نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال چهارم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۶
صفحات ۱۸- ۱

اقلیم شناسی سیکلون های باران زای زمستانه ایران

علی بیات[1]، دانشجوی دکتری آب و هواشناسی،گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.
محمد سلیقه، دانشیار آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.
مهری اکبری، استادیار آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۸/۲۰ پذیرش نهایی: ۱۳۹۶/۰۲/۲۷

چکیده

در این مطالعه با استفاده از داده های چرخندگی نسبی مرکز اروپایی پیش بینی میان مدت جوی(ECMWF)، سیکلون های باران زای فصل زمستان (دسامبر، ژانویه و فوریه) ایران مورد مطالعه قرار گرفت. بدین منظور، داده های چرخندگی نسبی سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال در بازه زمانی ۳۰ ساله (۲۰۰۹-۱۹۷۹) با تفکیک مکانی ۱/۵ درجه جغرافیایی و زمانی ۶ ساعته، جهت شناسایی، مسیریابی و تحلیل سیکلون ها بکار گرفته شد. با تعریف آستانه مشخص چرخندگی نسبی، مراکز سیکلونی بالقوه شناسایی شد و با روش رهگیری در ۸ همسایه مجاور و با داشتن طول عمر حداقل ۸ گام زمانی ۶ ساعته، سیکلون ها تعریف و مسیریابی گردید. نتایج مطالعه نشان داد که بخش شرقی دریای مدیترانه بخصوص جزیره قبرس، دریای اژه، دریای آدریاتیک، دریای سرخ و منطقه سودان و همچنین کشور عراق از مهمترین کانون های سیکلون زایی زمستانه ایران می باشند. مسیرهای اصلی ورودی سیکلون ها شامل مسیر شمال غرب، غرب میانی و نیز جنوب غرب می باشد. عمر متوسط سیکلون ها چهار و نیم روز، میانگین سرعت جابجایی آنها در حدود ۲۰ کیلومتر بر ساعت و نیز متوسط جابجایی سیکلون ها در حدود ۱۷۰۰ کیلومتر است. از نتایج قابل توجه دیگر کاهش تعداد سیکلون های باران زا در طول سه دهه اخیر می باشد.

واژگان کلیدی: مسیرهای سیکلونی، سیکلون های باران زا، مدیترانه، دریای سرخ، ایران.

۱ - نویسنده مسئول: Email: alibayat۸۶@yahoo.com

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

مقدمه

سیکلونهای برون حاره عناصر بنیادی هواشناختی هستند که نقش مهمی را در طیف وسیعی از پدیده های جوی بازی می کنند. آنها از یک طرف مسئول انتقال بخش مهمی از منابع آبی ما هستند و از سوی دیگر با بسیاری از مخاطرات طبیعی عرضهای میانی و بالا از قبیل توفان های خشکی و دریایی و بارشهای سیلابی در ارتباط هستند. پس شناخت جامع از فعالیتهای سیکلونها در جوامع امری ضروری است (Hoskins and Hodges, ۲۰۰۲). از یک طرف، سیکلون های عرض میانی نقش مهمی در گردش عمومی جو به دلیل انتقال گشتاور، گرما و رطوبت مابین عرض های بالایی و پایینی دارند (Bartholy, ۲۰۰۹). از طرف دیگر، مسیر سیکلون ها مشخص می کنند که طوفان ها و بارش ها در کجا رخ می دهند و تغییر مسیرهای ناشی از تغییرات طبیعی در دراز مدت و حتی تاثیرات تغییرات انسانی، تاثیر شگرفی بر اقلیم محلی دارند (Blender and Schubert, ۲۰۰۰; Flocas et al., ۲۰۱۰). بنابراین تغییرات جزئی در ویژگیهای سیکلونها ممکن است تغییرات بزرگی در پدیده های جوی و اقلیمی ایجاد کنند. سیکلوهای برون حاره در برخی ویژگیها تفاوت فاحش داشته و گاهاً در تضاد هستند. برای مثال، در شکل و ابعاد ممکن است تفاوت زیادی با هم داشته باشند. به طوری که اندازه سیکلونها از ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ کیلومتر متفاوت است. علاوه بر این، این سیکلونها ممکن است محدود به تروپوسفر پایینی بوده و یا عمق عمودی زیادی داشته باشند(Neu et al., ۲۰۱۳). دو منطقه عمده در نیمکره شمالی وجود دارند که سیکلونهای این مناطق، اقلیم این نیمکره را بخصوص در زمینه چرخه آب و فرین های اقلیمی و در ابعاد سینوپتیک تحت تاثیر قرار می دهند: یکی اطلس شمالی و مدیترانه و دیگری آرام شمالی. حوضه دریای مدیترانه یکی از مناطق مهم سیکلون زایی دنیاست (Romem et al., ۲۰۰۷). سیکلون های مدیترانه در مقایسه با سیکلون های سایر مناطق برون حاره ویژگیهای منحصر به فردی دارند. بنابراین مطالعات زیادی بر این ویژگیها متمرکز شده و به انجام رسیده اند (Alpert et al., ۱۹۹۰a, ۱۹۹۰b; Trigo et al., ۱۹۹۹; Picornell et al., ۲۰۰۱; Lionello et al., ۲۰۰۲). تمام سیکلون های مدیترانه عموماً در مقایسه با سیکلون های اطلس شمالی در مقیاس زمانی و مکانی کوتاهتری اتفاق می افتند (Trigo et al., ۱۹۹۹). سیکلون های مدیترانه می توانند تهدیدی برای طبیعت و جوامع باشند و قویاً هوا و اقلیم مدیترانه و مناطق اطراف آن را تحت تاثیر قرار می دهند. بنابراین، بارشهای سنگین و بادهای قوی که از مهمترین مخاطرات محیطی به حساب می آیند کاملا با سیکلون ها مرتبط هستند (Campins et al., ۲۰۰۶). برخی مطالعات صورت گرفته در حوضه دریای مدیترانه، تاثیر مستقیم سیکلون ها در وقوع بارش های سنگین، سیلاب ها و نیز بادهای قوی را به اثبات رسانده اند (Campins et al., ۲۰۰۶; Bech et al., ۲۰۱۱; Terranova and Gariano, ۲۰۱۴). بنابراین ضروری است که ما دانش خود را در زمینه سیکلون ها از قبیل مسیر و چرخه عمر آنها با استفاده از تحلیل داده های با تفکیک بالا افزایش دهیم. پس، به کارگیری داده های با تفکیک بالا برای تعیین چرخه عمر سیکلون ها از زایش تا مرگ به خصوص در مقیاس کوچک تر لازم و ضروری است (Neu et al., ۲۰۱۳). سیکلون های مدیترانه اقلیم مناطقی از مرکز و شرق اروپا (از قبیل مجارستان، رومانی، اوکراین، روسیه و غیره)، آسیا (سوریه، عراق، ایران، افغانستان و غیره) و هند شمالی را تحت تاثیر قرار می دهند (Lionello et al., ۲۰۰۶). حدود ۷۰ الی ۸۰ درصد از بارشهای زمستانه قاره اروپا از حدود ۱۵ سیکلون جبهه ای اطلس شمالی و مدیترانه ایجاد می شوند (Blender et al., ۱۹۹۷). از طرفی نیز، بیش از ۷۳ درصد از عوامل ایجاد کننده بارش های ایران به ویژه در شمال غرب، غرب و جنوب غرب ایران، سیستم های سینوپتیک (سیکلون ها و موج های کوتاه) هستند که به همراه موج بادهای غربی از مدیترانه وارد کشور می شوند (علیجانی، ۱۳۸۵: ۲۰۵). مطالعات مختلف حاکی از افزایش فراوانی چرخندزایی مدیترانه

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

در ماههـای سـرد سـال (Trigo et al., ۱۹۹۹; Maheras et al., ۲۰۰۱) و همچنـین کـاهش ایـن رخـداد اقلیمـی در ماههای گرم سال (Maheras et al., ۲۰۰۱) است. مطالعات متعددی در مورد سیکلون زایـی دریـای مدیترانـه صـورت گرفته است. برای مثال علیجانی (۱۳۶۶) رابطه پراکندگی مکانی مسیرهای سیکلونی خاورمیانه را با سامانه های هـوایی تراز بالا بررسی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که اثر سامانه های تراز بالا در پراکندگی مسیرهای سیکلونی خاورمیانه خیلی بیشتر و مهمتر از نقش ناهمواریها و همچنین الگوی فشار سطح زمین است. آلپـرت و همکـاران (Alpert et al., ۱۹۹۰) تغییرات ماهانه مسیرهای سیکلونی را در مدیترانه مورد بررسی قرار دادند و نشـان دادنـد کـه مسـیر سـیکلون های منطقه مدیترانه تغییرات ماهانه معنی داری را نشان می دهند. مهمت و همکاران (Mehmet et al., ۲۰۰۰) تغییـر پذیری مسیرهای سیکلونی را بر روی ترکیه مطالعه کردند و نشان دادند که مسیرهای غالب سیکلونی، پـنج مسـیر مـی باشد که بالاترین فراوانی سیکلونها در زمستان اتفاق می افتد. رامیس و همکاران (Ramis et al., ۱۹۹۸) بـارش بسـیار سنگین و سیلابی رخ داده در روزهای ۹ و ۱۰ اکتبر ۱۹۹۴در ایالت کاتالونیای اسپانیا را مطالعه نموده و نشان دادند که سیکلون شکل گرفته در غرب مدیترانه به همراه نیروی اروگرافیک منجر به وقوع بـیش از ۴۰۰ میلـی متـر بـارش و در نتیجه سیلاب شـدید در جنـوب کاتالونیـا شـده اسـت. کاستاسـچوک و همکـاران (Kostaschuk et al., ۲۰۰۱) تـاثیر سیکلون های حاره ای و برون حاره ای را بر سیل های رخ داده در فیجی مورد بررسی قـرار دادنـد و نشـان دادنـد کـه سیکلون های حاره ای اغلب در طول فاز منفی نوسانات اطلس جنوبی (SOI) به وقوع می پیوندند و تمام سیکلون هـای حاره ای در طول شرایط النینو منجر به سیلاب می شوند. کمپینز و همکـاران، (Campins et al., ۲۰۰۶) ارتبـاط بـین سیکلون های مدیترانه و بارش های سنگین و بادهای قوی را مورد مطالعه قرار دادند. آنهـا ارتبـاط قـوی و مشخصـی را بین مراکز سیکلونی واقع در جزایر بالریک در جنوب ایتالیا و سواحل کاتالونیا در شبه جزیره ایبری و رخدادهای فرینـی مثل بارش های سنیگین و بادهای قوی در این منطقه یافتنـد. بـچ و همکـاران (Bech et al., ۲۰۱۱) بـارش سـیلابی و طوفان رخ داده در روز دوم نوامبر سال ۲۰۰۸ در ساحل جنوبی کاتالونیا واقع در شمال شـرق اسـپانیا را مـورد بررسـی قرار دادند. ایشان بارش سیلابی باریده در طول یک روز را که مجموع آن بیش از ۱۰۰ میلی متر بود و ۴۰ میلی متر آن در طول نیم ساعت باریده بود به عنوان یک سیل برق آسا مورد توجه قـرار دادنـد و بـه ایـن نتیجـه رسـیدند کـه ایـن مخاطره جوی در ارتباط با سیکلون و کم فشار قوی شکل گرفته در شـبه جزیـره ایبـری مـی باشـد. در طـول دو دهـه گذشته الگوریتم های عددی زیادی برای شناسایی و مسیریابی سیکلون ها ارائه و توسعه پیدا کـرده انـد (Murray and Simmonds, ۱۹۹۱؛ Hodges, ۱۹۹۴؛ Blender et al., ۱۹۹۷؛ Sinclair, ۱۹۹۷؛ Trigo, ۲۰۰۶). الگوریتم های مختلف از داده های متفاوتی مانند میانگین فشار سطح دریا، ژئوپتانسیل و یا چرخنـدگی نسـبی جهـت شناسـایی و مسـیریابی اسـتفاده کـرده انـد (Hodges et al., ۲۰۰۳؛ Ulbrich et al., ۲۰۰۹؛ Hodges et al., ۲۰۱۱؛ Flaounas et al., ۲۰۱۴). این گزینه ها منعکس کننده خصوصیات متفاوتی هستند. در حالی که چرخندگی بیشتر بر زمینـه بـاد متمرکـز اسـت، فشار سطح دریا با زمینه جرم توده هوا مرتبط می باشـد (Hodges et al., ۲۰۰۳). ضـمن اینکـه چرخنـدگی نسـبی در قیاس با میانگین فشار سطح دریا از استقلال بیشتری نسبت به تاثیرات مستقیم توپوگرافی برخوردار است و در محدوده هـای کـوچکتر و نیـز در مقیـاس هـای سـینوپتیک و محلـی کـارایی بیشـتری دارد (Hoskins and Hodges, ۲۰۰۲؛ Kelemen et al., ۲۰۱۴). از طرف دیگر هاسکینز و هوجز معتقد هستند که منطقه مدیترانه مقیاس کوچکتری نسـبت به سایر مراکز سیکلون زایی دنیا دارد و بنابراین چرخندگی نسبی مناسب ترین زمینه برای شناسایی سیکلون های ایـن منطقه است (Hoskins and Hodges, ۲۰۰۲). میزان تفکیک زمانی- مکانی داده های اولیه ممکـن اسـت تـاثیر معنـی

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

داری بر ویژگیها و آماره های سیکلون ها داشته باشند. تفکیک زمانی- مکانی بالا برای تعیین عمر دقیق سیکلون ها و نیز سیکلون های کوچک ضروری هستند (Blender and Schubert, ۲۰۰۰؛ Pinto et al., ۲۰۰۵) و برای شناسایی دقیق و بهتر سیکلون ها، تفکیک مکانی ۱/۵ درجه با گام زمانی ۶ ساعته مناسب ترین به نظر می رسند (Neu et al., ۲۰۱۳). با توجه به نقش و اهمیت سیکلون ها در ایجاد بارش های ایران به ویژه در دوره سرد سال، مطالعه این رخداد جوی لازم و ضروری به نظر می رسد و نیز با عنایت به اینکه مطالعات قبلی بر پایه دوره آماری کوتاه صورت گرفته است، این پژوهش با استفاده از دوره آماری بلند مدت و نیز با به کارگیری رویکردهای جدید، به شناسایی، مسیریابی و تحلیل سیکلون های باران زای ایران در فصل زمستان (دسامبر، ژانویه و فوریه) می پردازد.

داده ها و روش کار

در این مطالعه به منظور شناسایی، مسیریابی و تحلیل سیکلون های ایران در فصل زمستان از داده های چرخندگی نسبی سطح ۷۰۰ هکتوپاسکالِ مرکز اروپایی پیش بینی میان مدت جوی (ECMWF) با تفکیک زمانی ۶ ساعته و مکانی ۱/۵ درجه جغرافیایی از زمستان سال ۸۰-۱۹۷۹ تا ۰۹-۲۰۰۸ یعنی ۳۰ سال و در محدوده مکانی ۱۵ تا ۶۰ درجه طول شرقی و ۱۲ تا ۴۲ درجه عرض شمالی استفاده شده است. انتخاب سطح ۷۰۰ به دلیل توپوگرافی خاص فلات ایران است که اجازه ورود سیکلون ها در سطوح پایین تر را به طور کامل نمی دهد. رویکرد به کار رفته در الگوریتم مورد استفاده جهت شناسایی سیکلون ها بدین ترتیب است که این الگوریتم با شناسایی مراکز بیشینه چرخندگی با آستانه مشخص و نیز دنبال کردن این مراکز در ۸ همسایه مجاور به شناسایی سیکلون می پردازد و مسیریابی تا وقتی که میزان چرخندگی از آستانه مورد نظر کم شده و به اصطلاح سیکلون می میرد ادامه پیدا می کند. میزان آستانه چرخندگی نسبی مطابق با نظر بلندر و شوبرت (Blender and Schubert, ۲۰۰۰) و نیز فلاوناس و همکاران (Flaounas et al., ۲۰۱۴)، $۳ \times ۱۰^{-۵} s^{-۱}$ انتخاب گردید. این الگوریتم در زمان $t.$ همه نقاطی که این آستانه را داشته باشند به عنوان مرکز بالقوه سیکلون شناسایی می‌کند. گام بعدی جستجوی همزمان و در ۸ همسایه مجاور این مرکز بیشینه چرخندگی و نیز اتصال این نقاط به یکدیگر که به عنوان مسیر یک سیکلون شناخته می شود. در این حالت ممکن است تعداد زیادی مرکز شناسایی شوند که ممکن است فقط یک گام زمانی و یا تعداد گام زمانی محدودی داشته باشند. به همین خاطر، شرط دیگر برای سیکلون ها در این مطالعه، میزان تداوم این گامهای زمانی است. با توجه به اینکه معمولا ۲ روز طول می کشد سیکلون های مدیترانه و یا دریای سرخ به ایران برسند (علیجانی، ۱۳۶۶) به همین دلیل از الگوریتم خواسته شد سیکلون هایی را شناسایی و حفظ کند که حداقل ۸ گام زمانی ۶ ساعته را دارا باشند (سیکلون هایی با طول عمر بیشتر از ۲ روز). مسیر سیکلون ها که از اتصال این نقاط شناسایی شده حاصل می شود به صورت زیر به دست می آید (Blender et al., ۱۹۹۷):

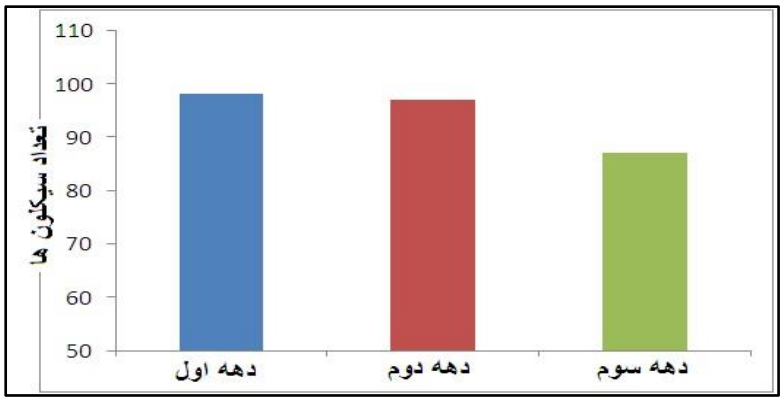
$$X_j = \left[x_j(t=۰), y_j(t=۰), \ldots, x_j(t=T), y_j(t=T)\right] \qquad (۱)$$

در رابطه فوق، X_j مسیر سیکلون مورد نظر در یک توالی موقعیت سیکلونِ $\left[x_j(t), y_j(t)\right]$ در گام های زمانی $t = ۰,۱,\ldots,T$ می باشد. این گام های زمانی همان تفکیک زمانی داده های مورد استفاده در زمانهای ۰۰,۰۶,۱۲,۱۸ به وقت گرینویچ است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

شرح و تفسیر نتایج

به منظور شناسایی، مسیریابی و تحلیل سیکلون های باران زای زمستانه (شامل ماههای دسامبر، ژانویه و فوریه) ایران در طول سال های ۱۹۷۹ تا ۲۰۰۹ میلادی، ابتدا ۱۹ ایستگاه نیمه غربی کشور که دارای آمار کامل بودند انتخاب شدند. سپس ایستگاه ها بر اساس مجاورت مکانی در کنار یکدیگر قرار گرفتند. در ادامه، دوره های بارشی که در آن حداقل ۳۰ درصد ایستگاههای کشور در یک روز بارش ثبت کرده بودند به عنوان یک بارش سیکلونی تعریف شد. سپس سیکلون هایی که در طول دوره های بارشی در منطقه دریای مدیترانه، دریای سرخ، منطقه سودان و سایر مناطق سیکلون زایی شکل گرفته و وارد ایران شده بودند شناسایی و مسیر آنها بصورت دهه ای ترسیم گردید. به منظور ارائه تصویری بهتر از منشا و مسیر سیکلون ها، مسیرها در قالب سه دهه، ۱۹۷۹ تا ۱۹۸۹، ۱۹۸۹ تا ۱۹۹۹ و در نهایت ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۹ در سه نقشه جداگانه ترسیم گردید. شکل ۱ نمودار ستونی مجموع سیکلون های باران زا را در طول سه دهه بصورت جداگانه نمایش می دهد. در طول دهه اول ۹۸ سیکلون باران زا، دهه دوم ۹۷ و در دهه سوم ۸۷ سیکلون باران زا وارد ایران شده است. شکل ۲ مسیر سیکلون های باران زای دهه اول (۱۹۸۹-۱۹۷۹) را نمایش می دهد. بر اساس این شکل، سیکلون های بارشی عمدتاً در شرق مدیترانه و جزیره قبرس، دریای اژه، بخشهای مختلف دریای سرخ و عراق و تا حدودی در منطقه سودان، و نیز بر روی سوریه تشکیل شده اند.

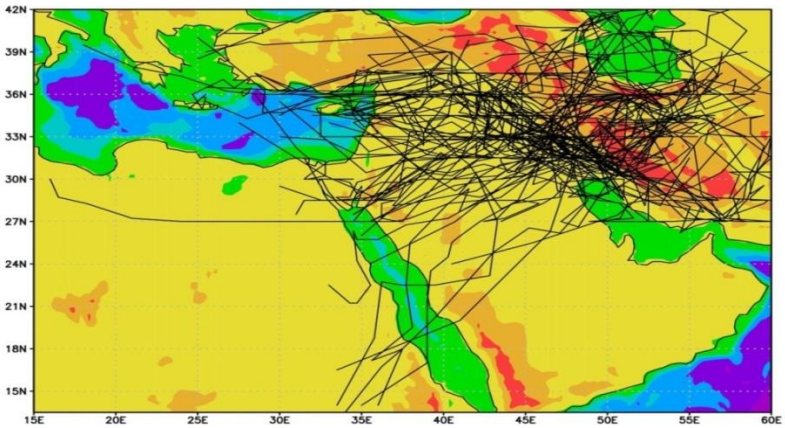


شکل ۱: نمودار ستونی مجموع سیکلون های باران زا در طول زمستان سه دهه از سال ۱۹۷۹ تا ۲۰۰۹.

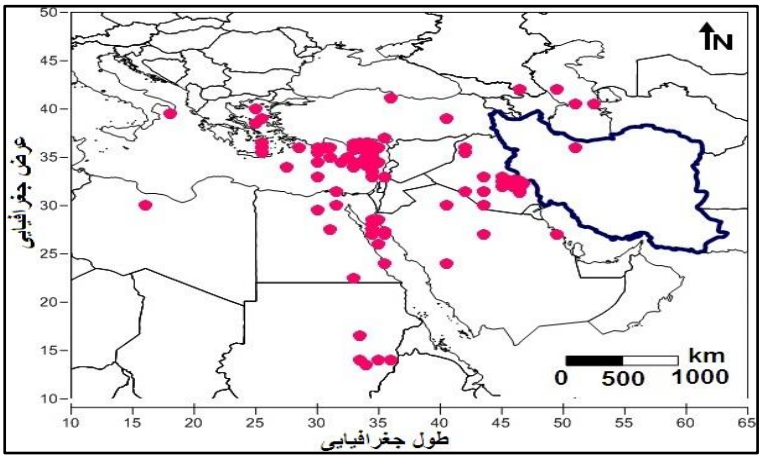
سیکلون های منطقه دریای مدیترانه بیشتر جهت شرقی و سیکلون های دریای سرخ و سودان جهت شمال شرقی دارند. سیکلون ها از بخش های مختلف غرب ایران وارد کشور شده اند ولی در این دهه، دو مسیر غرب میانی و جنوب غرب تراکم بیشتری دارند. سیکلون های غرب میانی بیشتر با جهت شرقی و سپس شمال شرقی و سیکلون های منطقه جنوب غرب ایران بیشتر با جهت شمال شرقی وارد کشور شده اند. تعدادی از سیکلون ها نیز در منطقه شمال غرب کشور و نیز در جنوب وارد ایران شده اند. مطابق شکل، بیشتر سیکلون های باران زا در محل استانهای کردستان و کرمانشاه و نیز در محل استان های خوزستان و چهارمحال و بختیاری با جهت شمال شرقی وارد کشور می شوند. تعدای از سیکلون ها نیز در منطقه شمال غرب با جهت شمال شرقی و شرقی استانهای آذربایجان غربی، شرقی و اردبیل و زنجان را پیموده و به سمت شمال کشور و دریای خزر حرکت کرده اند. در مجموع ۹۸ سیکلون در طول این دهه تشکیل و منجر به بارش در ایران شده اند. شکل ۳ پراکندگی فضایی کانون های تشکیل سیکلون های باران زا در طول دهه اول نشان می دهد. همان طور که مشخص است مهمترین و پرتراکم ترین مرکز سیکلون زایی در این دهه، دریای مدیترانه با منشا جزیره قبرس می باشد که بخش عمده ای از سیکلون های باران زای ایران را در فصل زمستان

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

تامین کرده است. غیر از جزیره قبرس، دریای اژه و نیز شرق مرکزی این دریا نیز از کانون های سیکلون زایی محسوب می شود. کانون دیگری در دریای سرخ و بخش شمالی این دریا به چشم می خورد که تعداد زیادی از سیکلون ها نیز در این منطقه شکل گرفته اند. البته هسته دیگری در منطقه سودان و نیز غرب دریای سرخ مشاهده می شوند که قابل توجه هستند. کانون مهم دیگری از سیکلون زایی در روی کشور عراق مشاهده می شود که در کنار کانون های ذکر شده در بالا، از مراکز مهم و تاثیر گذار بر اقلیم بارش ایران محسوب می شود. برخی از سیکلون ها نیز هستند که در کشور عربستان و ترکیه و نیز غرب دریای خزر تشکیل شده اند. سیکلون هایی که در غرب دریای خزر تشکیل شده اند دامنه تاثیر آنها بیشتر شمال کشور و سواحل جنوبی دریای جزر را در بر میگیرد. همانگونه که در بخش های قبلی نیز اشاره شد تفکیک زمانی شناسایی سیکلون ها ۶ ساعته می باشد. بررسی توزیع زمانی تشکیل سیکلون ها نشان می دهد که رفتار سیکلون ها یک تغییرات روزانه نیز دارد بدین ترتیب که در این دهه بیشتر سیکلون ها در بعد از ظهر و اوایل شب (ساعات ۱۲ و ۱۸ به وقت گرینویچ) تشکیل می شوند و مرگ و زوال سیکلون ها بیشتر در اوایل صبح (ساعات صفر و ۶ به وقت گرینویچ) اتفاق می افتد(شکل های ۴ و ۵). تریگو و همکاران (Trigo et al., ۲۰۰۲) نیز نشان دادند که تشکیل و زوال سیکلون ها یک تغییرات روزانه دارند و بیشتر سیکلون ها در منطقه مدیترانه در بعد از ظهر و اوایل شب تشکیل و در اوایل صبح دچار زوال و مرگ می شوند.

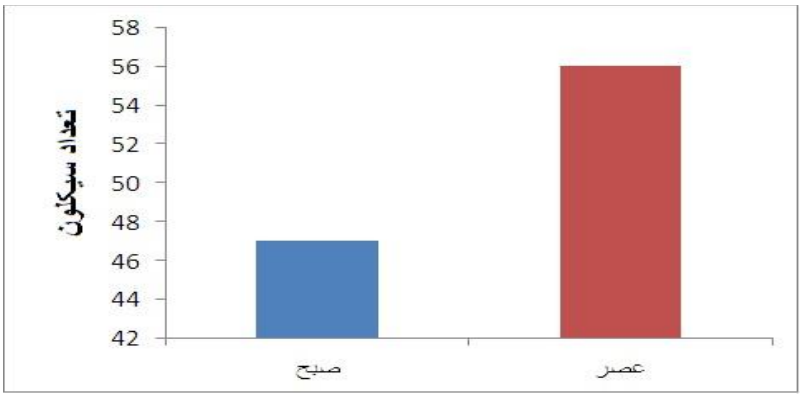


شکل ۲: مسیر سیکلون های باران زای ایران در طول دهه اول مطالعه (۱۹۸۹-۱۹۷۹) در فصل زمستان شامل ماههای دسامبر، ژانویه و فوریه.



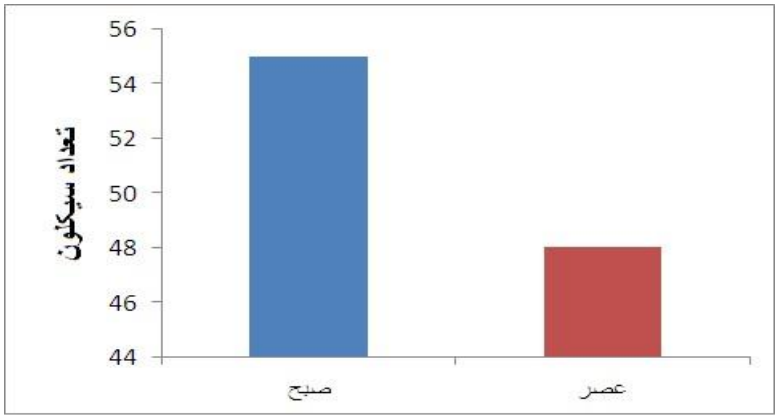
شکل ۳: پراکندگی مکانی کانون های تشکیل سیکلون های باران زای ایران در طول دهه اول مطالعه (۱۹۸۹-۱۹۷۹) در فصل زمستان شامل ماههای دسامبر، ژانویه و فوریه.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]



شکل ۴: نمودار ستونی تعداد سیکلون های تشکیل شده در ساعات صفر و شش گرینویچ (در اینجا ستون صبح) و نیز در ساعات دوازده و هجده (در اینجا ستون عصر) در دهه اول.

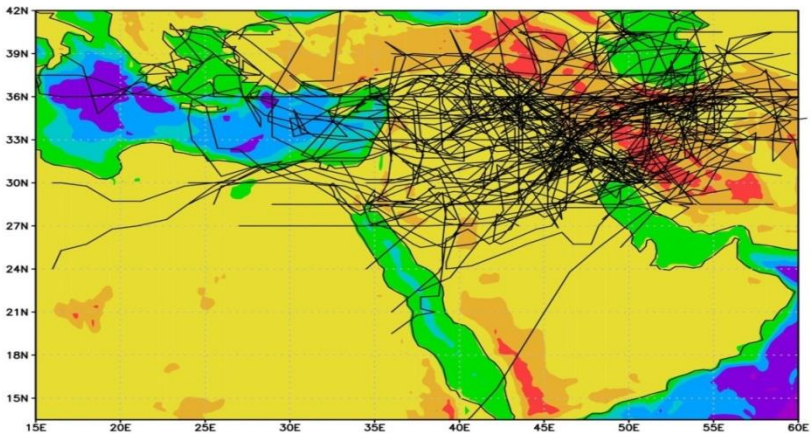
شکل ۶ مسیر سیکلون های باران زای فصل زمستان را برای سال های ۱۹۸۹ تا ۱۹۹۹ (دهه دوم) نمایش می دهد. در طول این دهه نیز ۹۷ سیکلون با منشا مدیترانه، دریای سرخ، سودان، عراق و غیره تشکیل شده و منجر به بارش در ایران گردیده است.



شکل ۵: نمودار ستونی زوال و مرگ سیکلون ها در ساعات صفر و شش گرینویچ (در اینجا ستون صبح) و نیز در ساعات دوازده و هجده (در اینجا ستون عصر) در دهه اول.

مطابق شکل، در این دهه سیکلون ها بیشتر از نیمه جنوبی ایران، وارد کشور شده اند. اکثر سیکلون ها جهت شمال شرقی دارند و از مسیر غرب میانی و جنوب غرب با جهت شمال شرقی به سمت مرکز و شمال شرق کشور حرکت کرده اند. تعدادی از سیکلون ها در قسمت شمال غربی کشور با جهت شرقی با عبور از استانهای کردستان و زنجان به شمال و شرق کشور جابجا شده اند. تعدای از سیکلون ها نیز در منطقه شمال غرب با جهت شمال شرقی با عبور از استان های آذربایجان شرقی و غربی و اردبیل به سمت دریای خزر حرکت کرده اند. همانگونه که به خوبی مشخص است در طول این دهه، از سیکلون های با منشا منطقه دریای سرخ کاسته شده و بیشتر سیکلون ها در منطقه مدیترانه شکل گرفته اند.

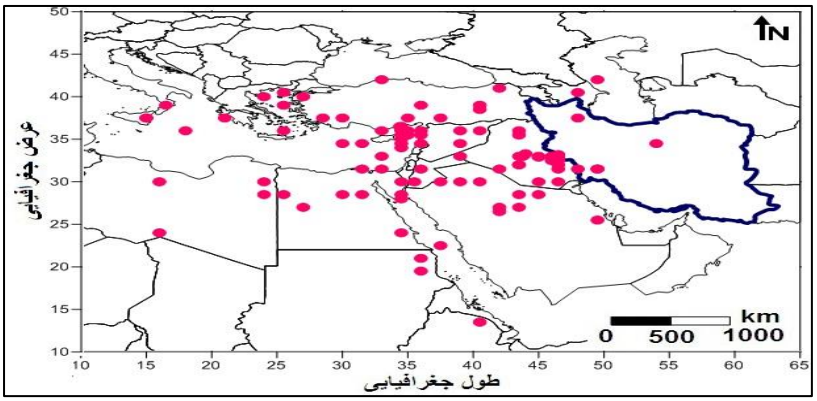
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]



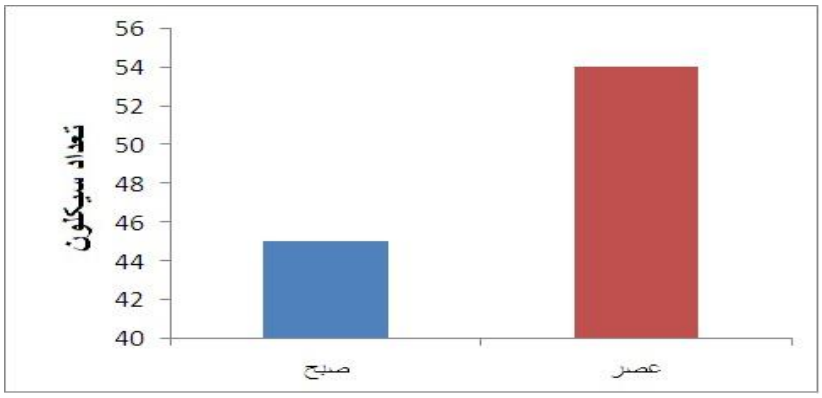
شکل ۶: مسیر سیکلون های باران زای ایران در طول دهه دوم مطالعه (۱۹۹۹-۱۹۸۹) در فصل زمستان شامل ماههای دسامبر، ژانویه و فوریه.

شکل ۷ آرایش مکانی کانون های سیکلون زایی سیکلون های باران زای ایران را در طول دهه دوم نمایش می دهد. بر طبق این شکل بیشترین سیکلون ها در حوضه دریای مدیترانه به خصوص در شرق دریا و جزیره قبرس، دریای اژه، دریای آدریاتیک و نیز در جنوب دریای مدیترانه و بیابان های شمال آفریقا تشکیل شده اند. تعدادی از سیکلون ها در شمال و مرکز دریای سرخ و همچنین منطقه سودان شکل گرفته اند. علاوه بر اینها یک کانون سیکلون زایی در کشور عراق مشاهده می شود که از مراکز مهم و تاثیر گذار بر اقلیم بارشی ایران محسوب می شود. مراکزی نیز بصورت پراکنده در روی عربستان، سوریه و ترکیه نیز به چشم می آیند. تعدادی از سیکلون ها نیز با منشا دریای سیاه منجر به بارش در ایران شده اند. بررسی زمان تشکیل سیکلون ها نشان می دهد که در این دهه نیز اکثر سیکلون های باران زا در بعد از ظهرها و اوایل شب تشکیل می شوند (ساعات ۱۲ و ۱۸ گرینویچ) و همچنین اکثرا سیکلون ها در اوایل صبح (ساعات صفر و ۶ به وقت گرینویچ) دچار زوال و مرگ می شوند (شکل های ۸ و ۹). شکل ۱۰ نقشه مسیر سیکلون های باران زای ایران را برای فصول زمستان سال های ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۹ (دهه سوم) نمایش می دهد. در این دهه نیز سیکلون ها در مراکز مهم سیکلون زایی منطقه یعنی مدیترانه و دریای سرخ تشکیل شده اند. سیکلون ها تقریبا از تمام پهنه غربی ایران وارد کشور شده اند در حالی که در منطقه جنوب غرب سیکلون ها با جهت شمال شرقی و در منطقه غرب و شمال غرب بیشتر با جهت شرقی وارد کشور شده اند. برخی از سیکلون ها نیز در منطقه شمال غرب با عبور از آذربایجان ایران با جهت شمال شرقی به سمت دریای خزر جابجا شده اند. در این دهه نیز معبر اصلی ورود سیکلون ها جنوب غرب ایران است ولی در این منطقه اکثر سیکلون ها با جهت شمال شرقی به سمت مرکز و شمال شرق ایران حرکت کرده اند و بخش جنوبی کشور از حیطه فعالیت این سیکلون ها به دور مانده است و سیکلون ها با عبور از استان های خوزستان، لرستان، و ارتفاعات زاگرس وارد مرکز کشور شده اند. تنها تعدادی از سیکلون ها که در روی عربستان تشکیل شده و بر روی خلیج فارس تقویت شده اند سواحل جنوبی کشور را تحت تاثیر قرار داده اند.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

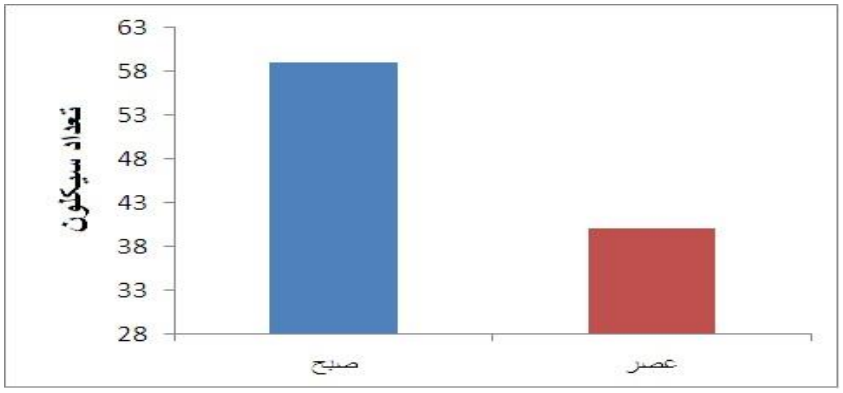


شکل ۷: پراکندگی مکانی کانون های تشکیل سیکلون های باران زای ایران در طول دهه دوم مطالعه (۱۹۹۹-۱۹۸۹) در فصل زمستان شامل ماههای دسامبر، ژانویه و فوریه.



شکل ۸: نمودار ستونی تعداد سیکلون های تشکیل شده در ساعات صفر و شش گرینویچ (در اینجا ستون صبح) و نیز در ساعات دوازده و هجده گرینویچ (در اینجا ستون عصر) در دهه دوم.

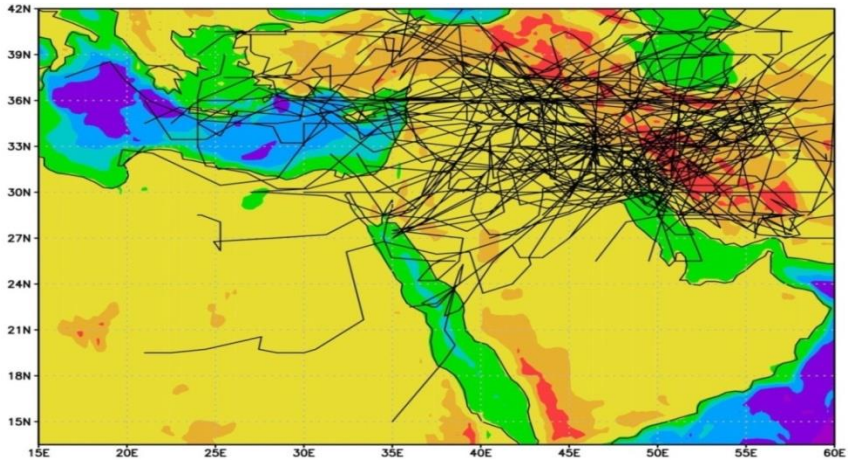
همانگونه که در شکل های مربوط به مسیر سیکلون ها مشاهده می شود همه سیکلون ها پس از تشکیل در جهت حرکت عمومی بادهای غربی به سمت شرق جابجا شده اند که این جهت در بیشتر موارد کمی به سمت شمال انحنا دارد و به اصطلاح جهت شمال شرقی به خود گرفته اند. این وضعیت علاوه بر محدوده مورد مطالعه در این تحقیق، در سایر مراکز و نقاط سیکلون زایی در عرض های میانی و در نیمکره شمالی توسط محققین دیگر از جمله بلندر و همکاران (Blender et al., ۱۹۹۷) بیان شده است.



شکل ۹: نمودار ستونی زوال و مرگ سیکلون ها در ساعات صفر و شش گرینویچ (در اینجا ستون صبح) و نیز در ساعات دوازده و هجده گزینویچ (در اینجا ستون عصر) در دهه دوم.

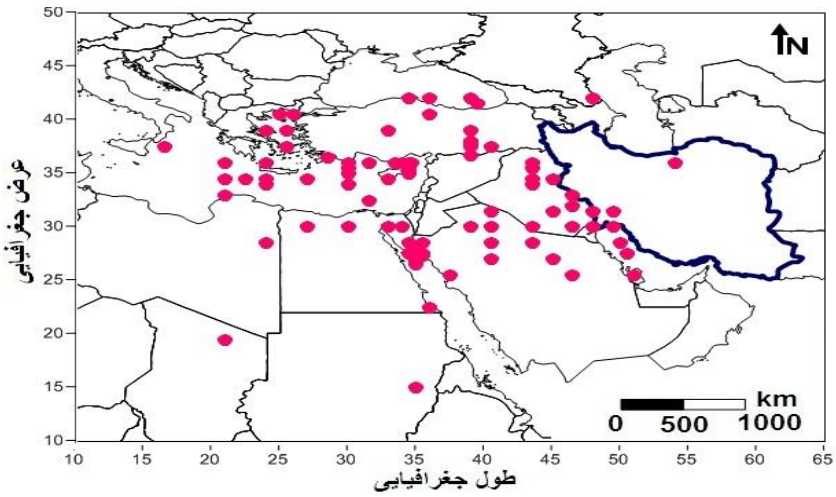
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

نکته مهم دیگر در مورد مسیر سیکلون ها این است که عوامل مختلفی ممکن است باعث تغییر مسیر سیکلون ها شوند. یکی از این عوامل، استقرار پشته هایی بصورت یک پرارتفاع مانع (بلاکینگ) است که باعث جابجایی و انحنای مسیر سیکلون به شکل قوسی به سمت عرض های پایین و در نتیجه تغییر مسیر سیکلون ها می شود (شبرنگ و همکاران، ۱۳۸۹). شکل ۱۱ پراکندگی مکانی مراکز سیکلون زایی را در دهه سوم نشان می دهد. بر اساس این شکل، حوضه دریای مدیترانه طبق معمول مهمترین کانون سیکلون های باران زای ایران محسوب می شود. در این حوضه نقش جزیره قبرس، دریای اژه و نیز شرق میانی دریای مدیترانه برجسته تر می باشد. کانون مهم دیگری در بخش شمالی دریای سرخ مشاهده می شود که این منطقه نیز همان گونه که در دهه های قبل اشاره گردید از کانون های مهم سیکلون زایی ایران می باشد. در کنار اینها، کشور عراق نیز از مهمترین کانون های سیکلون زایی سیکلون های باران زای ایران به حساب می آید و نقش مهمی در تحولات اقلیمی ایران دارد. به نظر می رسد این منطقه که نقش مهمی در سیکلون زایی دارد منطبق بر منطقه جلوی فرود بلند مدیترانه واقع شده و بدین دلیل از مراکز مهم سیکلون زایی محسوب می شود. کانون های دیگری در روی کشور ترکیه و نیز عربستان و همچنین خلیج فارس مشاهده می شوند که نقش آنها نیز قابل توجه است. بررسی زمان وقوع سیکلون زایی در این دهه نشان می دهد که برخلاف دو دهه قبل و همچنین برخلاف نظر تریگو و همکاران (Trigo et al., ۲۰۰۲)، عمده سیکلون های باران زا در این دهه در اوایل صبح تشکیل می شوند و همچنین زوال و مرگ سیکلون ها بیشتر در بعد از ظهر و اوایل شب اتفاق افتاده است (شکل های ۱۲ و ۱۳). همانطور که در شکل مسیر سیکلون ها مشاهده می شود (شکل ۱۰)، علاوه بر اینکه مسیر سیکلون ها دارای بی نظمی بیشتری در طول دهه سوم هستند، یک تغییر آشکار در ساعات تشکیل و زوال سیکلون ها در این دهه در قیاس با دو دهه قبلی مشاهده می شود. در کنار آن، یک کاهش درتعداد سیکلون های باران زا در این دهه رخ داده است (۸۷ سیکلون در مقایسه با تعداد سیکلون های دو دهه قبل که به ترتیب برابر با ۹۸ و ۹۷ سیکلون می باشد). به نظر می رسد تغییراتی در رفتار و نیز تعداد سیکلون ها در این دهه نسبت به دهه های قبلی اتفاق افتاده است.

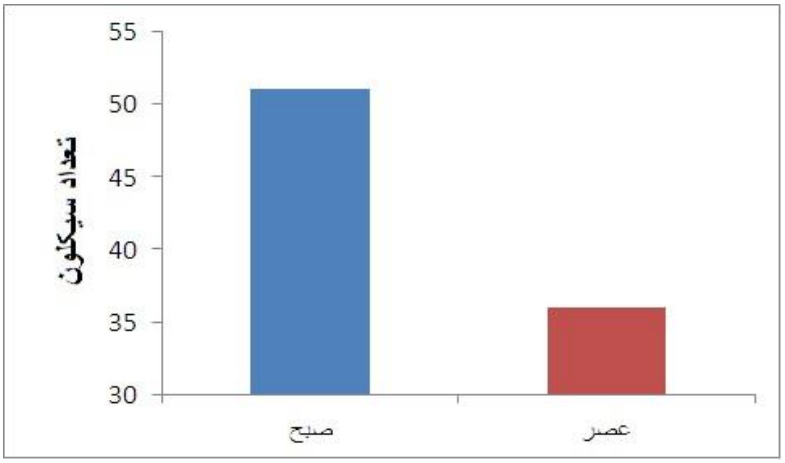


شکل ۱۰: مسیر سیکلون های باران زای ایران در طول دهه سوم مطالعه (۲۰۰۹-۱۹۹۹) در فصل زمستان شامل ماههای دسامبر، ژانویه و فوریه.

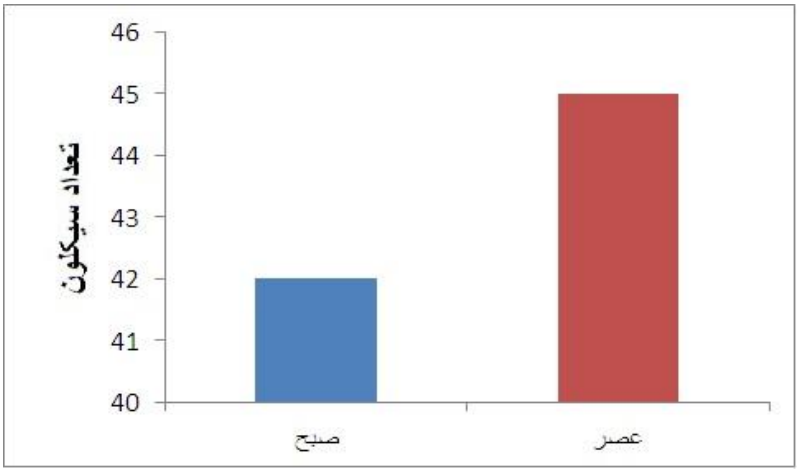
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]



شکل ۱۱: پراکندگی مکانی کانون های تشکیل سیکلون های باران زای ایران در طول دهه سوم مطالعه (۲۰۰۹-۱۹۹۹) در فصل زمستان شامل ماههای دسامبر، ژانویه و فوریه.



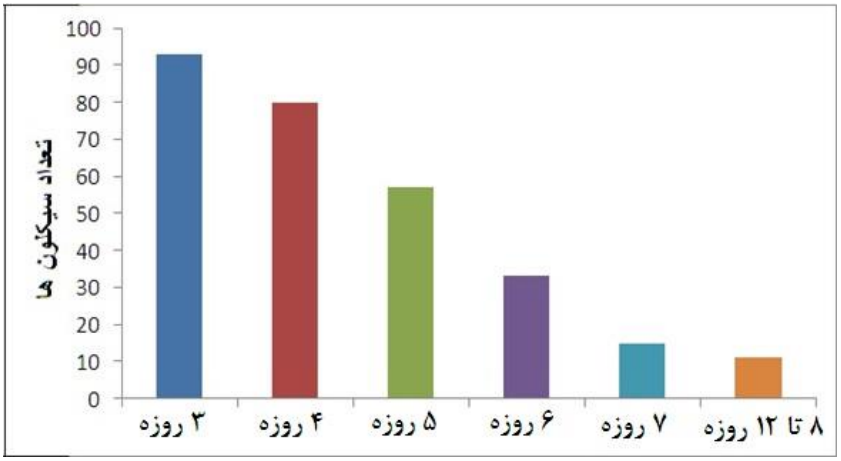
شکل ۱۲: نمودار ستونی تعداد سیکلون های تشکیل شده در ساعات صفر و شش گرینویچ (در اینجا ستون صبح) و نیز در ساعات دوازده و هجده گرینویچ (در اینجا ستون عصر) در دهه سوم.



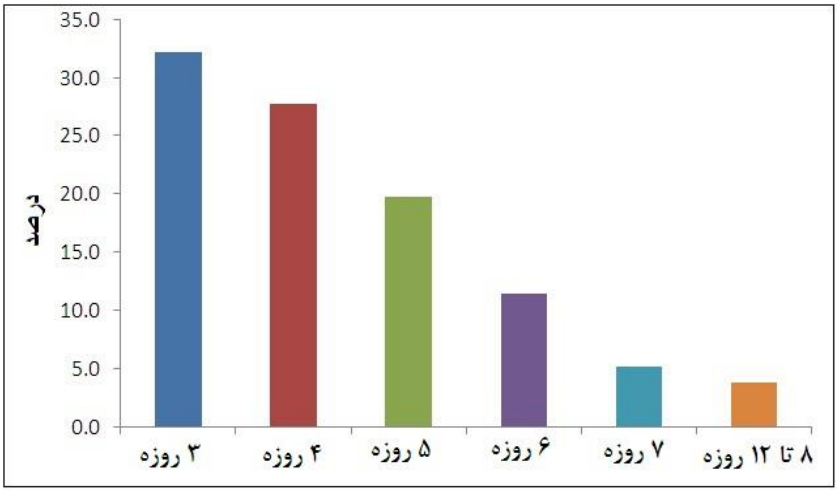
شکل ۱۳: نمودار ستونی زوال و مرگ سیکلون ها در ساعات صفر و شش گرینویچ (در اینجا ستون صبح) و نیز در ساعات دوازده و هجده گرینویچ (در اینجا ستون عصر) در دهه سوم.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

بررسی طول عمر سیکلون های باران زای ایران در طول سه دهه مورد مطالعه نشان می دهد که از مجموع ۲۸۲ سیکلون باران زای کشور در طول ۳۰ سال زمستان، ۹۲ سیکلون عمری سه روزه، ۷۸ سیکلون عمری چهار روزه، ۵۶ سیکلون طول عمر پنج روزه، ۳۱ سیکلون عمری شش روزه، ۱۴ سیکلون عمری ۷ روزه و ۱۱ سیکلون عمری ۸ تا دوازده روزه دارند. شکل ۱۴ نمودار ستونی سیکلون های با طول عمر مختلف را نشان می دهد. بر این اساس، حدود ۳۳ درصد سیکلون ها عمر سه روزه، ۲۷ درصد عمری چهار روزه، ۲۰ درصد عمری پنج روزه، ۱۱ درصد عمری ۶ روزه، ۵ درصد عمری ۷ روزه و ۴ درصد عمری ۸ تا ۱۲ روزه دارند (شکل ۱۵).



شکل ۱۴: نمودار ستونی تعداد سیکلون های باران زا با طول عمر مختلف.



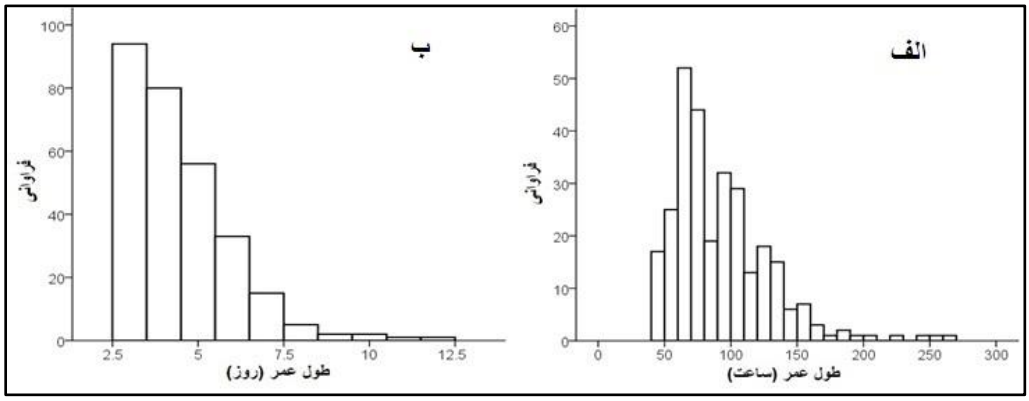
شکل ۱۵: نمودار ستونی درصد سیکلون های باران زا با طول عمر مختلف.

شکل ۱۶ الف نمودار بافت نگار عمر سیکلون ها بر حسب ساعت و شکل ۱۶ ب همان نمودار برای همان ویژگی را بر حسب روز برای کل سیکلون های باران زای ایران در طول زمستان ۳۰ سال نشان می دهد. برخی مشخصات آماری طول عمر سیکلون ها در جدول ۱ ارائه شده است. مطابق این جدول میانگین روزانه و ساعتی عمر سیکلون ها به ترتیب ۴/۵ روز و ۹۱/۳ ساعت می باشد. انحراف معیار به ترتیب ۱/۵ روز و ۳۶/۷ ساعت است. هر دو متغیر دارای چولگی مثبت هستند و نشانگر این است که سیکلون های با طول عمر کمتر از میانگین فراوانی بیشتری در مقایسه با مقادیر بالاتر از میانگین دارند. در نهایت، بیشینه و کمینه طول عمر سیکلون ها بر حسب روزانه و ساعتی به ترتیب ۱۲ روز و ۳ روز و نیز ۴۸ ساعت و ۲۶۴ ساعت می باشد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

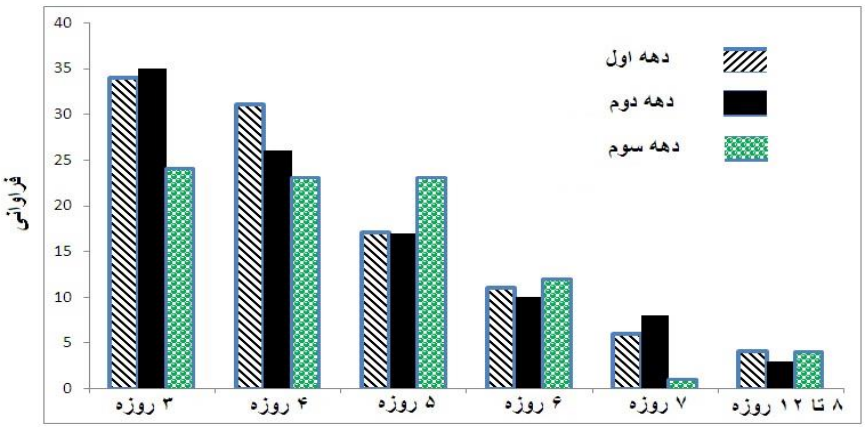
جدول ۱: مشخصات آماری طول عمر سیکلون های باران زای ایران

آماره	میانگین	انحراف معیار	مُد	چولگی	بیشینه	کمینه
روز	۴/۵	۱/۵	۳	۱/۵	۱۲	۳
ساعت	۹۱/۳	۳۶/۷	۶۰	۱/۵	۲۶۴	۴۸



شکل ۱۶: طول عمر سیکلون های باران زای ایران بر حسب ساعت (الف) و روز (ب).

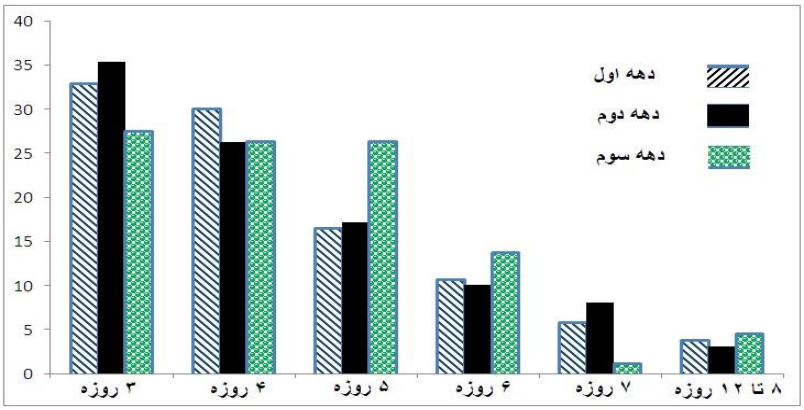
شکل های ۱۷ و ۱۸، نمودار ستونی تعداد سیکلون های ۳ تا ۱۲ روزه را در طول سه دهه بر حسب فراوانی و درصد نشان می دهد. سیکلون های ۳ روزه بیشترین فراوانی را در دهه دوم دارند و دهه اول و سوم در رتبه های بعدی قرار دارند. بیشترین فراوانی سیکلون های ۴ روزه متعلق به دهه اول می باشد و دهه دوم و سوم در جایگاه بعدی هستند. سیکلون های با طول عمر ۵ روزه بیشترین فراوانی را در دهه سوم به خود اختصاص داده اند و مقادیر دو دهه دیگر با هم برابر است. سیکلون های ۶ روزه بیشترین فراوانی را در دهه سوم و سیکلون های ۷ روزه بیشترین فراوانی را در دهه دوم به خود اختصاص داده اند. از نظر سیکلون های با طول عمر بالا یعنی ۸ تا ۱۲ روزه، این تعداد در دهه اول و سوم برابر و اندکی بیشتر از دهه دوم می باشد. در مجموع تعداد سیکلون ها در دهه اول (۱۹۸۹-۱۹۷۹) به تعداد ۹۸ سیکلون، در دهه دوم (۱۹۹۹-۱۹۸۹) به تعداد ۹۷ سیکلون و در دهه سوم (۲۰۰۹-۱۹۹۹) به تعداد ۸۷ سیکلون است. همان گونه که مشخص است تعداد سیکلون های باران زا در طول سه دهه کاهش یافته است.



شکل ۱۷: نمودار ستونی تعداد سیکلون ها در طول سه دهه بر حسب طول عمر آنها .

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

شکل ۱۹ نمودار بافت نگار توزیع متوسط سرعت جابجایی سیکلون های باران زای ایران را به همراه برخی مشخصات آماری آنها نشان می دهد. میانگین سرعت جابجایی سیکلون ها حدود ۲۰ کیلومتر بر ساعت است. با توجه به انحراف معیار بالا (۸/۶ کیلومتر بر ساعت)، مشخص است که سیکلون ها با سرعت های متفاوتی جابجا شده و از مدیترانه، دریای سرخ و سایر مراکز سیکلون زایی به سمت ایران حرکت کرده اند. همان گونه که دیده می شود چولگی مشاهدات مثبت است و بیانگر این است که بیشتر سیکلون های باران زای ایران سرعتی کمتر از سرعت میانگین یعنی ۱۹/۸ کیلومتر بر ساعت دارند.



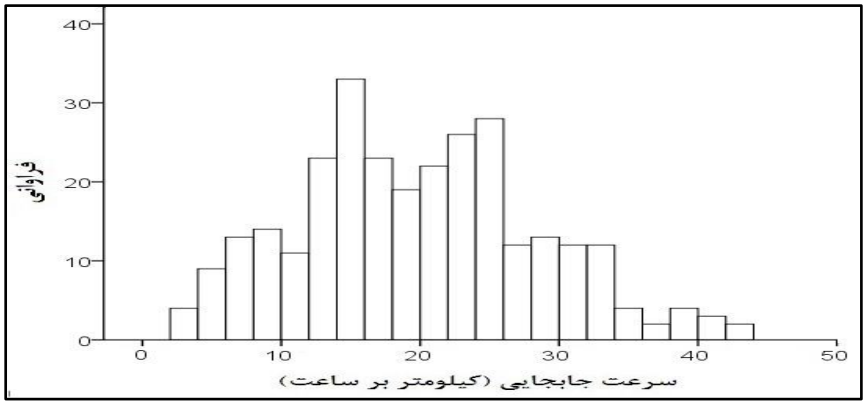
شکل ۱۸: نمودار ستونی درصد سیکلون های با طول عمر مختلف در طول سه دهه.

این نکته را می توان از مقدار مُد مشاهدات نیز فهمید که نشان می دهد بیشترین تکرار سرعت ها در حدود ۱۶ کیلومتر بر ساعت است. البته توزیع شکل بافت نگار وضعیتی دو مُده نیز دارد، بدین معنی که علاوه بر سرعت حدود ۱۶ کیلومتر بر ساعت، در سرعت های حدود ۲۵ کیلومتر بر ساعت نیز فراوانی بالایی در توزیع مشاهدات دیده می شود. با آزمون نرمال بودن مشاهدات با استفاد از آزمون کولموگروف- اسمیرنف مشخص شد که مشاهدات با وجود چولگی مثبت از توزیع نرمال برخوردارهستند. مقدار آماره کولموگروف- اسمیرنف ۰/۸۰۳ به دست آمد که با مقدار خطای ۰/۵۴۰، فرض نرمال بودن مشاهدات تایید می شود. بیشینه و کمینه سرعت جابجایی سیکلون ها به ترتیب، ۴۳ و ۲/۷ کیلومتر بر ساعت می باشد. همچنین مشخص شد که ۲۵ درصد از سیکلون ها میانگین سرعتی کمتر از ۱۴ کیلومتر بر ساعت، ۵۰ درصد سیکلون ها میانگین سرعتی در حدود ۱۴ تا ۲۵ کیلومتر بر ساعت و در نهایت ۲۵ درصد سیکلون ها میانگین سرعتی بیش از ۲۵ کیلومتر بر ساعت دارند. جدول ۲ برخی مشخصات آماری سرعت جابجایی سیکلون های باران زا را نشان می دهد. آلپرت و زیو (Alpert and Ziv, ۱۹۸۹) ابراز داشتند سیکلون هایی که در شمال آفریقا (بیابان صحرا) شکل می گیرند و به سمت مدیترانه حرکت می کنند میانگین سرعتی در حدود ۱۸ کیلومتر بر ساعت دارند. بِیِر (Bejer, ۲۰۱۵) نیز میانگین سرعت جابجایی ۲۵ کیلومتر بر ساعت را برای سیکلون های مدیترانه به دست آورد.

جدول ۲: مشخصات آماری سرعت جابجایی سیکلون های باران زای زمستانه ایران در طول (۲۰۰۹-۱۹۷۹).

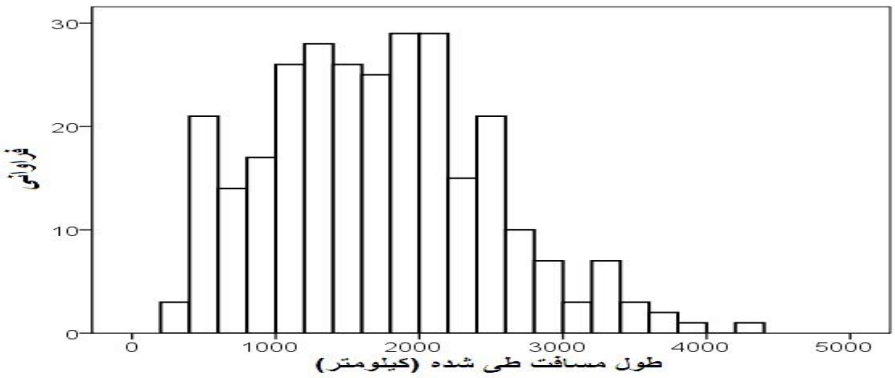
آماره	میانگین	انحراف معیار	مُد	چولگی	بیشینه	کمینه	آماره K-S	P-Value
مقدار	۱۹/۸	۸/۶	۱۵/۸	۰/۲۸	۴۳	۲/۷	۰/۸۰۳	۰/۵۴۰

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]



شکل ۱۹: نمودار بافت نگار توزیع سرعت جابجایی سیکلون های باران زای ایران.

شکل ۲۰ نمودار بافت نگار مسافت طی شده توسط سیکلون ها را نشان می دهد. میانگین مسافت پیموده شده توسط سیکلون ها ۱۷۱۱/۶ کیلومتر است. از مجموع ۲۸۲ سیکلون باران زای ایران در طول سی سال، ۲۵ درصد از سیکلون ها کمتر از ۱۱۳۰ کیلومتر مسافت پیموده اند، ۲۵ درصد سیکلون ها بیشتر از ۲۲۰۰ کیلومتر را طی کره اند و ۵۰ درصد سیکلون ها نیز مسافتی در حدود ۱۱۳۰ تا ۲۲۰۰ کیلومتر را پیموده اند. انحراف معیار مسافت طی شده توسط سیکلون ها در حدود ۷۷۴ کیلومتر، مُد ۹۸۹ کیلومتر، کمترین مسافت پیموده شده در حدود ۳۳۱ کیلومتر و بیشترین آنها ۳۴۲۵ کیلومتر می باشد. چولگی مثبت (۰/۴۲۹) و کشیدگی منفی (۰/۰۸-) بیانگر این است که فراوانی مسافت های طی شده کمتر از میانگین بیشتر از فراوانی مسافت های طی شده بالاتر از میانگین است. جدول ۳ برخی مشخصات آماری مسافت طی شده توسط سیکلون های باران زای ایران را در طول زمستان سی سال نشان می دهد. مطالعات مختلفی در ارتباط با سیکلون های مدیترانه انجام شده است و البته اکثر این مطالعات معطوف به سیکلون هایی می باشد که در حوضه دریای مدیترانه شکل گرفته و از بین رفته اند. بطور مثال، پیکورنل و همکاران (Picornell et al., ۲۰۰۱)، طول مسیر سیکلون ها را حدود ۲۰۷ کیلومتر به دست آورند. کمپینز و همکاران (Campins et al., ۲۰۱۱) نیز میانگین ۴۵۱ کیلومتر را برای مسافت طی شده توسط سیکلون های زمستانه و ۲۳۰ کیلومتر را برای سیکلون های تابستانه به دست آوردند و نشان دادند که سیکلون ها در زمستان بیشتر از فصل تابستان حرکت می کنند. بِیِر (Bejer, ۲۰۱۵) متوسط مسافت طی شده توسط سیکلون های دریای مدیترانه را در حدود ۷۲۵ کیلومتر برآورد کرد.



شکل ۲۰: نمودار بافت نگار مسافت طی شده توسط سیکلون های باران زای ایران.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

جدول ۳: مشخصات آماری مسافت طی شده توسط سیکلون های باران زای ایران.

آماره	میانگین	انحراف معیار	مد	چولگی	کشیدگی	کمینه	بیشینه
مقدار	۱۷۱۱/۶	۷۷۴	۹۸۹/۱	۰/۴۲۹	-۰/۰۸	۳۳۱/۵	۴۳۲۵/۵

نتیجه گیری

شناسایی، مسیریابی و تحلیل سیکلون های باران زای ایران در فصل زمستان در یک دوره آماری ۳۰ ساله نشان داد که عمده سیکلون ها در این فصل در دریای مدیترانه و سپس منطقه دریای سرخ، سودان و کشور عراق تشکیل می شوند. سیکلون های تشکیل شده در این کانون های سیکلون زایی با دو جهت شمالِ شرق سوی و شرق سوی به سمت ایران جابجا می شوند. سیکلون ها از تمام پهنه غربی وارد کشور می شوند. از بین این مسیرها سه مسیر اصلی در شمال غرب، غرب میانی و جنوب غرب کشور وجود دارند که معبر اصلی ورود سیکلون ها به کشور هستند. در مسیر شمال غرب سیکلون ها از مرز آذربایجان غربی با جهت شرق و شمالِ شرق سوی وارد شمال غرب ایران شده و با عبور از استان های آذربایجان شرقی و اردبیل به سمت سواحل جنوبی و غربی دریای خزر حرکت می کنند. در مسیر جنوب غرب، سیکلون ها در منطقه استان های خوزستان، چهارمحال و بختیاری و کهکیلویه و بویراحمد وارد ایران می شوند. بخشی از این سیکلون ها با جهت شمال شرق به سمت مرکز و شمال شرق ایران جابجا می شوند و بخشی دیگر نیز با گذر از سواحل جنوبی به سمت جنوب شرق کشور حرکت می کنند. در غرب میانی ایران نیز در سه مسیر متمایز، سیکلون ها وارد ایران می شوند. مهمترین آنها مسیر استان کردستان است که سیکلون های با منشا مدیترانه در جهت شرق وارد ایران شده و با عبور از استان های زنجان و همدان در زیر ارتفاعات البرز به سمت شرق و شمال شرق کشور جابجا می شوند. دو مسیر دیگری نیز در منطقه استان های ایلام و کرمانشاه مشاهده می شوند که در این مسیرها نیز سیکلون ها تقریبا جهت شمالِ شرقی دارند و به سمت مرکز و شمال شرق ایران جابجا می شوند. نتایج این مطالعه به نوعی در تایید کارهای قبلی می باشد. این مطالعه نیز نشان داد که مراکز عمده سیکلونزایی، منطقه دریای مدیترانه به خصوص دریای اژه، جزیره قبرس و مرکز مدیترانه، نیز دریای سرخ و منطقه سودان است. از نکات قابل توجه می توان به یک مرکز بیشینه سیکلون زایی در روی عراق و نیز عدم وجود مرکز سیکلون زایی در بادپناه زاگرس اشاره نمود که مسعودیان (۱۳۹۱) نیز در کار خود به این نکته اذعان کرده است. بررسی فراوانی وقوع سیکلون ها و طول عمر آنها نیز حاکی از کاهش سیکلون های باران زای ایران در طول سه دهه بخصوص در دهه اول هزاره سوم می باشد. کاهش تعداد سیکلون ها در دهه سوم نسبت به دهه اول در حدود ۹ درصد می باشد. این کاهش منجر به کاهش چشمگیر بارش در ایران در دهه اخیر شده است. با وجود کاهش تعداد سیکلون های باران زای زمستانه ایران در طول سه دهه اخیر، تعداد سیکلون های شدید با طول عمر بالاتر در طول ۳۰ سال افزایش یافته است. این نشان می دهد که بارش فصل زمستانه ایران در طول سال های اخیر متمرکز شده است. به نظر می رسد این کاهش با تغییر اقلیم و گرمایش جهانی مرتبط است.

تشکر و قدردانی

این مطالعه با همکاری انستیتو هواشناسی دانشگاه هامبورگ به انجام رسیده است. بدین وسیله نویسندگان مقاله از راهنمایی های ارزنده آقایان پروفسور ریچارد بلندر و پروفسور والریو لوکارینی کمال تشکر و امتنان را دارند.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

منابع

شبرنگ، لاله؛ پرویز ایران نژاد، فرهنگ احمدی گیوی.۱۳۸۹. تأثیر بلاکینگ بر ویژگیهای چرخندهای مدیترانه ای، چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، *فیزیک فضا*:۹۹- ۹۵.

علیجانی، بهلول .۱۳۶۶. مسیرهای سیکلونی مدیترانه، *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، **۴** :۱۴۳-۱۲۵.

علیجانی، بهلول .۱۳۸۵. *اقلیم شناسی سینوپتیک*، چاپ دوم، انتشارات سمت.

مسعودیان، سید ابوالفضل .۱۳۹۱.بررسی همدید کنش های چرخندی در طی ۱۳۸۲-۱۳۴۰ خورشیدی، *مخاطرات محیطی*، **۱**: ۳۳-۱۵.

Alpert, P. and B. Ziv. ۱۹۸۹. The Sharav Cyclone: observations and some theoretical considerations. Journal of Geophysical Research, **۹٤**: ۱۸٤۹٥–۱۸٥۱٤.

Alpert, P.; B. U. Neeman, and Y. Shay.۱۹۹۰a. Intermonthly Variability of Cyclone Tracks in the Mediterranean. Journal of Climate, **۳**:۱٤۷٤- ۱٤۷۸.

Alpert, P.; B.U. Neeman, and Y. Shay. ۱۹۹۰b. Climatological analysis of Mediterranean cyclones using ECMWF data. Dynamic Meteorology and Oceanography, **٤۲**A: ٦٥–۷۷.

Bartholy, J. ۲۰۰۹. Analyzing the genesis, intensity, and tracks of western Mediterranean cyclones. Theoretical and Applied Climatology, **۹٦**: ۱۳۳–۱٤٤.

Bech, J.; R. Pascual, T. Rigo, N. Pineda, N. Lopez, J.M. Aros and J. Gayà. ۲۰۱٤. A Mediterranean nocturnal heavy rainfall and tornadic event. Part I: Overview, damage survey and radar analysis. Atmospheric Research, **۱۰۰**: ۱-۱۷.

Bejer, B. ۲۰۱٥. Climatology of Mediterranean cyclones. Master Thesis, Universität Hamburg, School of Integrated Climate System Science (SICSS), Hamburg.

Blender, R.; K. Fraedrich, and F. Lunkeit.۱۹۹۷. Identification of cyclone track regimes in the North Atlantic. Quarterly Journal of the Royal Meteorology Society, **۱۲۳**: ۷۲۷–۷٤۱.

Blender, R.; and M. Schubert. ۲۰۰۰. Cyclone tracking in different spatial and temporal resolutions. Monthly Weather Review, **۱۲۸**: ۳۷۷–۳۸٤.

Campins, J.; A. Jansa, and A. Genoves. ۲۰۰٦. Heavy rain and strong wind events and cyclones in the Balearics, Advances in Geosciences, **۷**: ۷۳–۷۷.

Campins, J.; A. Genoves, M. A. Picornell, and A. Jansa.۲۰۱۱. Climatology of Mediterranean cyclones using the ERA-٤۰ dataset, International Journal of Climatology, **۳۱**: ۱٥۹٦–۱٦۱٤.

Flaounas, E.; V. Kotroni, K. Lagouvardos, and I. Flaounas. ۲۰۱٤. CycloTRACK (v۱.۰)- tracking winter extratropical cyclones based on relative voracity: sensitivity to data filtering and other relevant parameters. Geoscientific Model Development, **۷**: ۱۸٤۱-۱۸٥۳.

Flocas, H.A.; I. Simmonds, J. Kouroutzoglou, K. Keay, M. Hatzaki, V. Bricolas and D. Asimakopoulos .۲۰۱۰. On cyclonic tracks over the eastern Mediterranean. Journal of Climate, **۲۳**: ٥۲٤۳-٥۲٥۷.

Hodges, K. ۱۹۹٤. A general method for tracking analysis and its application to meteorological data. Monthly Weather Review, **۱۲۲**: ۲٥۷۳-۲٥۸٦.

Hodges K.; B. Hoskins, J. Boyle, and C. Thorncroft.۲۰۰۳. A comparison of recent reanalysis using objective feature tracking: storm tracks and easterly waves. Monthly Weather Review, **۱۳۱**:۲۰۱۲–۲۰۳۷.

Hodges, R. W. Lee, and L. Bengtsson, .۲۰۱۱. A comparison of extratropical cyclones in recent reanalyses ERAInterim, NASA MERRA, NCEP CFSR, and JRA-۲٥. Journal of Climate, **۲٤**: ٤۸۸۸–٤۹۰٦.

Hoskins, B.; and K. Hodges. ۲۰۰۲. New Perspectives on the Northern Hemisphere Winter Storm Tracks. Journal of the Atmospheric Sciences, **٥۹**: ۱۰٤۱–۱۰٦۱.

Jansa, A.; A. Genovs, M. Picornell, J. Campins, R. Riosalido, and O. Carretero. ۲۰۰۱. Western Mediterranean cyclones and heavy rain. Part ۲: Statistical approach, Meteorological Applications, **۸**: ٤۳–٥٦.

Kelemen, F. D.; J. Barthily, and R. Pongracz. ۲۰۱٤. Multivariable cyclone analysis in the Mediterranean region. Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service, **۲**: ۱٥۹–۱۸٤.

Kostaschuk, R.; J. Terry, and R. Raj. ۲۰۰۱. Tropical cyclones and floods in Fiji, Hydrological Science, **٤٦**: ٤۳٥- ٤٥۰.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

Lionello, P.; F. Dalan, and E. Elvini. ۲۰۰۲. Cyclones in the Mediterranean region: The present and the doubled CO۲ climate scenarios. Climate Research, ۲۲: ۱٤۷–۱٥۹.

Lionello, P.; P. Malanbotte-Rizzoli, and R. Boscolo. ۲۰۰٦. Mediterranean climate variability. Developments in earth and environmental sciences, ٤: ۳۲٥–۳۷۲.

Maheras, P.; H. Flocas, I. Patrikas, and C. Anagnostopoulou. ۲۰۰۱. A ٤۰ year objective climatology of surface cyclones in the Mediterranean region: spatial and temporal distribution, International Journal of Climatology, ۲۱:۱۰۹–۱۳۰.

۲۷- Mehmet, K.; D. Ali, and T. Mete .۲۰۰٤. Cyclone Track Variability over Turkey in Association with regional Climate. International Journal of Climatology, ۲۰: ۱۲۲٥–۱۲۳٦.

Murray, R. J.; and I. Simmonds. ۱۹۹۱. A numerical scheme for tracking cyclone centers from digital data. Part I: Development and operation of the scheme. Australian Meteorological Magazine, ۳۹: ۱٥٥–۱٦٦.

Neu, U.; M. G. Akperov, N. Bellenbaum, R. Benestad, R. Blender, R. Caballero, A. Cocozza, H. F., Dacre, Y. Feng, K. Fraedrich, J. Grieger, S. Gulev, J. Hanley, T. Hewson, M. Inatsu, K. Keay, S. F. Kew, I. Kindem, G. C. Leckebusch, M. L. R. Liberato, P. Lionello, I. I. Mokhov, J. G. Pinto, C. C. Raible, M. Reale, I. Rudeva, M. Schuster, I. Simmonds, M. Sinclair, M. Sprenger, N. D. Tilinina, I. F. Trigo, S. Ulbrich, U. Ulbrich, X. L. Wang, and H. Wernli.۲۰۱۳. A Community Effort to Intercompare Extratropical Cyclone Detection and Tracking Algorithms, Bulletin of the American. Meteorological Society, ۹٤: ٥۲۹–٥٤۷.

Picornell, M. A.; A. Jansa`, A. Genoves, and J. Campins. ۲۰۰۱. Automated database of mesocyclones from the HIRLAM (INM) ۲۰,٥۸ analyses in the Western Mediterranean. International Journal of Climatology, ۲۱: ۳۳٥–۳٥٤

Pinto, J. G.; T. Spangehl, U. Ulbrich, and P. Speth. ۲۰۰٥. Sensitivities of a cyclone detection and tracking algorithm: Individual tracks and climatology. Meteorologische Zeitschrift, ۱٤: ۸۲۳–۸۳۸.

Ramis, C.; R. Romero, V. Homar, S. Alonso, and M. Alarcon. ۱۹۹۸. Diagnosis and numerical simulation of a torrential precipitation event in Catalonia (Spain), Meteorology and Atmospheric Physics, ٦۹: ۱–۲۱.

Romem, M.; B. Ziv, and H. Saaroni. ۲۰۰۷. Scenarios in the development of Mediterranean cyclones, Adv. Geosci., ۱۲: ٥۹–٦٥.

Sinclair, M. R. ۱۹۹۷. Objective identification of cyclones and their circulation intensity, and climatology. Weather and Forecasting, ۱۲: ٥۹٥–٦۱۲.

Terranova, O. G.; S. L. Gariano. ۲۰۱٤. Rainstorms able to induce flash floods in a Mediterranean-climate region (Calabria, southern Italy), Natural Hazards and Earth System Sciences, ۱٤: ۲٤۲۳–۲٤۳٤.

Trigo, I. F.; T. D. Davies, and G. R. Bigg. ۱۹۹۹. Objective climatology of cyclones in the Mediterranean region, Journal of Climate, ۱۲:۱٦۸٥– ۱٦۹٦.

Trigo, I. F.; G. R. Bigg, and T. D. Davis. ۲۰۰۲. Climatology of cyclogenesis mechanisms in the Mediterranean, Monthly Weather Review, ۱۳۰: ٥٤۹–٥٦۹.

Trigo, I. F. ۲۰۰٦. Climatology and interannual variability of storm-tracks in the Euro- Atlantic sector: a comparison between ERA-٤۰ and NCEP/NCAR reanalyses, Climate dynamics, ۲٦: ۱۲۷-۱٤۳.

Ulbrich, U.; G. C. Leckebusch, and J. G. Pinto.۲۰۰۹. Extra-tropical cyclones in the present and future climate: a review, Theoretical and Applied Climatology, ۹٦: ۱۱۷–۱۳۱.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]