهای تأثیرگذار فرعی خاورمیانه است، که بنا به نظر دیگر پژوهشگران، تغذیه این مسیر از مرکز سیکلونزایی کوه‌های اطلس صورت می‌گیرد. مسیرهایی فرعی ولی تأثیرگذار دیگر، فرضاً در ناحیه ایران، از مسیرهای ۶ و ۷ (که در جای خود توضیح داده می‌شود)، و مسیرهای ضعیف‌تر (چون مسیر ۸ و ۹) شکل می‌گیرد (شکل ۱۳).

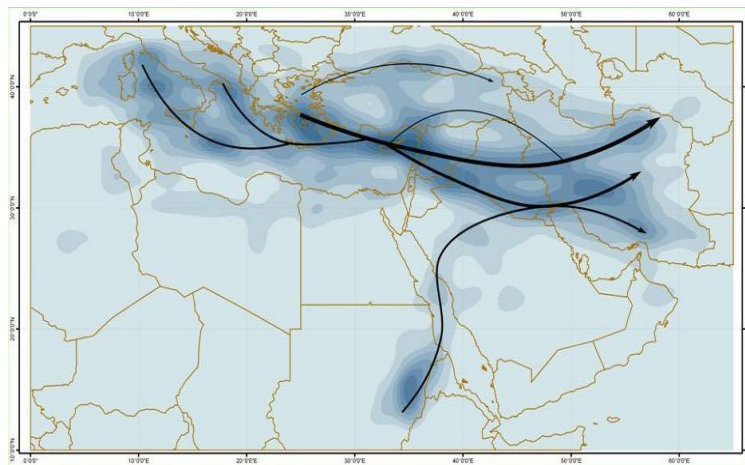
به منظور اطلاع از نحوه پراکنش ماهیانه مسیرها، توزیع مکانی مسیرهای سیکلونی برای ماه‌های دسامبر، ژانویه، فوریه و مارس به ترتیب در شکل‌های ۱۴، ۱۵، ۱۶ و ۱۷ به تصویر کشیده شده است.



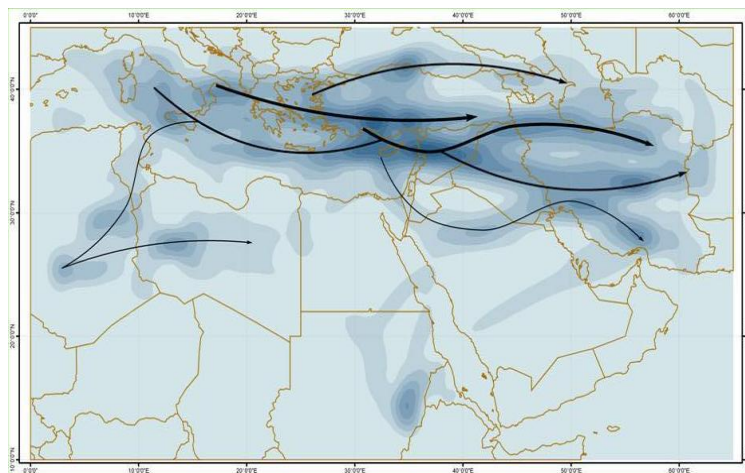
شکل ۱۳. توزیع سالانه مسیرهای سیکلونی



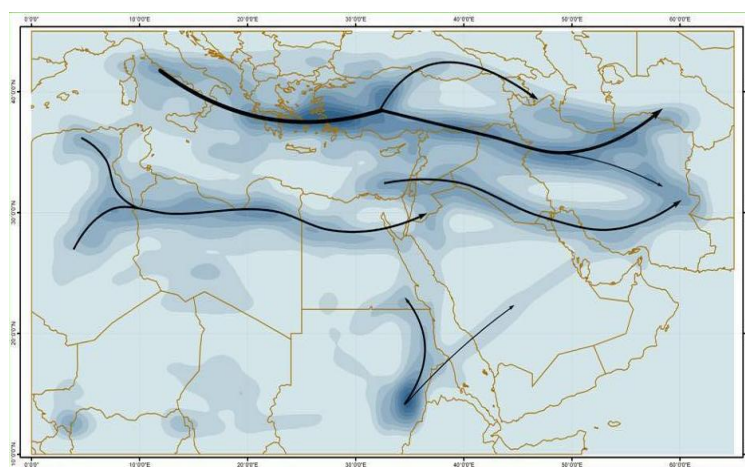
شکل ۱۴. توزیع مسیرها در ماه دسامبر



شکل ۱۵. توزیع مسیرها در ماه زانویه



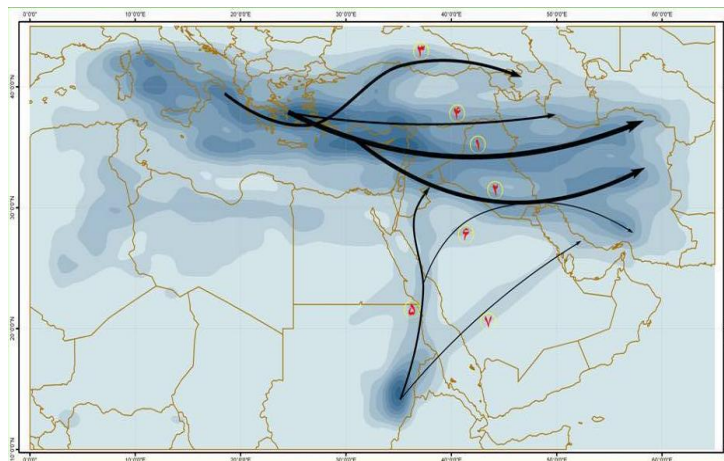
شکل ۱۶. توزیع مسیرها در ماه فوریه



شکل ۱۷. توزیع مسیرها در ماه مارس

توزیع مکانی مسیرهای ورودی به کشور ایران

سیکلون‌ها از سه مسیر اصلی به ترتیب غرب مرکزی (۱)، جنوب غرب (۲)، و شمال غرب (۳)، وارد کشور ایران می‌شوند (شکل ۱۸). مسیر غرب مرکزی، ناشی از سیکلون‌های مسیر شماره (۲) مدیترانه است. از جمله مسیرهای شاخص، می‌توان به کم‌فشارهای ارسالی از سوی ناحیه سودان اشاره کرد (مسیرهای شماره ۵، ۶، ۷). در نگاهی کلی، در ماه دسامبر مسیرهای غرب و جنوب غربی هر دو تأثیراتی یکسان و درمواقعی پوششی بر کشور ایران دارند. در ماه ژانویه وضعیت تغییر می‌کند و مسیرها متمایل به جنوب غرب می‌شوند، و در ادامه در ماه فوریه مسیرها کاملاً به سوی شمال غرب گسترش می‌یابند. در نهایت در ماه مارس، مسیرها به صورت دو رشته مجزا در غرب و جنوب غرب فعالیت می‌کنند. با پیگیری مسیر حرکت کم‌فشارها در داخل کشور، مشخص گردید که اکثریت کم‌فشارها پس از ورود به کشور در جریان حرکت خود به سمت شرق، در مقطعی ناپدید می‌گردند. مسیرهایی که اغلب در ماه مارس به شکلی مجزا از مسیرهای غربی و از ناحیه جنوب غرب وارد کشور می‌شوند به خاطر حرکت در دامنه ناوه مستقر بر روی ایران، اکثراً به سوی نواحی شمال شرقی کشور متمایل می‌شوند، تقریباً اکثر مسیرهای ورودی از ناحیه غرب و شمال غرب پس از تسلط سرانجام ۳ یا ۴ روزه در کشور، در مواردی با نفوذ تا قسمت‌های جنوب شرقی از مرز عبور می‌کنند.

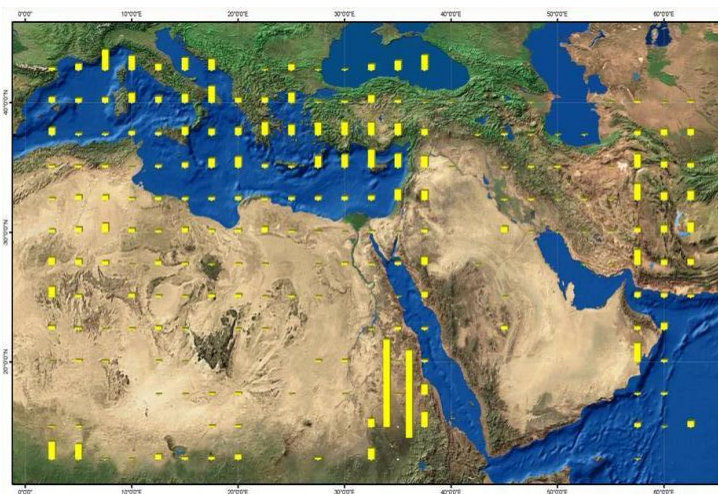


شکل ۱۸. توزیع مسیرهای ورودی به کشور ایران

رابطه تراکم‌های سیکلونی با توپوگرافی

با ترکیب دو عامل توپوگرافی منطقه و فراوانی کم‌فشارهای مکان‌یابی شده در نقاط شبکه (شکل ۱۹)، این فرضیه در ذهن خواننده نقش خواهد بست که نقش توپوگرافی در ناحیه، کوه‌های اطلس و به‌ویژه در ناحیه چاله دریای سیاه برای تشکیل کم‌فشارها تعیین کننده بوده، ولی در اغلب موارد و از آن جمله هدایت مسیر کم‌فشارها به عنوان عاملی منفعل و فرعی چندان چشمگیر نبوده است و در اصل جریانات سطح بالا هدایتگر اصلی مسیرها بوده‌اند.

توپوگرافی به‌ویژه در کشور ایران تأثیراتی در تعیین مسیر و تغییر در سرعت و تداوم و کاهش قدرت کم‌فشارهای ارسالی داشته است. بررسی دقیق نقش توپوگرافی مطالعات موردی، ردیابی و پیگیری مسیر حرکتی سیکلون‌ها را به صورت موردی می‌طلبد.



شکل ۱۹. نقشه تصویر توپوگرافی در پیوند با فراوانی کم فشارها

نتیجه گیری

نتایج حاکی از آن است که فراوانی کم فشارها در طول دوره مطالعه، روندی افزایشی داشته و در مقابل الگوی نوسان سالانه میانگین فشار سیکلون‌های مشاهده شده روندی نزولی داشته است، که البته نوع همبستگی آن با روند تغییرات ریزش‌های جوئی نیاز به مطالعه‌ای جداگانه دارد. می‌توان گفت رتبه‌بندی مناطق عمده سیکلونزایی، مسیرها و حتی تداوم زمانی با نتایج مطالعاتی قبلی - با تفاوت ناچیزی - انطباق داشته است. این موضوع خود نشان‌دهنده توانایی الگوریتم رقومی به کار برده شده در استخراج الگوی اقلیمی (کم فشارها و مسیرها) غالب منطقه است. در این زمینه یک محل حداکثر وقوع پدیده سیکلونزایی در سودان شناسایی شده است. همچنین نقش دریای سیاه در تقویت و گسیل سامانه‌های کم فشار به کشور ایران از ناحیه شمال غربی شایان توجه است. البته با بررسی تراکم مسیرهای به دست آمده، عمده‌ترین مسیر ورود سیکلون‌های مدیترانه به کشور ایران، مسیر غرب مرکزی است.

ذکر این نکته ضروری است که حتی در مواردی که از روش‌های کمی استفاده می‌شود، بهره‌مندی از دیدگاهی نظری با پشتوانه‌ای قوی، اصل انکارناپذیری است. امروزه گسترش روزافزون آرشیوهای اطلاعاتی، لزوم روی‌آوری به روش‌های کمی را هرچه بیشتر آشکار می‌سازد. حال با دیدی تازه، می‌توان فرضاً در زمینه مکان‌یابی و مسیریابی سامانه‌های فشار با افزودن شاخص‌هایی دیگر علاوه بر عامل فشار، به تحلیل‌ها دیدگاهی سینوپتیکی و جامع بخشید.

منابع

- Accadia, C., Mariani, S., Casaioli, M., Lavagnini A., and Speranza A., 2005, **Verification of Precipitation Forecasts from Two Limited-Area Models over Italy and Comparison with ECMWF Forecasts Using a Re Sampling Technique**, Wea. Forecasting, 20, No. 3, pp. 276-300.
- Alijani, B., 1987, **Relation between Cyclone Tracks and upper Level Flow Patterns in the Middle East**, Geographical Research Quarterly, 4: 125-143 .

- Alpert, P., Neeman, U., Shal-el, Y., 1990, **Climatological Analysis of the Mediterranean Cyclones Using ECMWF Data**, Tellus, 42A, 65-77.
- Benzi, R., Fantini, M., Mantovani, R., Speranza A., 1997, **Orographic Cyclogenesis in a Saturated Atmosphere and Intense Precipitation: Baroclinic Modal Solutions under the Joint Action of Localized Mountains and Humidity**, Annals of Geophysics, XL, 1579-1590.
- Blender, R., Fraedrich, K., Lunkheit F., 1997, **Identification of Cyclone-rack Regimes in the North Atlantic**, Quart. J. R. Met. Soc. 123, 727-741
- Blender, R., Schubert M., 1998, **Cyclone Tracking in Different Spatial and Temporal Resolution**, American Meteorological Society, Vol.128, pp.377-384.
- Blender, R., Schubert M., 2002, **Cyclone Tracking in Different Spatial and Temporal Resolutions**, Mon. Wea. Rev., 128, 377-384.
- Buzzi, A., D'Isidoro M., Davilio S., 2003, **A Case Study of an Orographic Cyclone South of the Alps during the MAP SOP**, Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 129, 1795-1818.
- Buzzi, A., Tibaldi S., 1977, **Inertial and Frictional Effects on Rotating and Stratified Flow over Topography**, Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 103, 135-150.
- Casalioli, M., Mariani, S., Accadia, C., Tartaglione N., Speranza, A., Lavagnini, A., Bollinger, M., 2005, **Unsatisfying Hydro-meteorological Forecast of a Mediterranean Cyclone: A Verification Study Employing State-of-the-art Techniques, 2005**, Proceedings 7th Plinius Conference, Crete, 5-7 October.
- Corazza, M., Buzzi, A., Sacchetti, D., Trovatore, E., Ratto, C.F., 2003, **Simulating Extreme Precipitation with a Mesoscale Forecast Model**, Meteorol. Atmos. Phys., 83, 131-143.
- Egger, J., 1972, **Numerical Experiments on the Cyclogenesis in the Gulf of Genoa**, Beitr. Phys. Atmos., 45, 320-346.
- Faraji, E., 1981, **Tracking of Rainfall Low-pressure Systems on Iran**, MS Thesis in Tehran University.
- Haak, U., Ulbrich, U., 1996, **Verification of an Objective Cyclone Climatology for the North Atlantic**, Meteorol. Z., N.F., 5, 24-30.
- Hakim, G.J. and Canavan, A.K., 2004, **Observed Cyclone-Anticyclone Tropopause Vortex Asymmetries**, American Meteorological Society, University of Washington, Seattle, Washington.
- Hejazizade, Z. & Rurade, H., 2006, **Investigated Determining The Humidity Sources of Southern Coast of Caspian Sea**, PhD Thesis in Teacher Training University.
- Hodges, K.I., 1994, **A General Method for Tracking Analysis and its Application to Meteorological Data**, Mon. Wea. Rev., 122, 2573-2586.
- Homar, V. and Stensurud, D.J., 2004, **Sensitivities of an intense Mediterranean Cyclone: Analysis and Validation**, Q. J. R. Meteorol. Soc., 130 2519-2540, Hydrology Earth System Sciences (HESS), 7(6), 799-811.
- Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woollen, J., Zhu, Y., M. Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Higgins, W., Janowiak, J. Mo, K.C., Ropelewski, C., Wang, J., Leetma, A., Reynolds, R., Jenne, R., Joseph, D., 1996, **The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project**, Bull. Amer. Meteor. Soc., 77, 437-471.

- Kendrew, W. G., 1953, **The Climate of the continents.**
- Kotroni, V. and Lagouvardos, K., 2001, **Precipitation Forecast Skill of different convective Parameterization and Microphysical Schemes: Application for the Cold Season over Greece**, Geophys. Res. Letters, Vol. 108, No 10, 1977-1980.
- Lambert, D., Arboagast, P., Chaboureau J. P., Crèpin, F., Farge M., and Richard E., 2004, **Mediterranean Rainstorm Study Using Potential Vorticity Inversion Method**, 1st EGU General Assembly, 25-30 Avril, Nice.
- Lambert, D., Arbogast, P., Chaboureau, J. P., Mascart P., and Richard, E., 2003, **Study of a Mediterranean Rainstorm Episode Using Potential Vorticity Inversion Method**, 5rd EGS Plinius Conference on Mediterranean storms, 1-3 October, Ajaccio, France, EGS Ed., pp. 155-158.
- Lashkari, H., 2002, **Tracking of Sudan Low Systems Inter in Iran**, Journal of Modares UN, Priod 6, NO 2-25.
- Le Treut, H., Kalnay, E., 1990, **Comparison of Observed and Simulated Cyclone Frequency Distribution as Determined by an Objective Method**, Atmospha, 3, 57-71.
- Mofidi, A., & Zarin, A., 2005, **Synoptic Analysis of Sudan's Low-pressure**, Quarterly Journal of Sarzamin , NO 6, pp 24-48.
- Mofidi, A., 2004, **Synoptic Climatology of Red Sea Heavy Rainfall in Middle East**, Geographical Research Quarterly, NO 4-75, pp 71-93.
- Nicolaidis, K. A., Michaelides S. C., and Karacostas T., 2005, **Synoptic and dynamic Characteristics of Selected Deep depressions that Affected the Area of Cyprus**, 7th Plinius Conference.
- Nicolaidis, K. A., Michaelides, S. C., and Karacostas T., 2004, **Spatial Distribution of some Dynamic Parameters during the Evolution of Selected Depressions over the Area of Cyprus**, Intern. J. Climatol, 24, 1829-1844.
- Prezerakos, N. G., Flocas H. A., and Brikas, D., 2005, **The Role of the Interaction between Polar and Subtropical Jet in a case of Depression Rejuvenation over the Eastern Mediterranean**, Meteorol. Atmos. Phys. (online)
- Prezerakos, N. G., Mechaelides, S. C., and Flocas, H. A., 1997, **The Role of a Developing upper Diffluent trough in Surface Cyclogenesis over Central Mediteranean**, Meteorol. Zeitschrift, 6, 108-119.
- Radinovic. D., 1965, **On Forecasting of Cyclogenesis in the West Mediterranean and other Areas Bounded by Mountain Range by Baroclinic model**, Archiv. Met. Geoph. Bioklim., A., 14, 279-299.
- Richard, E., Cosma, S., Benoit, R., Binder, P., Buzzi A., and Kaufmann P., 2003, **Intercomparison of Mesoscale Meteorological Models for Precipitation Forecasting**, Hydrology Earth System Sciences (HESS), 7(6), 799-811.
- Romero, R., 2001, **Sensitivity of a heavy rain producing Western Mediterranean cyclone to Embedded Potential Vorticity Anomalies**, Quart. J. Roy. Meteorol. Soc., 127, 2559-2597.
- Romero, R., Martin, A., Homar, V., Alonso S., and Ramis C., 2005, **Predictability of Prototype Flash Flood Events in the Western Mediterranean under Uncertainties of**

- the Precursor Upperlevel Disturbance**, The HYDROPTIMET case studies, Nat. Haz. And Earth. Syst. Sci., 5.
- Ueno, K., 1993, **Inter-annual Variability of Surface Cyclone Tracks, Atmospheric Circulation Patterns and Precipitation in Winter**, J. of Climatol., 4, 297-310
- Ulbrich, U., Fink, A. H., Klawa, M., Pinto, J. G., 2001, **Three Extreme Storms over Europe in December 1999**, Weather, 56, 70-80.
- Zampieri, M., Malguzzi P., and Buzzi, 2005, **Sensitivity of quantitative precipitation Forecasts to Boundary Layer Parameterization: A Flash Flood Case Study in the Western Mediterranean**, Natural Hazard Earth System Sci., 5, 603-612.
- Ziv, B., Saaroni, H., Baharad A., and Bar-Romem M., 2005, **The role of conveyor belts in Weathern Patterns Associated with Mediterranean Cyclones**, 7th Plinius Conference.
- Zolina, O., Gulev S.K., 2002, **Improving the Accuracy of Mapping Cyclone Numbers and Frequencies**, Mon. Wea. Rev., 130, 748-759.