

## روند تغییرات فصلی رودباد جنب حاره در محدوده اقلیمی ایران طی دهه‌های اخیر

حسین عساکره\* - دانشیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیای دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

هوشنگ قائمی - استاد هواشناسی، پژوهشکده هواشناسی، تهران، ایران

آذر بیرانوند - کارشناس ارشد آب‌وهواشناسی سینوپتیک، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۰۹/۲۳ تأیید نهایی: ۱۳۹۳/۰۸/۰۷

### چکیده

در این پژوهش از داده‌های مربوط به مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری باد طی ۱۳۳۰-۱۳۸۹ برای ابعاد مکانی ۲۰ تا ۸۰ درجه عرض شمالی و ۱۰- تا ۱۲۰ درجه طول شرقی و در تراز ارتفاعی ۲۰۰ هکتوپاسکال استفاده شده است. این داده‌ها از NCAR/NCEP اخذ شده است. محاسبات روند از روش رگرسیون خطی با روش کمترین مربعات خطا (LSE) انجام گرفته است. نتایج بررسی روند در چهار فصل سال نشان داد که مقدار معنی‌داری روند سرعت رودباد برای فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب ۱۰، ۲/۹، ۱۱ و ۱۰ درصد از پهنه بوده است. در فصل‌های بهار و پاییز، مقدار روند بین ۰/۰۵- تا ۰/۱۵- مشاهده شد که در سده آینده کاهش شدت رودباد را در پی خواهد داشت. به‌طور کلی، کاهش شدت بهار، پاییز و تابستان رودباد جنب حاره در سده آینده، در سطح اطمینان ۹۵ درصد پیش‌بینی می‌شود. بررسی روند مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری رودباد در فصل‌های مختلف نشان داد که بیشترین تغییرات شرق‌سو در فصل زمستان ۷/۴ درصد و بیشترین تغییرات شمال‌سو در فصل بهار و پاییز با ۱۰/۶ و ۸/۴ درصد از پهنه مطالعه شده است. بررسی متوسط رودباد در دهه‌های مختلف نشان داد که بیشترین تغییرات رودباد مربوط به دهه پنجم (۱۳۷۰-۱۳۸۰) بوده است.

کلیدواژه‌ها: رودباد، روند، مؤلفه‌های مداری، مؤلفه‌های نصف‌النهاری.

### مقدمه

درک قانونمندی‌های سامانه اقلیمی زمین نیازمند شناخت مؤلفه‌های مؤثر بر این سامانه است (مفیدی و زرین، ۲۰۰۵). یکی از مؤلفه‌های مؤثر بر اقلیم زمین، حرکات عمودی آن است. بنا بر اصل پیوستگی، تمام تغییرات آب‌وهوایی سطح زمین از طریق حرکات عمودی اتمسفر کنترل می‌شود (علیچانی و هوشیار، ۲۰۰۸). این حرکات از راه واریسی و بررسی الگوهای هم‌دید جوی قابل ردیابی و شناخت‌اند؛ زیرا الگوهای هم‌دید سطوح بالای اتمسفری تأثیر بسزایی بر هوا و در نهایت آب‌وهوای سطح زمین دارند (مرادی، ۲۰۱۱). به همین دلیل، شناخت این الگوها حائز اهمیت است. به این منظور، به بررسی رودباد جنب حاره به‌منزله یکی از اجزای گردش عمومی جو پرداخته‌ایم. بنا بر تعریف سازمان هواشناسی جهانی، این رودباد تمرکز شبه افقی باد قوی نسبی با سرعت بیش از ۳۰ متر بر ثانیه (۶۰ نات) در درون جریان باریکی در

جو است. هر هسته رودباد، به دلیل اختلاف دما و سرعت باد زیاد، همراه با جو کژفشار است. در نیمکره شمالی، دو رودباد غربی وجود دارد؛ رودباد شمالی‌تر را رودباد جبهه قطبی<sup>۱</sup> و رودباد جنوبی‌تر را رودباد جنب حاره<sup>۲</sup> می‌نامند. رودباد جبهه قطبی محصول شیو شدید دمایی هوای قطبی و حاره‌ای است؛ در حالی که رودباد جنب حاره حاصل شیو دمایی موجود در وردیست و محدود به تروپوسفر بالایی است (مسعودیان، ۲۰۱۲: ۳۵). موقعیت و جایگاه رودباد جنب حاره جابه‌جایی فصلی را نشان می‌دهد. این جابه‌جایی فصلی رودباد جنب حاره‌ای سبب استیلای متناوب رژیم‌های حاره‌ای و برون‌حاره‌ای بر اقلیم ایران می‌شود. در دوره سرد سال که این رودباد بر جنوب ایران مستقر است، عوامل آب‌وهوایی برون‌حاره‌ای مانند بادهای غربی و چرخندها، به ایران وارد می‌شوند؛ اما در دوره گرم سال که رودباد بر بخش‌های شمالی کشور قرار دارد، عوامل آب‌وهوای حاره‌ای بر ایران مستولی می‌شود (علیچانی، ۱۹۹۵). بنابراین، شناخت موقعیت قرارگیری این پدیده و همچنین وردایی آن به منظور شناسایی تغییرات زمانی - مکانی دیگر پدیده‌های جوی مؤثر بر اقلیم کشور امری ضروری است. از دیگر سو، در صورت دستیابی به روند رخداد رودباد می‌توان رفتار احتمالی آن را در موقعیت‌ها و زمان‌های مختلف شناسایی کرد.

به دلیل اهمیت موضوع، دانشمندان در سراسر جهان و ایران پژوهش‌های عدیده‌ای در این زمینه انجام داده‌اند؛ برای مثال: تأثیرگذاری رودبادها بر دیگر پدیده‌ها را سینگر و همکاران (۲۰۰۵)، پرزراکس و همکاران (۲۰۰۶) و بالدی و همکاران (۲۰۰۶) و تأثیرپذیری آن از نمایه‌های اقلیمی را آیچر و هیگینس (۲۰۰۵)، وولینگز و بلکبرن (۲۰۱۲) و رودیوناف و آسل (۲۰۰۱) و نیز اثر متغیرهای حرارتی بر موقعیت و ساختار رودبادها را زینف و پالدور (۱۹۹۹) بررسی کرده‌اند. همچنین، در زمینه روندیابی رفتار این پدیده، پژوهش‌هایی به این شرح انجام گرفته است: استرانگ و دیویس (۲۰۰۷) به روندیابی رودباد زمستانه بالای نیمکره شمالی در ۱۹۵۸ تا ۲۰۰۷ با استفاده از داده‌های بازکاوی شده مرکز ملی پیش‌بینی محیطی و مرکز ملی پژوهش‌های جوی ایالات متحده آمریکا و نیز ECMWF ERA-40 با به‌کارگیری شاخص‌های ارتفاع ژئوپتانسیل، سرعت باد، دما و فشار پرداخته‌اند. آنها در پژوهش خود، سطح باد بیشینه را به‌منظور محاسبه روند هسته رودباد به‌کار گرفته‌اند. نتایج پژوهش آنها بیان‌کننده این است که سرعت هسته در رودباد جنب حاره بر فراز غرب و مرکز اقیانوس آرام ثابت بوده است؛ درحالی که افزایش سرعت در رابطه با سلول هدلی به‌علت جابه‌جایی قطب‌سوی گشتاور زاویه‌ای به مقدار ۱/۷۵ متربرثانیه بوده است.

آرچر و کالدرا (۲۰۰۸) روند رودباد جنب حاره و رودباد جبهه قطبی در دو نیمکره شمالی و جنوبی را بررسی کرده‌اند. آنها از داده‌های بازکاوی شده مرکز ملی پیش‌بینی محیطی و مرکز ملی پژوهش‌های جوی ایالات متحده آمریکا و نیز ECMWF ERA-40 برای بازه زمانی ۱۹۷۹ تا ۲۰۰۱ بهره‌جسته‌اند. سطوح به‌کار رفته در پژوهش آنها شامل شش سطح ارتفاعی از ۴۰۰ تا ۱۰۰ هکتوپاسکال بوده است. نتایج پژوهش آنها بیان‌کننده آن است که در نیمکره شمالی، جریان رودباد در حال تضعیف است؛ در حالی که در نیمکره جنوبی، جریان رودباد جنب حاره در حال تضعیف و جریان رودباد جبهه قطبی در حال تقویت است.

1. Polar front jet stream  
2. Subtropical jet stream

هودسون (۲۰۱۲) در اندازه‌گیری حرکت رودبادها در دو نیمکره شمالی و جنوبی در ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۰، با تحلیل ازن موجود در شکستگی تند جبهه‌ها و با استفاده از داده‌های موجود در این زمینه و نیز با بهره‌گیری از رگرسیون خطی، عوامل عمده در جنبش جریان رودباد جنب حاره را مشخص کرده است. وی در نتایج خود پنج عامل ۱. تغییرات نواحی حاره به‌علاوه دمای اقیانوس‌ها، ۲. تابش مستقیم گازهای گلخانه‌ای در تروپوسفر، ۳. تغییرات در دمای لایه پایین استراتوسفر، ۴. نوسانات شبه دوساله جو و ۵. انفجارهای آتشفشانی را عمده عوامل جابه‌جایی در رودباد جنب حاره می‌داند و مقدار این جابه‌جایی را در نیمکره شمالی  $0.3^{\circ}$  ع  $3/7^{\circ}$  درجه و در نیمکره جنوبی  $0.2^{\circ}$  ع  $6/5^{\circ}$  درجه می‌داند.

در ایران، با اینکه پژوهش‌های بیشتری درباره همدیدی صورت گرفته، تحقیقات در زمینه رودبادها انگشت‌شمار است که در میان آن‌ها پژوهش‌هایی که به‌طور مستقیم به این مقوله پرداخته باشد، مربوط به بیش از نیم قرن پیش است و در آن‌ها از دوره‌های آماری کمی بهره‌گرفته شده است؛ برای نمونه: ترابی (۱۹۷۶) و کاظم‌پور (۱۹۷۹) به بررسی رودبادهای روی ایران پرداخته‌اند. خورانی (۲۰۰۵) به تعیین موقعیت رودباد در رابطه با سامانه‌های بارشی غرب کشور با استفاده از داده‌های بارشی هفت ایستگاه در دو استان ایلام و کرمانشاه در دوره ۱۰ ساله ۱۹۹۰-۱۹۹۹، مفیدی و زرین (۲۰۰۵) به بررسی همدیدی تأثیر سامانه‌های کم‌فشار سودانی بر وقوع بارش‌های سیل‌زا در ایران، فرج‌زاده و همکاران (۲۰۰۵) در تحقیقی به تعیین موقعیت و چگونگی استقرار رودباد روی منطقه غرب کشور و سرعت آن به‌هنگام تسلط سامانه‌های همدید بارش‌زا در سطح زمین در دوره ۱۹۹۰-۱۹۹۹ پرداخته‌اند. همچنین، عزیزی و سفراد (۲۰۱۲) در پژوهشی، ویژگی‌های رودبادهای جنب حاره و قطبی را در مرحله‌های مختلف ENSO بررسی قرار کرده‌اند. در زمینه بررسی دقیق و جامع این پدیده و نیز روندیابی آن در کشور پژوهشی صورت نگرفته است. هدف از این پژوهش دستیابی به روند تغییرات زمانی و مکانی رودباد جنب حاره در دوره زمانی ۱۳۳۰-۱۳۸۹ است.

## داده‌ها و روش‌ها

در این پژوهش، از داده‌های بازکاوی شده مرکز ملی پیش‌بینی محیطی و مرکز ملی پژوهش‌های جوی ایالات متحده آمریکا (NCEP/NCAR) با  $2/5^{\circ} \times 2/5^{\circ}$  درجه قوسی تفکیک مکانی، در فواصل زمانی ۶ ساعته بهره‌گرفته شده است. داده‌های مربوط به مؤلفه مداری و نصف‌النهاری باد برای سال ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۱ در محدوده عرض جغرافیایی ۲۰ تا ۸۰ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۱۰ درجه غربی تا ۱۲۰ درجه شرقی از منبع یادشده استخراج شد. سپس با توجه به انطباق بیشتر فصل‌ها بر تاریخ خورشیدی، تمام داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار تبدیل تاریخ، از میلادی به خورشیدی (۱۳۳۰ تا ۱۳۸۹) برگردانده شد. برای ترسیم و تحلیل نقشه‌ها از نرم‌افزار GrADS استفاده شد. به این ترتیب، با نوشتن برنامه رایانه‌ای مخصوص و با مشخص کردن محدوده مکانی، بازه زمانی و محدوده ارتفاعی مورد نظر، میانگین روزانه سرعت در سطح ارتفاعی ۲۰۰ هکتوپاسکال استخراج و برای این سطح ارتفاعی ماتریسی به ابعاد  $21914 \times 1325$  (سطرها شامل تاریخ‌ها و ستون‌ها در برگرفته یاخته‌های بررسی شده) ایجاد شد. پس از ترسیم نقشه‌های متوسط رودباد در این محدوده، با توجه به اینکه هسته تأثیرگذار رودباد جنب حاره بر روی ایران در محدوده عرض جغرافیایی ۲۰ تا ۸۰ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۱۰ درجه غربی تا ۱۲۰ درجه شرقی قرار گرفته بود، محاسبات روند بر ماتریسی به ابعاد  $21914 \times 407$  متمرکز شد.

پس از آن، به منظور بررسی توزیع مکانی روند سرعت رودباد و همچنین تغییرات محور آن، در منطقه اقلیمی ایران در فصل‌های مختلف، به بررسی سری زمانی آن پرداخته شد. سری زمانی نمونه‌ای از جامعه بزرگی است که داده‌های آن با فواصل زمانی برابر گردآوری شده باشد. هدف اصلی از الگوبندی سری‌های زمانی، دادن نظم خاص به مشاهدات وابسته به زمان است تا بر اساس آن‌ها بتوان پیش‌بینی‌هایی داشت. از مهم‌ترین ویژگی‌های هر سری زمانی مکان دقیق، فاصله زمانی دقیق، واحد زمانی و کمیت اندازه‌گیری معین است (امیدوار، ۲۰۱۰). در این پژوهش، به منظور به الگو درآوردن تغییرات در سری‌های زمانی فصلی، به بررسی و تحلیل روند سرعت رودباد در هر فصل پرداخته شده است؛ بنابراین، در هر یاخته سرعت‌های متوسط باد در ۶۰ سال برای هر فصل محاسبه شده است. سپس، سرعت‌های بیشتر و مساوی ۳۰ متربرثانیه تفکیک و روند آن‌ها محاسبه شده است. همچنین، به منظور دستیابی به روند محور رودباد، روند مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری به صورت جداگانه محاسبه و حالات مختلف روند آن‌ها نسبت به هم، مطابق جدول ۱ بررسی شده است.

جدول ۱. حالات و نتایج روند مؤلفه مداری و نصف‌النهاری در بررسی روند محور

نتایج	معنی‌داری	حالت
عدم تغییر جت،	روند مؤلفه مداری معنی‌دار و روند مؤلفه	روند مؤلفه مداری مثبت و روند
افزایش سرعت	نصف‌النهاری معنی‌دار	مؤلفه نصف‌النهاری مثبت
افزایش جریان‌ها	روند مؤلفه مداری معنی‌دار و روند مؤلفه	روند مؤلفه مداری مثبت و روند
شرق‌سو	نصف‌النهاری فاقد معنی‌داری	مؤلفه نصف‌النهاری منفی
افزایش جریان‌ها	روند مؤلفه مداری فاقد معنی‌داری و روند مؤلفه	روند مؤلفه مداری منفی و روند
شمال‌سو	نصف‌النهاری معنی‌دار	مؤلفه نصف‌النهاری مثبت
عدم تغییر جت،	روند مؤلفه مداری فاقد معنی‌داری و روند مؤلفه	روند مؤلفه مداری منفی و روند
کاهش سرعت	نصف‌النهاری فاقد معنی‌داری	مؤلفه نصف‌النهاری منفی

برای این منظور، رابطه هر مؤلفه (تنها یک متغیر) با زمان  $t$  برای تحلیل روند مورد توجه قرار گرفت. برای محاسبه روند از رگرسیون خطی ساده بهره گرفته شد. در این روش معادله برازش خط به صورت زیر است:

$$y_i = a + bt_i \quad \text{رابطه (۱)}$$

این معادله که از نوع معادلات درجه اول است، رابطه‌ای خطی را بیان می‌دارد و در آن،  $y$  مختصات خط به‌ازای  $t$ ‌های مختلف است و جزء  $a + bt_i$  به مؤلفه قطعی موسوم است که  $a$  عرض از مبدأ و  $b$  شیب خط حاصل از معادله است (عساکره، ۲۰۱۱). مثبت یا منفی بودن نتیجه شیب خط، بیان‌کننده روند افزایشی یا کاهش‌ی است؛ در حالی که صفر بودن آن دال بر فقدان روند است.

در این پژوهش، برای محاسبه ضرایب رگرسیونی، از روش کمترین مربعات خطا (LSE) بهره گرفته شد. در این روش، شیب خط با رابطه ۲ و عرض از مبدأ با رابطه ۳ محاسبه می‌شود (همان، ۲۰۱۱).

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad \text{رابطه (۳)}$$

پس از آن، با توجه به حالات مختلف تشریح شده در رابطه با مؤلفه مداری و نصف‌النهاری، برای نتایج روند آن‌ها چهار حالت، مطابق جدول ۱، تفکیک شد.

در نهایت، نتایج روند با استفاده از نرم‌افزار SURFER ترسیم شد. همچنین، در این نقشه‌ها، به‌منظور روشن‌سازی تغییرات حول هسته رودباد، نقشه‌های میانگین ترسیم شد.

## یافته‌ها

### الف) ویژگی‌های اقلیمی رودباد جنب حاره

به‌منظور بررسی جایگاه متوسط رودباد جنب حاره در فصل‌های مختلف، نقشه توزیع مکانی میانگین و ضریب تغییرات رخداد آن ترسیم شد. نتایج آن در شکل ۱ ارائه شده است. متوسط سرعت فصلی رودباد جنب حاره با منحنی‌های هم‌سرعت و ضریب تغییرات آن با طیف رنگی نمایش داده شده و همچنین، در نقشه‌های جداگانه با طیف رنگی سیاه و سفید، فراوانی رخداد رودباد نشان داده شده است.

در فصل بهار، بیشینه سرعت در دو هسته شرق چین و شمال آفریقا ۴۶ متربرثانیه است. در ایران، سرعت متوسط رودباد در این فصل بین ۴۰ تا ۴۴ متربرثانیه از شمال تا جنوب آن متغیر است. ضریب تغییرات این فصل بین ۴ تا ۲۷ درصد در نوسان است. بیشترین اندازه ضریب تغییرات در هسته و شمال آن دیده می‌شود. بیشینه آن در ناحیه مرکزی مشاهده می‌شود. چنانکه از نقشه توزیع فراوانی رودباد برمی‌آید، در شرق چین ۸۰-۹۰ درصد طول دوره رخداد این پدیده مشاهده می‌شود. این تعداد در مناطق لیبی، الجزایر، مصر، شمال دریای سرخ، شمال عربستان، جنوب غرب عراق و سوریه ۶۲-۷۱ درصد مواقع مشاهده می‌شود. هسته رودباد جنب حاره در فصل تابستان بر فراز دریاچه آرال در عرض ۴۵ درجه شمالی واقع می‌شود. همچنین، از نظر طول جغرافیایی قرارگیری هسته نیز این نکته شایان توجه است که در فصل تابستان، هسته رودباد جنب حاره در شرقی‌ترین موقعیت خود (نسبت به دیگر فصل‌ها) قرار می‌گیرد. در این فصل، سرعت هسته هم در شمال خزر و قزاقستان و هم بر فراز تبت ۴۰ متربرثانیه می‌شود و بیشینه ضریب تغییرات در عرض ۵۰ درجه شمالی به ۲۴ درصد می‌رسد. بیشینه فراوانی این فصل در تبت حدود ۸۰ درصد طول دوره و نیز در خزر، قزاقستان،

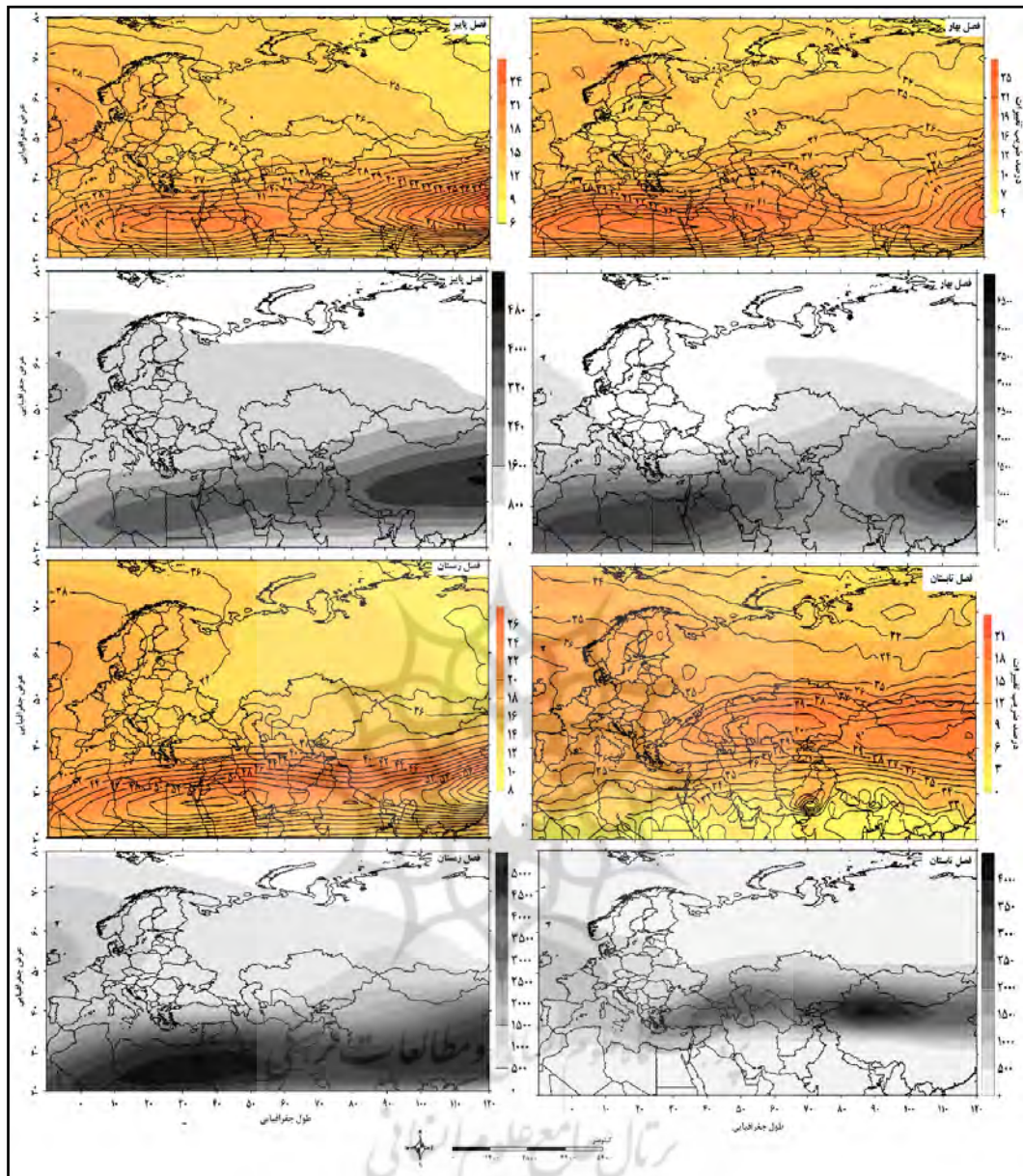
ارمنستان و شمال ترکیه در ۶۲-۷۱ درصد مواقع دیده می‌شود. در این فصل، از گستره رخدادهای رودباد به مقدار زیادی کاسته می‌شود؛ تا جایی که تمرکز فراوانی وقوع در عرض‌های ۳۰ تا ۶۰ درجه شمالی (بیش از ۸۵ درصد رخدادها در طول دوره در این محدوده بوده است) دیده می‌شود.

در فصل پاییز، تفاوت سرعت در هسته شرق چین و شمال آفریقا به ۱۰ متربرثانیه می‌رسد؛ به گونه‌ای که این سرعت در شرق چین ۵۴ متربرثانیه و در شمال عربستان - شمال آفریقا ۴۴ متربرثانیه می‌شود. بیشینه ضریب تغییرات، ۲۷ درصد در شرق چین و ۲۴ درصد در شمال آفریقا، شمال عربستان، جنوب عراق و مرکز ایران دیده می‌شود. فراوانی رخداد رودباد در شرق چین حدود ۹۰ درصد و در شمال آفریقا ۶۰ درصد است. در ایران، این مقدار بین ۳۸-۴۳ درصد از کل روزهای مربوط به این فصل در دوره بررسی شده است.

در فصل زمستان با توجه به اینکه بیشترین تفاوت دمایی در جو حادث می‌شود، متوسط سرعت در هسته رودباد جنب حاره به بیشترین مقدار خود می‌رسد؛ به طوری که در هسته فراز شرق چین مقدار آن به ۶۶ متربرثانیه و در شمال آفریقا به ۵۶ متربرثانیه می‌رسد. در ایران این سرعت بین ۴۰ تا ۵۴ متربرثانیه متغیر است. در این فصل، خطوط هم‌سرعت فشرده‌تری از تمام فصل‌ها دارند. فراوانی وقوع هسته در شمال آفریقا و شرق چین در گستره زیادی بیش از ۹۲ درصد است.

به طور کلی، کمترین ضریب تغییرات در مناطقی حادث شده است که نواحی تمرکز هسته رودباد نیستند و خطوط هم‌سرعت از هم فاصله گرفته‌اند؛ در حالی که بیشینه ضریب تغییرات در بخش‌هایی دیده می‌شود که هسته‌های سرعت در آنها تمرکز و جابه‌جایی دارند و خطوط هم‌سرعت به هم نزدیک می‌شوند. بر روی محدوده سیاسی ایران، بیشینه میانگین و ضریب تغییرات بر روی نواحی جنوبی و مرکزی مشاهده می‌شود؛ در حالی که به سمت دریای خزر، سرعت و ضریب تغییرات آن به طور محسوسی کاسته می‌شود. همچنین، بیشترین سرعت‌های رودباد مربوط به فصل زمستان و پاییز است. در فصل‌های سرد سال، تشدید اختلاف حرارتی در نیمکره شمالی، سبب سرعت‌های بیشینه برای رودباد جنب حاره می‌شود؛ در حالی که در بهار و تابستان شدت رودباد کاهش می‌یابد. پیشروی سامانه‌های حاره به مناطق جنب حاره در فصل گرم سبب یکنواختی بیشتر دمای این فصل در نیمکره می‌شود و کاهش تباین دما تا حدود زیادی از شدت رودبادها می‌کاهد.

به طور کلی، در متوسط رودباد در تمام فصل‌ها، دو هسته نمایان می‌شود: هسته فراز چین و شمال آفریقا. با در نظر گرفتن اینکه هسته شمال آفریقا جو ایران را متأثر می‌سازد، در ادامه محاسبات مربوط به ارزیابی روند در طول و عرض محدودتری (به گونه‌ای که فقط هسته شمال آفریقا را در برگیرد) صورت می‌گیرد.



شکل ۱. توزیع مکانی میانگین سرعت، ضریب تغییرات و فراوانی رودباد جنب حاره

به منظور بررسی دقیق‌تر تغییرات رودباد جنب حاره، نقشه متوسط سرعت برای هر دهه از دوره مورد مطالعه ترسیم شد. به این ترتیب، برای هر فصل شش نقشه تهیه شد. در این مقاله، برای رعایت اختصار نقشه‌ها ارائه نشده است. تنها میزان سرعت در مرکز متوسط هسته شمال آفریقا، جایگاه قرارگیری مرکز متوسط و نیز گسترش این هسته در امتداد عرض جغرافیایی برای هر دهه در قالب جدول ۲ ارائه شده است.

چنانکه از جدول ۲ برمی آید، در فصل بهار علاوه بر اینکه متوسط سرعت هسته کاهش یافته، در دهه پنجم (۱۳۷۰-۱۳۸۰) این هسته تا عرض ۴۱ درجه شمالی گسترش یافته است. در دهه ششم (۱۳۸۰-۱۳۸۹) نیز، از تمرکز و شدت آن کاسته شده و مرکز متوسط آن نسبت به دهه‌های قبل، منطقه بیشتری را در بر گرفته است.

جدول ۲. خصوصیات کلی رودباد جنب حاره در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال طی ۱۳۳۰-۱۳۸۹

فصل	دهه	سرعت در مرکز متوسط	محل فرارگیری مرکز متوسط رودباد	اندازه گسترش شمال سو (عرض جغرافیایی به درجه)
فصل بهار	اول	۴۱ m/s	مصر	۳۵ درجه شمالی
	دوم	۴۱ m/s	مصر، لیبی	۳۵ درجه شمالی
	سوم	۴۰ m/s	مصر، لیبی	۳۸ درجه شمالی
	چهارم	۳۷ m/s	مصر	۳۵ درجه شمالی
	پنجم	۳۸ m/s	لیبی	۴۱ درجه شمالی
	ششم	۳۷ m/s	مصر، لیبی، الجزایر	۳۵ درجه شمالی
فصل تابستان	اول	۳۶ m/s	ازبکستان، قزاقستان	۴۷ درجه شمالی
	دوم	۳۶ m/s	ازبکستان، قزاقستان	۴۷ درجه شمالی
	سوم	۳۶ m/s	گرجستان، قزاقستان	۵۰ درجه شمالی
	چهارم	۳۴ m/s	خزر، قزاقستان	۵۲ درجه شمالی
	پنجم	۳۳ m/s	تشکیل نشدن منحنی بسته در جایگاه هسته اصلی	۴۷ درجه شمالی
	ششم	۳۴ m/s	خزر، آذربایجان، گرجستان، ترکیه، ترکمنستان	۴۷ درجه شمالی
فصل پاییز	اول	۳۸ m/s	لیبی	۳۵ درجه شمالی
	دوم	۳۹ m/s	لیبی	۳۲ درجه شمالی
	سوم	۳۹ m/s	لیبی	۳۵ درجه شمالی
	چهارم	۳۸ m/s	مصر	۳۵ درجه شمالی
	پنجم	۳۸ m/s	سیستان و بلوچستان، دهلی نو	۳۸ درجه شمالی
	ششم	۳۷ m/s	مصر، دریای سرخ، شمال عربستان	۳۲ درجه شمالی
فصل زمستان	اول	۵۶ m/s	مصر، دریای سرخ، شمال غرب عربستان	۳۷ درجه شمالی
	دوم	۵۴ m/s	مصر	۳۷ درجه شمالی
	سوم	۵۵ m/s	شمال دریای سرخ، شمال عربستان	۳۷ درجه شمالی
	چهارم	۵۵ m/s	شمال دریای سرخ، شمال عربستان	۳۷ درجه شمالی
	پنجم	۵۵ m/s	شمال دریای سرخ، شمال عربستان	۳۷ درجه شمالی
	ششم	۵۵ m/s	شمال دریای سرخ، شمال عربستان	۳۷ درجه شمالی



در فصل تابستان از دهه چهارم تا دهه ششم، تغییرات چشمگیری دیده می‌شود. در دهه چهارم، این هسته تا ۵۲ درجه شمالی پیشروی داشته است. در دهه پنجم، منحنی بسته‌ای که نشان‌دهنده هسته رودباد است، مشاهده نمی‌شود و سرعت رودباد به شدت کاسته شده است. در دهه ششم، هسته از حالت متمرکز خارج شده و به صورت هسته‌های پراکنده بر فراز خزر، آذربایجان، گرجستان، ترکیه و ترکمنستان قرار گرفته است.

در دهه اول تا سوم فصل پاییز، مرکز متوسط رودباد جنب حاره بر فراز لیبی مشاهده می‌شود؛ اما در دهه پنجم، این هسته با جابه‌جایی چشمگیری با سرعت تقریباً برابر دهه‌های قبل، بر فراز سیستان و بلوچستان و نیز هسته منفرد دیگری از آن بر فراز دهلی‌نو قرار گرفته است. در دهه‌های دوم و ششم، گستره تحت پوشش رودباد جنب حاره به عرض ۳۲ درجه شمالی محدود شده است؛ اما در دهه پنجم، تا ۳۸ درجه پیشروی شمال سو داشته است.

در تمام دهه‌ها، سرعت و جایگاه هسته رودباد در فصل زمستان نسبت به دیگر فصل‌ها از ثبات بیشتری برخوردار بوده است. تنها در دهه دوم، سرعت کاهش یافته و مرکز متوسط رودباد بر فراز مصر محدود شده است.

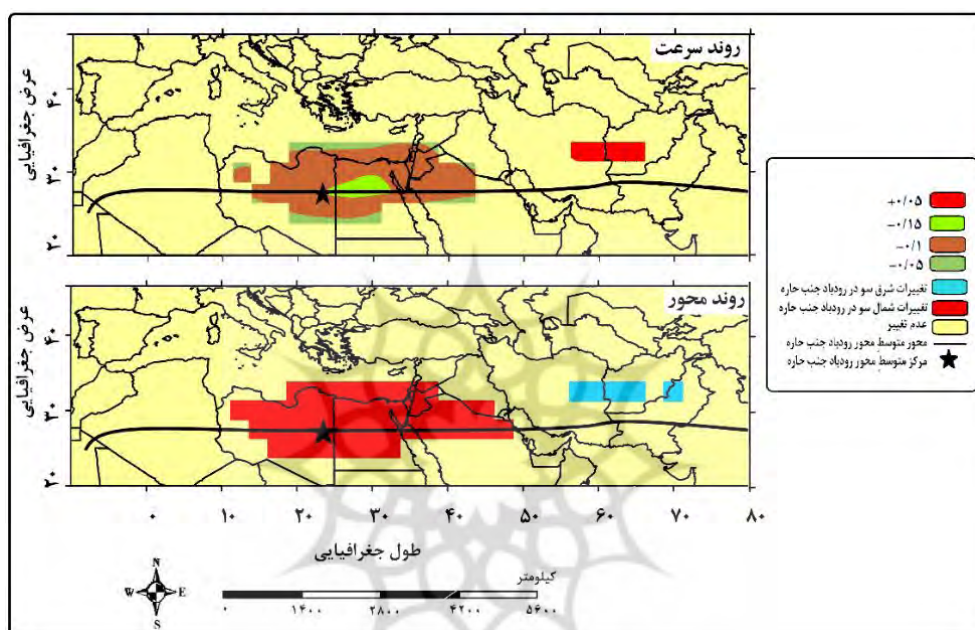
### ب) بررسی روند

در این پژوهش، تحلیل کلی روند رودباد با توجه به آنچه در قسمت روش‌ها ذکر شد، تنها برای محدوده‌ای که مکان اصلی هسته رودباد جنب حاره نسبت به کشور بود، بررسی شده است.

پژوهش‌هایی درباره سامانه‌های گوناگون جوی نظیر پرفشار جنب حاره، پرفشار سیبری، کم‌فشار سودان، فعالیت موج‌بادهای غربی و سامانه‌های مشابه آن‌ها در جو ایران زمین در فصل‌های مختلف انجام گرفته است. نتایج این پژوهش‌ها در پیش‌بینی اقلیم کشور جایگاه ویژه‌ای دارد؛ اما در زمینه چگونگی فعالیت رودبادها در کشور، پژوهش‌های چندانی انجام نگرفته است. در این پژوهش، به شناسایی الگوی رفتار فصلی رودباد جنب حاره، با استخراج فصل‌های مختلف سال بر مبنای فصل‌بندی شمسی پرداخته شده است. در ادامه، برای هر فصلی به تحلیل چگونگی روند آن پرداخته می‌شود.

**فصل بهار:** چنانکه در شکل ۲ نمایان است، در این فصل حدود ۱۰ درصد از منطقه مورد بررسی دارای روند معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد است. در این فصل، در متوسط هسته جریان جتی در مناطقی از لیبی، مصر، جنوب مدیترانه، شمال دریای سرخ، اردن و عربستان تغییرات کاهشی به مقدار ۳ تا ۹ متربرثانیه در سرعت رخ داده است. همچنین، در مناطق مذکور تغییرات شمال‌سو در روند رودباد جنب حاره مشاهده می‌شود. افزون بر آن، تغییرات شرق‌سو بر فراز مناطق شرقی ایران (کرمان و خراسان جنوبی)، افغانستان و پاکستان رخ داده است. گرچه تغییرات این پدیده اقلیمی به‌تنهایی ملاکی برای قضاوت اقلیمی منطقه نیست، سهم قابل توجهی در تعیین شرایط آب‌وهوایی دارد. برای نمونه: در این فصل همچنان بادهای غربی در شمال غرب کشور می‌وزند و این منطقه هنوز آثار فصل قبل خود را دارد. تأکید بر این نکته ضروری است که اگرچه در این سطح ارتفاعی، فاصله از زمین بسیار زیاد است و تأثیر مستقیمی ندارد، نباید فراموش کرد که این پدیده حالتی تک‌بعدی ندارد و گستره فعالیت آن (عمق هسته رودباد)، گرچه با شدت کمتر، در ترازهای زیرین نیز ادامه می‌یابد و آنچه به اهمیت آن می‌افزاید، عملکرد نظام‌مند جو است. از دیگر نکات شایان توجه در

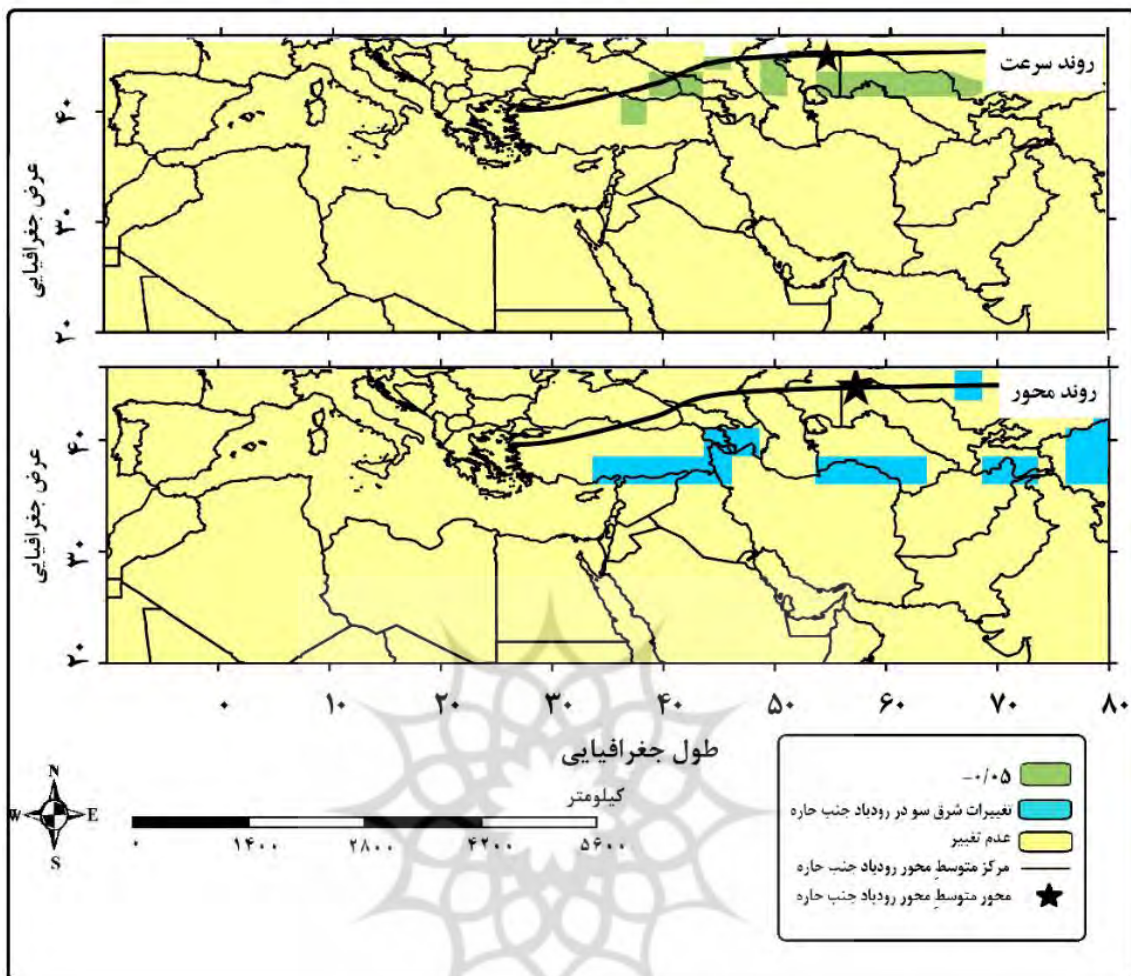
این فصل، رخداد هسته رودباد بر فراز بخش مهمی از چشمه‌های غباری جهان (صحرای آفریقا، چشمه‌های حوضه رودخانه‌های دجله و فرات و چشمه‌های شبه جزیره عربستان) است؛ بنابراین، در شرایطی که غبار این چشمه‌ها بر اثر سازوکار خاص دینامیکی و سینوپتیکی برخاسته باشد، این رودباد تأثیر بسزایی بر انتقال آن خواهد داشت. برخی پژوهش‌های انجام گرفته در زمینه روزهای غباری در کشور از جمله معصومی (۲۰۱۲) و عابدینی و همکاران (۲۰۱۳)، به گونه‌ای نتایج این پژوهش را در این بخش تأیید می‌کند.



شکل ۲. توزیع مکانی میانگین سرعت رودباد جنب حاره در فصل بهار طی دوره زمانی ۱۳۳۰-۱۳۸۹

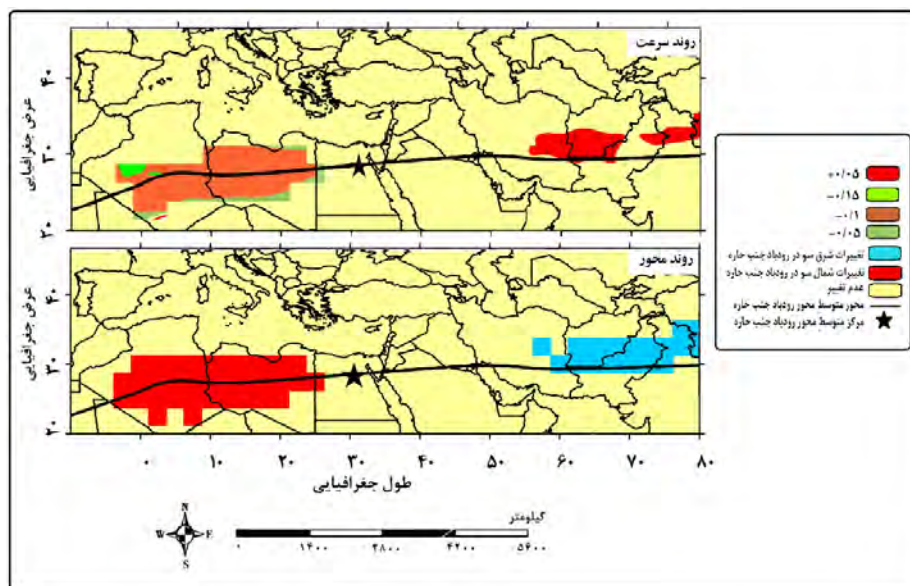
به منظور سنجش دقیق‌تر وضعیت رودباد جنب حاره، محاسبات مربوط به روند این پدیده در ۶ دهه به تفکیک بررسی شده است. با توجه به اینکه در بررسی سری زمانی، طولانی بودن دوره زمانی مهم است، در بررسی‌های مربوط به ۱۰ سال، نتایج شایان توجهی مشاهده نشده است. معنی‌داری روند در این فصل در تمام دهه‌ها کمتر از ۵ درصد از منطقه را پوشش می‌داد؛ از طرفی این معنی‌داری در هیچ یک از دهه‌ها در مرکز رودباد نبوده، بلکه در حواشی هسته دیده شده است.

**فصل تابستان:** در این فصل، میزان معنی‌داری در روند سرعت رودباد جنب حاره بسیار کم بوده و تنها در ۲/۹ درصد از کل پهنه، روند منفی مشاهده شده است. در زمینه رديابی مکانی روند محور در این فصل نیز تنها در ۲/۵ درصد از پهنه مورد بررسی، معنی‌داری در روند مشاهده شده که تمام آن در ورودی و خروجی راست هسته رخ داده است. در این نواحی، در رودباد در سطح اطمینان ۹۵ درصد، تغییرات شمال سو حکمفرما بوده است.



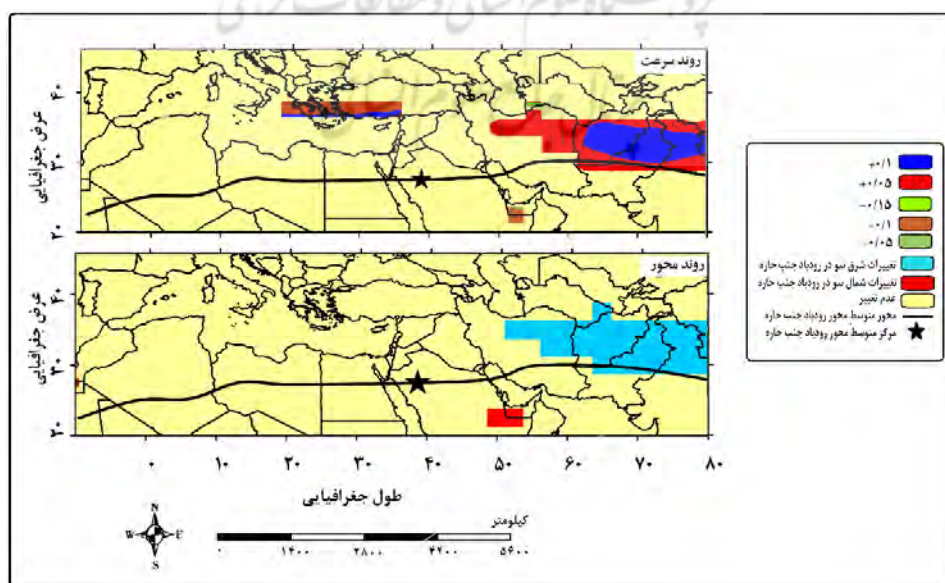
شکل ۳. توزیع مکانی میانگین سرعت رودباد جنب حاره در فصل تابستان طی دوره زمانی ۱۳۳۰-۱۳۸۹

**فصل پاییز:** نتایج بررسی روند سرعت در این فصل بیان‌کننده این است که در ۱۱ درصد از این منطقه، روند موجود دارای معنی‌داری بوده است. روند این فصل کاهش ۶ متربرثانیه‌ای را در ورودی راست و چپ هسته نشان می‌دهد. این مناطق منطبق بر لیبی و الجزایرند. همچنین، در مناطق شرقی ایران، جنوب پاکستان و شمال هند، روند افزایشی به مقدار ۰/۰۵ در سال، یعنی حدود ۳ متربرثانیه، در دوره مشاهده شده است. با توجه به بررسی‌های انجام‌گرفته در دهه‌های مختلف، به نظر می‌رسد مسبب این روند افزایشی تغییرات حادث‌شده در دهه پنجم بوده است. در این فصل، روند محور در ۱۲/۸ درصد منطقه مورد بررسی، در سطح اطمینان ۹۵ درصد دارای روند معنی‌داری در مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری بوده است (شکل ۴). در این فصل، در ۴/۴ درصد از پهنه، روند شرق‌سو و در ۸/۴ درصد منطقه، تغییرات روند شمال‌سو بوده است.



شکل ۴. توزیع مکانی میانگین سرعت رودباد جنب حاره در فصل پاییز طی دوره زمانی ۱۳۳۰-۱۳۸۹

**فصل زمستان:** در این فصل، نتایج بررسی روند در منطقه مورد نظر حاکی از آن است که حدود ۱۰ درصد پهنه دارای روند معنی‌داری بوده است؛ به طوری که در مناطق مرکزی و شرقی کشور و نیز افغانستان، پاکستان و هند بین ۳ تا ۶ متربرثانیه افزایش سرعت در دوره رخ داده است. بررسی روند محور نیز معنی‌داری آن را در ۸/۱ درصد پهنه نشان داده است. همان‌گونه که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، در شرق ایران، افغانستان، پاکستان و هند تغییرات محور شرق سو بوده است. تنها در بخش کوچکی از جنوب خلیج فارس تغییرات شمال سو رخ داده است.



شکل ۵. توزیع مکانی میانگین سرعت رودباد جنب حاره در فصل زمستان طی دوره زمانی ۱۳۳۰-۱۳۸۹

## بحث و نتیجه‌گیری

نتایج تحلیل توصیفی رودباد جنب حاره در این پژوهش بیان‌کننده وجود دو هسته در رودباد جنب حاره در منطقه مورد بررسی است؛ یک هسته بر فراز چین و هسته دیگر در شمال آفریقا. این دو هسته در فصل بهار دارای سرعت متوسط ۴۶ متربرثانیه بوده؛ اما فراوانی وقوع هسته در شرق چین بیش از شمال آفریقا بوده است. در تابستان، مقدار سرعت کاسته شده، در هر دو هسته به ۴۰ متربرثانیه می‌رسید. در پاییز و زمستان، متوسط رودباد در شرق چین حدود ۱۰ متربرثانیه بیشتر از شمال آفریقا بوده است. در پاییز، فراوانی وقوع در شمال آفریقا حدود ۳۰ درصد کمتر از شرق چین بوده و این در حالی است که در زمستان فراوانی هر دو هسته مشابه بوده است. در فصل سرد بیشینه سرعت و در فصل گرم کمینه سرعت رودباد رخ داده است. هسته رودباد جنب حاره در سه فصل بهار، پاییز و زمستان، به‌طور تقریبی در عرض ۲۷/۵ درجه شمالی مستقر بوده؛ در صورتی که در فصل تابستان این هسته بر فراز دریاچه آرال در عرض ۴۵ درجه شمالی قرار می‌گرفته است.

از آنجایی که در فصل سرد سال تاوه قطبی دارای حرکات جنوب‌سوست، موجب رانده شدن رودباد به عرض‌های جنوبی می‌شود. در فصل سرد، اختلاف شدید دمایی موجود در توده هوای حاره‌ای و توده هوای عرض‌های میانه سبب تشدید سرعت رودباد می‌شود. همچنین، در فصل سرد سال حاکمیت هوای سرد در جو به‌سبب سنگینی آن و وجود گرادیان شدید ارتفاعی در این توده هوا، موجب افزایش گستره ارتفاعی رخداد آن می‌شود. در فصل گرم سال، عقب‌نشینی تاوه قطبی به عرض‌های شمالی‌تر سبب پیشروی شمال‌سو در رودباد جنب حاره می‌شود. از طرفی یکنواختی دمایی در فصل گرم در مناطق حاره و عرض‌های میانی، بسیار بیشتر از فصل سرد است که این خود سبب کاهش سرعت می‌شود. گرمایش توده هوا در این فصل همراه با افزایش حجم، کاهش چگالی و افزایش ضخامت آن خواهد بود؛ به‌همین دلیل، موجب رخداد رودباد در ارتفاعات بالاتر جو می‌شود.

هسته شمال آفریقا با توجه به موقعیت قرارگیری آن، هسته تأثیرگذار بر آب‌وهوای کشور محسوب می‌شود؛ به‌همین دلیل، تغییرات این هسته در دهه‌های مختلف نیز بررسی شد. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که در فصل بهار، بیشترین گسترش هسته رودباد در دهه پنجم (۱۳۷۰-۱۳۸۰) رخ داده است. به‌گونه‌ای که هم‌سرعت‌های مربوط به هسته تا عرض ۴۱ درجه شمالی رسیده است. در دهه ششم نیز از سرعت این هسته کاسته شده است. در فصل تابستان، بیشینه گسترش متوسط رودباد در دهه چهارم رخ داده که به ۵۲ درجه شمالی رسیده است. در دهه پنجم، هسته تقریباً از بین رفته است؛ زیرا در این دهه، در حالت متوسط هم‌سرعت بسته که نشان‌دهنده هسته بوده، تشکیل نشده است. در فصل تابستان، در دهه پنجم تغییر بسیار مهمی در جایگاه مرکز متوسط هسته رخ داده است. این هسته بر فراز سیستان و دهلی نمود یافته است. در این دهه، بیشترین گسترش نیز در رودباد مشاهده شده است. در فصل زمستان تغییر چشمگیری مشاهده نشده است. به‌طور کلی، می‌توان گفت بیشترین تغییرات رودباد در دهه پنجم دوره مورد بررسی رخ داده است.

نتایج بررسی روند در چهار فصل سال نشان داده که در منطقه مورد بررسی مقدار معنی‌داری روند برای فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان به‌ترتیب، ۱۰، ۲/۹، ۱۱ و ۱۰ درصد بوده است. در فصل بهار، در مناطق هسته رودباد و ورودی راست و چپ آن مقدار روند بین ۰/۰۵- تا ۰/۱۵- بوده است؛ به‌عبارتی سرعت رودباد در ۶ دهه مورد بررسی در

سطح اطمینان ۹۵ درصد، حدود ۳-۹ متربرثانیه کاهش یافته است. با توجه به اطلاعات حاصل از نقشه‌های متوسط سرعت در دهه‌های مختلف، به نظر می‌رسد این تغییر سرعت در دو دهه آخر نسبت به دهه‌های قبل بیشتر بوده است. روند سرعت در فصل پاییز نیز نشان داد که در این فصل روند منفی در ورودی راست و چپ هسته حدود ۶ متربرثانیه کاهش سرعت داشته است. به‌طور کلی، مطابق نتایج، کاهش شدت پاییزه، بهار و تابستانه رودباد جنب حاره در سده آینده در سطح اطمینان ۹۵ درصد پیش‌بینی می‌شود. از طرفی، بررسی روند در مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری رودباد در فصل‌های مختلف نشان داد که تغییرات شمال‌سو به‌ترتیب در بهار، تابستان، پاییز و زمستان  $۱۰/۶$ ،  $۲/۵$ ،  $۸/۴$  و  $۰/۷$  درصد منطقه مورد بررسی را تحت پوشش قرار داده است. تغییرات شمال‌سو در فصل بهار بیشینه درصد رخداد نسبت به دیگر فصل‌ها را داشته است. این در حالی است که بیشینه تغییرات شرق‌سو در فصل زمستان رخ داده است. در این فصل،  $۷/۴$  درصد منطقه دارای روند شرق‌سو بوده است؛ اما در سه فصل دیگر مقدار این تغییرات کمتر از ۵ درصد بوده است. همزمان با تغییرات نصف‌النهاری رودباد، تضعیف هسته و افزایش گستره فعالیت آن محتمل است. نتایج پژوهش آرچر و کالدرا (۲۰۰۸) درباره روند رودبادها که اولین بررسی روند رودباد در دنیا است، نشان از ضعیف شدن رودبادهای نیمکره شمالی داشته است. این پژوهش تنها دو فصل تابستان و زمستان را بررسی کرده بود. نتایج ایشان نتایج پژوهش حاضر را مبنی بر کاهش سرعت رودباد تأیید می‌کند. از سوی دیگر، مطابق نتایج بررسی هودسن (۲۰۱۲)، محور رودباد جنب حاره دارای تغییرات شمال‌سو بوده است. پژوهش حاضر به‌صورت جزئی‌تر و با تأکید بر هسته متوسط انجام گرفته و به تغییرات تمام فصل‌ها در دوره زمانی طولانی‌تری توجه کرده است.

به‌طور کلی، در فصل‌های بهار، پاییز و زمستان تغییرات روند سرعت و محور رودباد جنب حاره نسبت به فصل تابستان، پهنه بیشتری را در بر گرفته است. این تغییرات که در فصل‌های یادشده در امتداد محور رودباد و در نواحی چهارگانه هسته به‌وقوع پیوسته است، اهمیت بسیار زیادی در پژوهش‌های اقلیمی کشور دارد. برای نمونه می‌توان به نقش دینامیکی هسته رودباد در تراز مورد بررسی در رشد سامانه‌های باران‌زا (مسعودیان، ۱۳۸۷) اشاره کرد. افزون بر آن، وجود تغییرات نصف‌النهاری در فصل بهار و پاییز، تقویت پدیده‌های مهم نظیر بارش‌های سنگین و گردوغبارهای شدید در بخش‌های غرب و شمال‌غرب کشور را کمک می‌کند؛ زیرا مسیر هسته این رودباد به‌گونه‌ای است که رطوبت (از دریای مدیترانه و دریای سرخ) و گردوغبار (از منابع ایجاد غبار در شمال آفریقا، عربستان و عراق) را انتقال می‌دهد.

## منابع

- امیدوار، ک. (۱۳۸۹). آب‌وهواشناسی همدیدی، یزد: انتشارات دانشگاه یزد.
- ترابی، ع. (۱۳۵۵). جت‌استریم روی ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد هواشناسی، تهران: دانشگاه تهران.
- خورانی، ا. (۱۳۸۴). تعیین موقعیت جت در رابطه با سامانه‌های بارشی غرب کشور در دوره زمانی ۱۹۹۹-۱۹۹۰، پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی و برنامه‌ریزی محیطی، به‌راهنمایی منوچهر فرج‌زاده‌اصل و حسن لشکری، تهران: دانشگاه تربیت مدرس، گروه جغرافیا.
- زرین، آ. و مفیدی، ع. (۱۳۸۴). وردش‌پذیری فعالیت خورشیدی و اثر آن بر اقلیم زمین (مطالعه موردی: اقلیم خاورمیانه و ایران)، فصل‌نامه جغرافیایی سرزمین، سال ۲، شماره ۸، ص. ۸۳-۱۰۴.

- عابدینی، ی.؛ ذوالفقاری نیک‌انجام، س. و بیرانوند، آذر. (۱۳۹۱). تحلیل آلودگی هوای شهر زنجان با استفاده از مدل‌های هواشناسی و رابطه آن با جت‌استریم جنب حاره (مطالعه موردی: طوفان گردوغبار ۱۳۸۸/۱۲/۰۴)، اولین همایش ملی حفاظت و برنامه‌ریزی محیط زیست، ۱۳ اسفند ۱۳۹۱، همدان.
- عزیزی، ق. و سفراد، ط. (۱۳۹۱). تحلیل ویژگی‌های رودباد طی فازهای ENSO (مطالعه موردی: سال‌های ۱۹۹۷، ۲۰۰۸، ۲۰۱۰)، نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، سال ۳، شماره ۹، ص. ۶۹-۸۲.
- عساکره، ح. (۱۳۹۰). مبانی اقلیم‌شناسی آماری، زنجان: انتشارات دانشگاه زنجان.
- علیجانی، ب. و هوشیار، م. (۱۳۸۷). شناسایی الگوهای سینوپتیکی سرماهای شدید شمال غرب ایران، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۶۵، ص. ۱-۱۶.
- علیجانی، ب. (۱۳۷۴). آب‌وهوای ایران، تهران: انتشارات دانشگاه پیام‌نور.
- فرج‌زاده‌اصل، م.؛ لشکری، ح. و خورانی، ا. (۱۳۸۶). تحلیل موقعیت رودباد در رابطه با سامانه‌های بارشی غرب کشور (استان‌های ایلام و کرمانشاه)، مجله مدرس، دوره ۱۱، شماره ۵۳، ص. ۲۳۹-۲۵۶.
- کاظم‌پور، ع.ر. (۱۳۵۷). بررسی حالات خاص رودبادها روی ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد هواشناسی، تهران: دانشگاه تهران.
- کاویانی، م.ر. و علیجانی، ب. (۱۳۸۵). مبانی آب‌وهواشناسی، تهران: سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها.
- مرادی، م. (۱۳۹۰). مقدمه‌ای بر هواشناسی دینامیکی ۱، انتشارات سیدباقر حسینی.
- مسعودیان، ا. (۱۳۹۰). آب و هوای ایران، انتشارات شریعه توس، اصفهان، ۱۳۹۰.
- معصومی، ا. (۱۳۹۱). مطالعه پارامترهای فیزیکی هواویزهای جو زنجان با استفاده از اندازه‌گیری‌های شیدسنج خورشیدی، داده‌های ماهواره‌ای و مدل‌های هواشناسی HYSPLIT و NCAP/NCAR، پایان‌نامه دکتری فیزیک، به‌راهنمایی محمدرضا خالصی فرد، زنجان: دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه (گاوازنگ-زنجان).
- مفیدی، ع. و زرین، آ. (۱۳۸۴). بررسی سینوپتیکی تأثیر سامانه‌های کم‌فشار سودانی در وقوع بارش‌های سیل‌زا در ایران، مجله تحقیقات جغرافیایی، شماره ۸۸، ص. ۱۱۳-۱۳۹.
- Abedini Y.A., Zolfaghari S. and Beyranvand A., 2013, **The Analysis of Air Pollution at Zanjan City With Use from Meteorology Models and Relationship with Subtropical Jetstream, The 1<sup>st</sup> National Symposium Environmental Planning**, Hamedan.
- Alijani B., 1995, **Climate of Iran**, Tehran: Piam Nour University.
- Alijani B., Houshyar M., 2008, **Identify Synoptic Patterns of Drastic Colds in North-West of Iran**, Journal of Research of Natural Geography, No. 65, pp. 1-16.
- Archer, C.L. and Caldeira, K., 2008, **Historical trends in the jet Streams**, Geophys. Res. Lett., 35, L08803.
- Asakereh .H, 2011, **Fundamentals of Statistical Climatology**, Zanjan: Zanjan University [In Persian].
- Azizi GH. and Safarrad T., 2013, **Analysis of Jet Stream's traits in phases of ENSO**, Research of Climatology, No 9, pp. 69-82.
- Baldi, M., Dalu, G., Maracchi, G., Pasqui, M. and Cesarone, F., 2006, **Heat Waves in the Mediterranean: A Local Feature or a Larger-Scale Effect?**, International Journal of Climatology, Int.J.Climatol.26, 1477-1487.
- Eicher, T. and Higgins, W., 2005, **Climatology and ENSO-Related Variability of North American Extratropical Cyclone Activity**. Journal of Climate, No. 19, pp. 2076-2093.
- Farajzadehasl M., Lashkari H. and Khorani, A., 2005, **Analysis of Jet Stream Position in Relation to rainfall Systems in West Iran (provinces of Ilam and Kermanshah Stations)**, Journal of Modares, No. 53, pp. 239-256.
- Hudson, R.D., 2012, **Measurements of the movement of the jet streams at mid-latitudes**, in the Northern and Southern Hemispheres, 1979 to 2010, Atmos. Chem. Phys, No. 12, pp. 7797-7808.

- Johnson, D.H. and Daniels, S. M., 1954, **Rainfall in relation to the jet stream**, Quarterly Journal of The Royal Meteorological Society, No. 80, pp. 212-217.
- Kavyani M. and Alijani B., 2006, **The Foundations of Climatology**, 12st edition Tehran: SAMT. Organization, [In Persian].
- Kazempour A., 1979, **Jet Stream Over Iran**, Thesis Submitted For The Award of M. S Degree In Meteorology, Supervisors: Prof. P. Koteswaram, Ph. D Khirandish, Ph. D. A. Zand. Tehran: University Geophysics College.
- Khorani, A., 2005, **Jet Stream Positioning associated with the rainfall Systems West of Country in the period 1990-1999**, Thesis Submitted For the Degree of M. S Degree in Climatology, Supervisors: Ph. D M. Farajzadehasl, Ph. D. H. Lashkari, Tehran: Tarbeyat Modares University.
- Lewis, J. M., 2003, **Ooishi's Observation: Viewed in the Context of Jet Stream Discovery**. Bull. American Meteorological Society, No. 84, pp. 357° 369.
- Masoodian A., 2008, **Identification of synoptic conditions associated with rainfall Extreme in Iran**, 3<sup>rd</sup> Conference Management Water Sores Iran, 23 till 25 October 2008, Tabriz: University of Tabriz.
- Masoumi A., 2012, **Investigation of Physical Parameters of Aerosols in Atmosphere Measurements**, Satellite Data, HYSPLIT and NCEP/NCAR Models, Ph.D Thesis, Supervisor: Dr. Hamid Reza Khalesifard.
- Mofidi A., Zarin A., 2005, **Review Synoptic Effect SUDAN'S Low Presser Systems at Occurrence Rainfall in Iran**, Journal of Geography Research No. 88, pp. 113-139.
- Mohler, S.R., Bobby, H.J and Post, W., 1971, **His Winnie Mae, and the World's First Pressure Suit**, Smithsonian Institution Press, City of Washington.
- Moradi M., 2011, **An Introduction to Dynamic Meteorology 1**, Educational Center of Applied Science and Technology For Meteorological and Atmospheric Science of Tehran, Sayed Bagher Hossain.
- Omidvar, K., 2010, **Synoptic Climatology**, Yazd: University of Yazd.
- Prezerakos, N.G., Flocas, H.A. and Brikas, D., 2006, **the role of the subtropical jet in a case of depression rejuvenation over the Eastern Mediterranean interaction between polar; Meteorology Atmospheric Physics 92**, pp. 139° 151.
- Rodionov. Sergei and Assel, R., 2001, **A New Look at the Pacific/North American Index**, Geophysical Reserch Letters; No. 28, pp. 1519-1522.
- Seager, R., Harnik, N., Robinson, W.A., Kushnir, Y., Ting, M., Huang, H.P. and Velez, J., 2005, **Mechanisms of ENSO-forcing of Hemispherically Symmetric Precipitation Variability**, Q. J. R. Meteorol. Soc. No. 131, pp.1501° 1527.
- Strong, C. and Davis, R. E., 2007, **Variability in the Position and Strength of Winter Jet Stream Cores Related to Northern Hemisphere Teleconnections**, Journal Of Climate, No. 21.
- Torabi. A. L., 1976, **Jet Stream over Iran**, Thesis Submitted For the Degree of M. S Degree in Meteorology, Tehran: Tehran University Geophysics College.
- Woollngs, T. and Blackburn; M., 2012, **the North Atlantic Jet Stream under Climate Change and Its Relation to the NAO and EA Patterns**; Journal of Climate, No. 25, pp. 886-902.
- Xuejuan, R., Xiuqun, Y., Tianjun, Z. and Jiabei, F., 2010, **Diagnostic Comparison of Wintertime East Asian Subtropical Jet and Polar-Front Jet: Large-Scale Characteristics and Transient Eddy Activities**.
- Zarin A., Mofidi A., 2005, **Variation of solar activity and its effects on Earth's climate (Case Study: Climate in the Middle East and Iran)**, Geography of Land, No. 8, pp. 83-104.
- <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanaly>.