

محل شکل‌گیری و توزیع فضایی - زمانی کم‌ارتفاع‌های بریده موثر بر ایران

قاسم عزیزی^۱، محمد مرادی^۲، حسین رضایی^{۳*}

۱- دانشیار، آب و هواشناسی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲- استادیار، هواشناسی، پژوهشکده اقلیم‌شناسی، تهران، ایران

۳- استادیار، آب و هواشناسی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

چکیده

کم‌ارتفاع‌های بریده به عنوان یک کم‌ارتفاع بسته درورد سپهرمیانی و بالایی تعریف میشوند که به طور کامل از جریان اصلی بادهای غربی جدا شده‌اند. کم‌ارتفاع بریده یکی از پدیده‌های اثرگذار بر اقلیم ایران میباشد. هدف از این مقاله بررسی میزان این اثرگذاری در مناطق مختلف ایران در زمان‌های متفاوت میباشد. ویژگی‌های کم‌ارتفاع‌های بریده در ایران، برای دوره ۲۰۱۵-۱۹۷۶ مطالعه گردید. برای شناسایی این سیستم‌ها از الگوریتم رانولنیو، با قابلیت شناسایی خودکار، استفاده گردید. این الگوریتم از داده‌های میانگین روزانه ارتفاع ژئوپتانسیل ترازهای ۵۰۰ و ۶۰۰ هکتوپاسکال، باد مداری در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و دمای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، از پایگاه داده‌های مرکز ملی پژوهش‌های جوی ایالات متحده استفاده میکند. نتایج نشان داد که اصلی‌ترین مناطق شکل‌گیری کم‌ارتفاع‌های بریده موثر بر ایران در شرق، غرب و جنوب ترکیه، شرق مدیترانه و کشورهای سوریه و اردن می‌باشند. در این مطالعه ایران به چهار منطقه تقسیم گردید و فراوانی رخداد کم‌ارتفاع‌های بریده در این مناطق بررسی گردید. نتایج نشان داد که بیشترین فراوانی وقوع این سیستم‌ها در منطقه A (ربع شمال غرب ایران) و سپس در منطقه C (ربع شمال شرق) رخ داده است. همچنین مشخص گردید که بیشترین رخداد کم‌ارتفاع‌های بریده در مناطق A و C، در فصل بهار و در مناطق B (ربع جنوب غرب) و D (ربع جنوب شرق)، در فصل زمستان بوده است. توزیع سالانه کم‌ارتفاع‌های بریده در مناطق چهارگانه ایران نیز بررسی گردید بطوریکه در طول دوره آماری ۴۰ ساله، سال ۱۹۸۲ در هر چهار منطقه ایران، بیشترین فراوانی کم‌ارتفاع بریده رخ داده است.

کلید واژه‌ها: کم‌ارتفاع بریده، کم‌فشار بریده، سردچال، ایران

مقدمه

زمانی که یک ناوه هوای سرد به سمت استوا توسعه یافته و از منبع اصلی خود در عرض های بالاتر بریده می شود، یک گردش بسته چرخندی را در وردسپهر^۱ میانی و بالایی شکل داده که منجر به شکل گیری کم ارتفاع های بریده می گردد (Palmén and Newton, 1969). این سیستم ها عموماً در ترازهای میانی و بالایی، بوسیله کتورهای ژئوپتانسیل بسته در اطراف مرکز کم ارتفاع، قابل شناسایی هستند (Singleton (and Reason, 2007). سیستم های کم ارتفاع بریده، پیچکهای چرخندی بسته هستند که از جریان اصلی رودباد جدا شده اند (Nieto, 2007). پارکر و همکاران (Parker et al., 1989) با استفاده از داده های ارتفاع ژئوپتانسیل و دما در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان دادند که روند فراوانی کم ارتفاع های بریده در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در نیمکره شمالی از سال ۱۹۵۰ تا ۱۹۷۰ کاهش و از سال ۱۹۷۱ تا ۱۹۸۵ افزایش داشته است. کویی و همکاران (Qi et al., 1999) در بررسی کم ارتفاع های بریده موثر بر استرالیا، مسیرهای اصلی این سیستم ها را شمال شرق سو، شرق سو و جنوب شرق سو معرفی کردند. گوگت و همکاران (Gouget et al., 2000) سیر تکاملی یک کم ارتفاع بریده را بررسی و مکانیسم انتقال هوای پوش سپهر را به تروپوسفر مورد مطالعه قرار دادند. شابر و همکاران (Shabber et al., 2001) نشان دادند که وقتی NAO در فاز مثبت است یک جریان موجی شکل نصف النهاری تقویت شده (مناسب برای شکل گیری بندال^۲) در باند ۷۰ الی ۹۰ درجه غربی (ناحیه شدت رخداد کم ارتفاع بریده) وجود دارد. جیمنو و همکاران (Gimeno et al., 2007) رابطه زوال تاوه قطبی و رخداد کم ارتفاع بریده را در دوره ۱۹۹۸-۱۹۵۸ بررسی کردند و نشان دادند که در سالهایی که تاوه قطبی زودتر تخریب شده است، در عرض جغرافیایی پایین از ۴۵ درجه شمالی، فراوانی کم ارتفاع های بریده^۳ در بهار و تابستان بعدی بیشتر بوده است. نییتو و

همکاران (Nieto et al., 2008) مکانهای اصلی رخداد کم ارتفاع های بریده را در نیمکره شمالی، جنوب غرب اروپا، شمال شرق سواحل اقیانوس آرام و شمال چین و ناحیه سیبری معرفی کردند. چانگزی و همکاران (Chuanxi et al., 2013) خواص دینامیکی و شیمیایی کم ارتفاع بریده را در شمال شرق چین بررسی کردند. آنها اظهار داشتند که آنالیز ازن تروپوسفر شواهدی از انتقال و ترکیب هوای غنی از ازن استراتسفر به درون تروپوسفر بالایی و در ناحیه جلویی مرکز کم ارتفاع بریده در این محل را نشان می دهد. فاوره و همکاران (Favre et al., 2012) نشان دادند که در طول لانینا فراوانی کم ارتفاع های بریده در عرض های جغرافیایی پایتتر، بیشتر و در عرض های جغرافیایی بالاتر، کمتر است. اوکلی و ردمنون (Oakley and Redmond, 2014) اقلیم شناسی کم ارتفاع های بسته در شمال شرق اقیانوس آرام را در دوره ۲۰۱۱-۱۹۴۸ بررسی کردند. این محققین نشان دادند که فراوانی رخداد این سیستم ها در فازهای مثبت انسو بالاتر از میانگین است. در ایران عزیزی (۱۳۷۵) کم ارتفاع های بریده را زمانی که بیشتر از چند روز در یک مکان ماندگاری داشته باشند، بعنوان بندال معرفی نمودند. بنی هاشم و همکاران (۱۳۷۸)، عبور کم ارتفاع بریده در بیستم فوریه ۱۹۹۷ را از ایران بررسی کرده و چگونگی توسعه چرخند سطح زمین، تغییرات کمیتهایی چون تاوایی پتانسیل و حرکت قائم را مورد مطالعه قرار دادند. همچنین بنی هاشم و همکاران (۱۳۷۹)، همان کم ارتفاع بریده را از زاویه دیگری بررسی کرده و با محاسبه کمیتهای تاوایی نسبی، مطلق و پتانسیل و نیز سرعت قائم بر روی این سیستم کوشیدند الگویی برای آن ارائه دهند. امیدوار و همکاران (۱۳۸۹) بارش های سنگین ناشی از پدیده سردچال را با بررسی یک نمونه موردی در نواحی مرکزی و جنوب غربی ایران مطالعه نمودند. رضایی (۱۳۹۶) در رساله دکتری، نقش کم فشارهای بریده در بارش ایران را بررسی نمود و همچنین عزیزی، مرادی و رضایی (۱۳۹۷)

سردچال می باشد. با توجه به اینکه این مقاله در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال انجام شده و از داده های ارتفاعی استفاده می کند، لذا از واژه کم ارتفاع بریده استفاده گردیده است.

1. Troposphere

2. Cutoff high

۳. واژه Cutoff low در متون فارسی به صورت های مختلفی به کار بریده می شود، که از جمله کم فشار بریده، کم ارتفاع بریده و

- گردش سیکلونی بسته (منحنی بسته): این مرحله شامل شناسایی کمینه ارتفاع ژئوپتانسیل نقاط در سطوح مورد نظر است (۵۰۰ میلی بار). برای اینکار برای هر روز، نقاطی در شبکه که ارتفاع ژئوپتانسیل آنها حداقل از شش نقطه (از ۸ نقطه) اطرافشان کمتر باشند انتخاب شده، سپس آن نقاطی که تفاوت ارتفاع ژئوپتانسیل آنها با نقاط اطراف حداقل ده متر باشد، برای مرحله بعدی حفظ شده و بقیه از الگوریتم حذف می گردند.

- جدا شدن منحنی بسته از جریان مداری اصلی (بریدن): برای اینکار می بایست یک تغییر در جهت باد مداری در سطح مورد نظر اتفاق بیفتد. یعنی حداقل یکی از دو نقطه شمال سوی مجاور نقطه مورد نظر (نقطه مینیمم ارتفاع ژئوپتانسیل) می بایست جهت مخالف (علامت مخالف) داشته باشند.

- ضخامت معادل (Thickness): که همان ضخامت لایه اتمسفر بین دو سطح فشاری است. در یک کم ارتفاع بریده این مشخصه بوسیله یک ضخامت برجسته در جلو کم ارتفاع مشخص است. بنابراین در الگوریتم، ضخامت معادل شرق نقطه مرکزی می بایست از نقطه مرکزی بیشتر باشد. برای لایه ضخامت ۶۰۰-۵۰۰ هکتوپاسکال، تفاوت مقادیر ارتفاع ژئوپتانسیل این دو سطح، محاسبه شده و می بایست مقدار نقطه شرق نقطه مرکزی از نقطه مرکزی بیشتر باشد.

۴- پارامتر جبهه دمایی (TFP): که نشان دهنده تغییرات دما در امتداد خط گرادیان می باشد. در الگوریتم می بایست مقدار TFP شرق نقطه مرکزی از مقدار TFP نقطه مرکزی بیشتر باشد. زیرا کم ارتفاع های بریده بوسیله ناحیه ای با اختلاف فشار زیاد در جلوی کم ارتفاع که به یک باند ابر رو به جلو متصل است مشخص می شوند. تعریف ریاضی TFP بصورت زیر است (Nieto et al., 2005, 3088):

$$TFP = -\nabla | \nabla T | \cdot (\nabla T / |\nabla T|) \quad (1)$$

اولین بخش معادله $-\nabla | \nabla T |$ تغییر گرادیان دما و دومین بخش $(\nabla T / |\nabla T|)$ افزایش یا کاهش در جهت گرادیان دما را نشان می دهد.

در این تحقیق به منظور مطابقت بیشتر با آب و هوای ایران، فصل های سال بدین صورت تعریف شده است: زمستان شامل ماه های دسامبر، ژانویه و فوریه، بهار شامل ماه های

در مقاله ای، اقلیم شناسی کم ارتفاع های بریده موثر بر ایران و ارتباط آن با ENSO و NAO را بررسی نمودند. در این مقاله سعی شده است منشأ اصلی کم ارتفاع های بریده ای که بر ایران اثر گذار هستند، و همچنین توزیع فضایی و زمانی این سیستم ها در مناطق مختلف ایران بررسی گردد. با توجه به اینکه کم ارتفاع های بریده در آب و هوای ایران خصوصاً در بارش ها نقش مهمی دارند، لذا هدف از این مقاله بررسی و شناخت نحوه تاثیر گذاری این سامانه ها در مناطق مختلف ایران می باشد.

مواد و روشها

داده ها برای یه دوره ۴۰ ساله (۱۹۷۶ تا ۲۰۱۵) از مرکز ملی پژوهش های جوی در شبکه های ۲/۵ در ۲/۵ درجه برای محدوده عرض جغرافیایی ۱۰ تا ۶۰ درجه شمالی و طول جغرافیایی صفر تا ۸۰ درجه شرقی استخراج گردید. در این تحقیق بررسی کم ارتفاع های بریده در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال انجام گرفت. جهت شناسایی کم ارتفاع های بریده، از روش نی یتو و همکاران (Nieto et al., 2005) و رویوتا و همکاران (Reboita et al., 2010) استفاده گردید. مطابق با این روش، برای اینکه یک سیستم کم ارتفاع بریده لحاظ گردد، می بایست حائز چهار ویژگی بوده که در ادامه به آن پرداخته شده است. لذا الگوریتمی توسط نرم افزار متلب نوشته شد تا پس از دریافت داده ها، با بررسی شرایط مندرج در الگوریتم بصورت خودکار سیستمهای کم ارتفاع بریده را شناسایی کند.

داده های مورد استفاده

داده های استفاده شده در این الگوریتم برای شناسایی کم ارتفاع های بریده شامل ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز ۵۰۰ و ۶۰۰ هکتوپاسکال، و همچنین ضخامت بین این دو سطح، باد مداری L در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و در نهایت دما در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال می باشند.

الگوریتم شناسایی

در این الگوریتم کم ارتفاع بریده می بایست حائز چهار ویژگی باشد، که این ویژگی ها به شرح ذیل می باشند (Nieto et al., 2005):

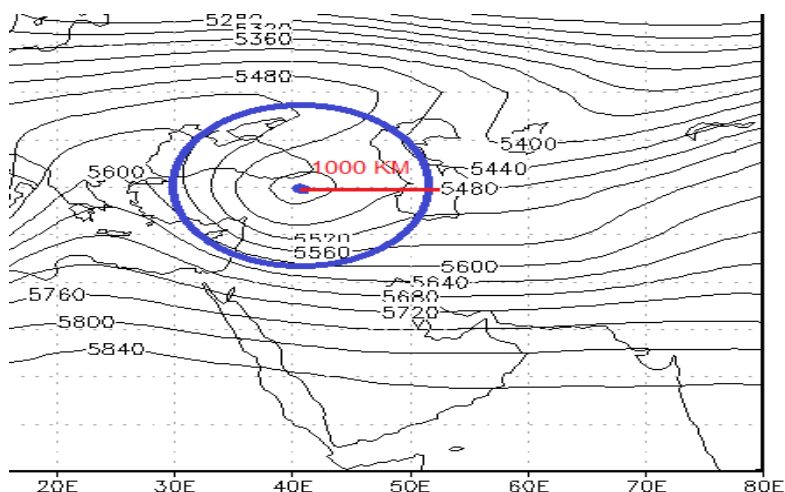
۲- مناطقی از ایران، در شعاع ۱۰۰۰ کیلومتری (یا ۱۰ درجه طول و عرض جغرافیایی) از مرکز کم ارتفاع بریده، قرار داشته باشد.

در این مرحله از بررسی دستی نقشه ها و نرم افزار GIS استفاده گردید.

مارس، آپریل و می، تابستان شامل ماه های ژوئن، ژوئیه و اوت، پاییز شامل ماه های سپتامبر، اکتبر و نوامبر.

در خصوص روش شناسایی کم ارتفاع های بریده موثر بر ایران، سیستم هایی اثرگذار بر ایران معرفی شدند، که دارای حداقل یکی از شرایط ذیل باشند (شکل ۱):

۱- تمام یا قسمتی از منحنی بسته کم ارتفاع بریده بر روی بخشی از ایران قرار گرفته باشد.



شکل ۱- نمونه ای از یک کم ارتفاع بریده موثر بر ایران (۱۵ ژانویه ۱۹۸۰)

اهمیت است. جرال و بوسارت (Gerald and Bosart, 1989) در تحقیقی در خصوص اقلیم شناسی کم ارتفاع های بریده در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در نیمکره شمالی، مراکز اصلی این سیستم ها را در فصول مختلف در اروپا، آسیای مرکزی و خاورمیانه به صورت زیر نشان دادند:

زمستان: غرب ترکیه، جنوب غرب ایتالیا، شمال روسیه و محدوده دریاچه آرال

بهار: غرب ترکیه، جنوب ایتالیا، غرب تنگه جبل الطارق، شمال روسیه و محدوده دریاچه آرال

تابستان: از ایتالیا تا یونان، شمال دریای سیاه، مرکز روسیه و غرب تنگه جبل الطارق

پاییز: جنوب ایتالیا، غرب تنگه جبل الطارق، شمال روسیه و محدوده دریاچه آرال

با توجه به مشخص شدن منشا کم ارتفاع های بریده موثر بر ایران و ارائه نقشه های آن در ذیل، مشاهده می گردد که کم ارتفاع های بریده ای که منشا آنها تنگه جبل الطارق می

بعد از شناسایی مراکز کم ارتفاع بریده توسط الگوریتم در طول دوره ۴۰ ساله و تفکیک کم ارتفاع های بریده موثر و غیر موثر بر ایران، محل شکل گیری هر سیستم و فراوانی رخداد آنها در مناطق مختلف ایران و در فصول مختلف شناسایی گردید.

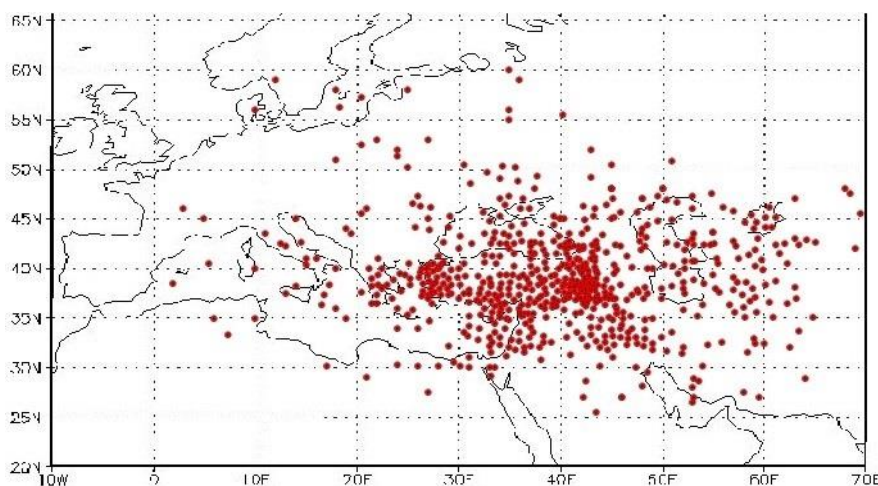
یافته های تحقیق

محل شکل گیری

شکل ۲ پراکندگی منشا کم ارتفاع های بریده موثر بر ایران را نشان می دهد. مطابق نقشه، مناطق بیشینه پیدایش این سیستم ها که بر ایران تاثیر دارند، یونان، شرق، غرب و جنوب ترکیه، مرکز و شرق دریای سیاه، خزر، شرق مدیترانه، اردن، سوریه و عراق میباشند. با توجه به همدید بودن مقیاس کم ارتفاع های بریده و جابجایی قابل توجه آنها، انتظار می رود محل شکل گیری و زایش این سیستم ها اغلب در خارج از ایران باشد. لذا شناخت مکان های زایش و حرکت اصلی این سیستم ها در اروپا و خاورمیانه حائز

مشخص است در فصل زمستان، منطقه اصلی زایش این سیستم‌ها، مرز ایران و ترکیه، مرز ایران و عراق، شمال شرق ترکیه، شمال سوریه، لبنان، غرب ترکیه و شرق مدیترانه می‌باشند. در این فصل، با توجه به عبور بادهای غربی از تمام مناطق کشور از جمله جنوب کشور، منشا کم ارتفاع‌های بریده‌در عرض‌های پایین حدود ۲۷ درجه شمالی قرار دارد. شکل ۴ پراکندگی منشا کم ارتفاع‌های بریده موثر بر ایران را در فصل بهار نشان می‌دهد. مطابق با شکل در فصل بهار، منطقه اصلی زایش این سیستم‌ها، مرز ایران و ترکیه، جنوب شرق ترکیه، غرب ترکیه و شرق مدیترانه می‌باشند. در این فصل، منشا کم ارتفاع‌های بریده به عرض‌های پایین حدود ۲۵ درجه شمالی هم رسیده است.

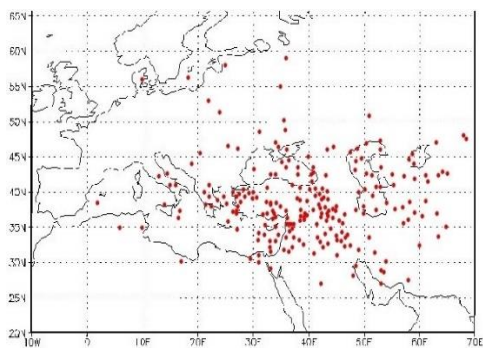
باشند، قبل از رسیدن به ایران به زوال می‌رسند و تاثیری بر ایران ندارند. همچنین کم ارتفاع‌های بریده با منشا شمال روسیه، شمال، مرکز و غرب اروپا و جنوب ایتالیا نیز چنین وضعیتی دارند و تعداد بسیار محدودی از آنها در نواحی اخیر بر ایران اثر دارند. از دیگر مراکز زایش این سیستم‌ها (ذکر شده توسط جرال و بوسارت)، منطقه‌ای به مرکزیت دریاچه آرال بوده، که این سیستم‌ها معمولاً با حرکت عقب‌گرد (غرب سو) مناطق شمال شرقی ایران را تحت تاثیر قرار می‌دهند. این کم ارتفاع‌های بریده در آرال و مناطق جنوبی آن پراکنده هستند. به منظور تحلیل دقیقتر، منشا کم ارتفاع‌های بریده موثر بر ایران، به صورت فصلی تفکیک گردیده است. شکل ۳ پراکندگی منشا کم ارتفاع‌های بریده موثر بر ایران را در فصل زمستان نشان می‌دهد. همانطور که



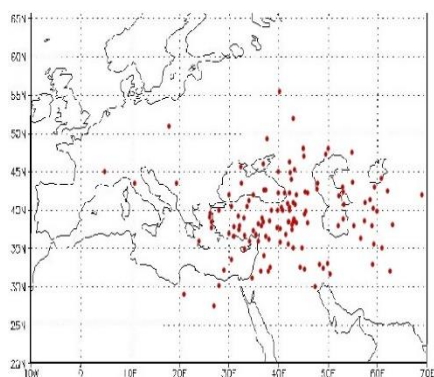
شکل ۲- محل شکل‌گیری کم ارتفاع‌های بریده موثر بر ایران

۶ پراکندگی منشا کم ارتفاع‌های بریده موثر بر ایران را در فصل پاییز نشان می‌دهد. مطابق با شکل در فصل پاییز، منطقه اصلی زایش این سیستم‌ها، شرق، مرکز و غرب ترکیه می‌باشند. در این فصل نیز نسبت به فصل‌های زمستان و بهار، تعداد کم ارتفاع‌های بریده موثر بر ایران کمتر است.

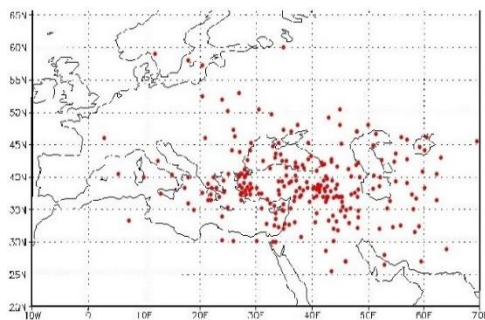
شکل ۵ پراکندگی منشا کم ارتفاع‌های بریده موثر بر ایران را در فصل تابستان نشان می‌دهد. در فصل تابستان، منطقه اصلی محل شکل‌گیری این سیستم‌ها، جنوب شرق ترکیه و شرق دریای سیاه می‌باشند. در این فصل، منشا این سیستم‌ها در عرض‌های بالاتری قرار داشته و تعداد کم ارتفاع‌های بریده اثر گذار بر ایران نیز محدود است. شکل



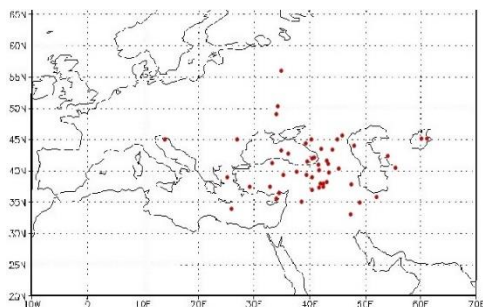
شکل ۴- منشأ کم ارتفاع های بریده موثر بر ایران در فصل بهار



شکل ۶- منشأ کم ارتفاع های بریده موثر بر ایران در فصل پاییز



شکل ۳- منشأ کم ارتفاع های بریده موثر بر ایران در فصل زمستان



شکل ۵- منشأ کم ارتفاع های بریده موثر بر ایران در فصل تابستان

توزیع مکانی

بریده در اروپا می‌باشند، این سیستم‌ها اکثراً شمال غرب و غرب ایران را تحت تاثیر قرار می‌دهند. لذا این منطقه از کشور، محل اصلی عبور و تاثیر گذاری این سیستمها بوده و بیشترین فراوانی را دارد. بعد از آن منطقه C (ربع شمال شرق) با عبور ۲۸۳ کم ارتفاع بریده قرار دارد. همانطور که اشاره گردید ممکن است به سیستم کم ارتفاع بریده بیش از یک منطقه از ایران را تحت تاثیر قرار دهد. لذا اینگونه سیستم‌ها برای هر منطقه یک بار شمارش می‌شوند.



شکل ۸- توزیع مکانی کم ارتفاع های بریده در ایران

با توجه به اینکه مسیرهای اصلی کم ارتفاع های بریده در عرض‌های بالاتر (عرض جغرافیایی ۴۰ تا ۶۰) قرار دارند، لذا منطقه C (ربع شمال شرق) کشور که در عرض جغرافیایی بالاتری نسبت به مناطق B و D قرار دارد، بیشتر تحت تاثیر این سیستم‌ها قرار می‌گیرد. همچنین این منطقه تحت تاثیر کم ارتفاع های بریده منطقه آرال، که یکی از مناطق مهم زایش این سیستم‌ها می‌باشد، قرار می‌گیرد. بطوریکه کم ارتفاع های بریده آرال، بر دیگر مناطق ایران تاثیر گذاری کمتری دارند. منطقه B کشور (ربع جنوب غرب)، با تعداد ۱۶۲ کم ارتفاع بریده، رتبه بعدی را از لحاظ فراوانی دارد، که با توجه به جنوبی تر بودن عرض جغرافیایی، این تعداد اندک، قابل درک است. در نهایت منطقه D (ربع جنوب شرق کشور) با ۸۷ کم ارتفاع بریده در طول دوره ۴۰ ساله، کمترین فراوانی را دارد. دوری این منطقه از کشور، از بادهای غربی و مسیرهای عبور شمالی و همچنین مسیرهای غربی کم ارتفاع های بریده، باعث گردیده تا کمترین اثر گذاری این سیستم‌ها را در کشور به خود اختصاص دهد.

برای مطالعه دقیقتر تاثیر کم ارتفاع های بریده بر ایران، دانستن اینکه چه مناطقی از ایران بیشتر و یا کمتر، تحت تاثیر این سیستم‌ها قرار می‌گیرند، ضرورت می‌یابد. لذا ایران را می‌بایست به مناطق کوچکتر تقسیم نمود. در تحقیق حاضر، ایران به چهار منطقه تقسیم گردید (شکل ۷). این مناطق به گونه‌ای تقسیم شده‌اند که از نظر طول و عرض جغرافیایی نسبت‌های برابری داشته و همچنین تعداد سیستم‌های موجود در بیش از یک منطقه را به حداقل برسانند. تقسیم بندی مناطق بصورت ذیل می‌باشد:

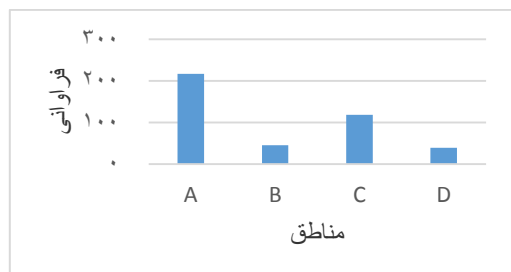
منطقه A (ربع شمال غرب): طول جغرافیایی ۴۴ تا ۵۴ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲/۳۰ تا ۴۰ درجه شمالی
 منطقه B (ربع جنوب غرب): طول جغرافیایی ۴۴ تا ۵۴ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۵ تا ۳۲/۳۰ شمالی
 منطقه C (ربع شمال شرق): طول جغرافیایی ۵۴ تا ۶۴ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲/۳۰ تا ۴۰ درجه شمالی
 منطقه D (ربع جنوب شرق): طول جغرافیایی ۵۴ تا ۶۴ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۵ تا ۳۲/۳۰ شمالی
 در مواردی که یک سیستم کم ارتفاع بریده بطور همزمان در بیش از یک منطقه حضور داشت، برای هر منطقه یک بار شمارش گردید.



شکل ۷- تقسیم بندی ایران به مناطق چهار گانه

شکل ۸ توزیع کم ارتفاع های بریده با عمر حداقل یک روز در طول دوره آماری ۲۰۱۵-۱۹۷۶ را برای مناطق چهارگانه نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است، از مجموع ۶۲۸ کم ارتفاع بریده که در طول دوره ۴۰ ساله بر ایران اثر گذار بوده‌اند، ۵۵۲ کم ارتفاع بریده، منطقه A (ربع شمال غرب کشور) را تحت تاثیر قرار داده‌اند. با توجه به اینکه دریای سیاه و ترکیه یکی از مسیرهای اصلی عبور کم ارتفاع های

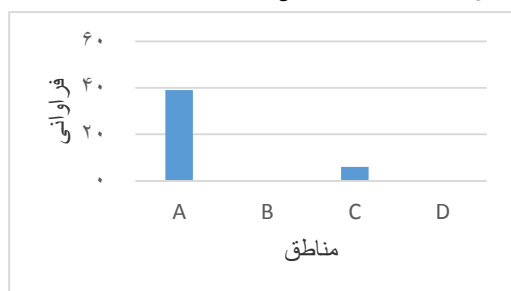
که در فصل بهار بر ایران اثر گذار بوده اند، ۲۱۷ کم ارتفاع بریده، منطقه A (ربع شمال غرب کشور) را تحت تاثیر قرار داده اند. بعد از آن منطقه C (ربع شمال شرق) با عبور ۱۱۸ کم ارتفاع بریده قرار دارد. مناطق B و D با ۴۵ و ۳۹ رخداد کمترین میزان را دارند.



شکل ۱۰- توزیع مکانی کم ارتفاع های بریده در ایران در

فصل بهار

شکل ۱۱ فراوانی کم ارتفاع های بریده با عمر حداقل یک روز در فصل تابستان، در طول دوره آماری ۴۰ ساله را برای مناطق چهارگانه نشان می دهد. فصل تابستان کمترین تعداد کم ارتفاع بریده را نسبت به فصل های دیگر دارد. بطوریکه از مجموع ۴۱ کم ارتفاع بریده که در فصل تابستان بر ایران اثر گذار بوده اند، ۳۹ کم ارتفاع بریده، منطقه A (شمال غرب کشور) را تحت تاثیر قرار داده اند. بعد از آن منطقه C (شمال شرق) با عبور ۶ کم ارتفاع بریده قرار دارد. در این فصل مناطق B و C کشور شاهد حضور هیچ سیستم کم ارتفاع بریده نبوده اند. که دلیل آن عدم حضور بادهای غربی در این منطقه کشور در فصل تابستان است.



شکل ۱۱- توزیع مکانی کم ارتفاع های بریده در ایران در

فصل تابستان

شکل ۱۲ فراوانی کم ارتفاع های بریده با عمر حداقل یک روز در فصل پاییز را برای مناطق چهارگانه نشان می دهد. از مجموع ۱۲۴ کم ارتفاع بریده که در فصل پاییز در طول دوره ۴۰ ساله بر ایران اثر گذار بوده اند، ۱۰۷ کم ارتفاع

بررسی فصلی کم ارتفاع های بریده در مناطق چهار

گانه ایران

به منظور مطالعه دقیقتر توزیع مکانی کم ارتفاع های بریده در مناطق چهارگانه تعریف شده فوق، توزیع مکانی این سیستم ها را بصورت فصلی بررسی می کنیم. شکل ۹ فراوانی کم ارتفاع های بریده با عمر حداقل یک روز در فصل زمستان، در طول دوره آماری ۱۹۷۶-۲۰۱۵ را برای مناطق چهارگانه نشان می دهد. از مجموع ۲۲۵ کم ارتفاع بریده که در فصل زمستان در طول دوره ۴۰ ساله بر ایران اثر گذار بوده اند، ۱۹۵ کم ارتفاع بریده، منطقه A (ربع شمال غرب کشور) را تحت تاثیر قرار داده اند. بعد از آن منطقه C (ربع شمال شرق) با عبور ۱۱۲ کم ارتفاع بریده قرار دارد. منطقه B کشور (ربع جنوب غرب)، با تعداد ۹۱ کم ارتفاع بریده، و در نهایت منطقه D (ربع جنوب شرق کشور) با ۴۳ کم ارتفاع بریده در طول دوره ۴۰ ساله، کمترین فراوانی را دارند. توزیع مکانی کم ارتفاع های بریده در فصل زمستان همانند توزیع سالانه آن می باشد.



شکل ۹- توزیع مکانی کم ارتفاع های بریده در ایران در فصل

زمستان

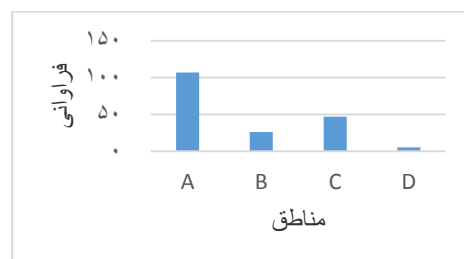
شکل ۱۰ فراوانی کم ارتفاع های بریده با عمر حداقل یک روز در فصل بهار، در طول دوره آماری ۴۰ ساله را برای مناطق چهارگانه نشان می دهد. فصل بهار بیشترین تعداد کم ارتفاع بریده را نسبت به فصل های دیگر دارد. که با تعاریف شکل گیری سیستم های کم ارتفاع بریده مبنی بر تضعیف رودباد در فصل بهار سازگار است. مطالعات نشان می دهد که تغییرات فصلی کم ارتفاع بریده با رودباد مرتبط است، بطوریکه کم ارتفاع های بریده بیشتر وقتی تمایل به شکل گیری دارند که رودباد ضعیف است (Ndarana and Waugh, 2010). بطوریکه از مجموع ۲۴۰ کم ارتفاع بریده

مقایسه فصلی توزیع منطقه ای کم ارتفاع های بریده

شکل های ۱۳ و ۱۴ توزیع فصلی فراوانی کم ارتفاع های بریده را در مناطق چهار گانه ایران نشان می‌دهند. مطابق شکل ۱۳ در هر چهار فصل، منطقه ای که بیشترین فراوانی کم ارتفاع های بریده را دارد، منطقه A (ربع شمال غرب) می باشد. که همانطور که اشاره شد، دلیل آن قرار گرفتن بیشتر ربع شمال غرب در مسیرهای اصلی کم ارتفاع های بریده شامل ترکیه، دریای سیاه و شرق مدیترانه می باشد. بعد از آن در هر ۴ فصل، منطقه C (ربع شمال شرق) دارای بیشترین فراوانی می باشد. با این تفاوت که در فصل زمستان اختلاف فراوانی مناطق C و B کمتر از فصلهای بهار و پاییز است. بالا بودن تعداد کم ارتفاع های بریده در منطقه C نیز به دلیل شمالی تر بودن عرض جغرافیایی این منطقه نسبت به مناطق B و D و نزدیکی به مسیرهای عبور کم ارتفاع های بریده که عموماً در عرض های بالاتری حرکت می کنند، می باشد. همچنین منطقه C به یکی از مناطق زایش این سیستم ها یعنی دریاچه آرال نیز نزدیک بوده و از آنها نیز تاثیر می پذیرد. بعد از منطقه C، کم ارتفاع های بریده در منطقه B با توجه به غربی بودن آن، فراوانی بیشتری نسبت به منطقه D دارند. که البته در فصل تابستان فراوانی این دو منطقه، صفر می باشد. چون در فصل تابستان، بادهای غربی که حامل این سیستم ها می باشند، اساساً در عرض های جنوبی ایران وجود ندارند. منطقه D نیز به خاطر دور بودن از مناطق شمالی و غربی، شاهد کمترین حضور این سیستم ها می‌باشد.

مطابق شکل ۱۴ در مناطق B و D بیشترین رخداد کم ارتفاع بریده متعلق به فصل زمستان است، هر چند که در منطقه B این تفاوت زیاد ولی در منطقه D اختلاف رخداد کم ارتفاع بریده در فصول زمستان و بهار، به هم نزدیک است. با توجه به اینکه در این مناطق جنوبی بادهای غربی خیلی دیر یعنی در اواسط فصل پاییز وارد منطقه شده و همچنین در فصل بهار خیلی زود یعنی در اواسط فصل بهار منطقه را ترک می کنند، لذا تنها فصلی که بادهای غربی بطور کامل حضور دارند، زمستان است و لذا بیشترین فراوانی کم ارتفاع های بریده در این دو منطقه در فصل زمستان است. در مناطق A و C بیشترین رخداد کم ارتفاع بریده در فصل بهار می باشد.

بریده، منطقه A (ربع شمال غرب کشور) را تحت تاثیر قرار داده اند. بعد از آن منطقه C (ربع شمال شرق) با عبور ۴۷ کم ارتفاع بریده قرار دارد. همانند فصل زمستان، منطقه B کشور (ربع جنوب غرب)، با تعداد ۲۶ کم ارتفاع بریده، و در نهایت منطقه D (ربع جنوب شرق کشور) با ۵ کم ارتفاع بریده در طول دوره ۴۰ ساله، کمترین فراوانی را دارند. توزیع مکانی کم ارتفاع های بریده در فصل پاییز همانند توزیع فصل زمستان می باشد. با این تفاوت که فراوانی آن نسبت به زمستان کمتر است.



شکل ۱۲- توزیع مکانی کم ارتفاع های بریده در ایران در فصل پاییز

در کارهای مشابه، کویی و همکاران (Qi et al., 1999) در بررسی کم ارتفاع های بریده مرتبط با جنوب استرالیا، این محدوده را به ۴ منطقه تقسیم نمودند، که هر منطقه ۱۰ درجه طول و ۱۵ درجه عرض جغرافیایی را شامل می شد. در تحقیقی دیگر سینگلتون و همکاران (Singleton and Reason, 2007) در بررسی کم ارتفاع های بریده در آفریقای جنوبی در دوره ۲۰۰۲-۱۹۷۳، آن را به ۴ زیر منطقه تقسیم کردند. که مناطق شامل، شمال غرب، شمال شرق، جنوب غرب و جنوب شرق آفریقای جنوبی می گردید. این محققان توزیع سالانه و توزیع فصلی کم ارتفاع های بریده را در این ۴ منطقه مشخص کردند. نییتو و همکاران (Nieto et al., 2008) ابرناکی و بارش مرتبط با کم ارتفاع بریده را در شبه جزیره ایبری بررسی کردند. این محققان شبه جزیره ایبری را به چهار ناحیه شمال غربی، شمال شرقی، جنوب غربی و جنوب شرقی تقسیم کردند. تحقیقات آنان برای یک دوره ۴۱ ساله، نشان داد که ناحیه شمال غربی، بیشترین بارش های مرتبط با کم ارتفاع بریده را داشته است.

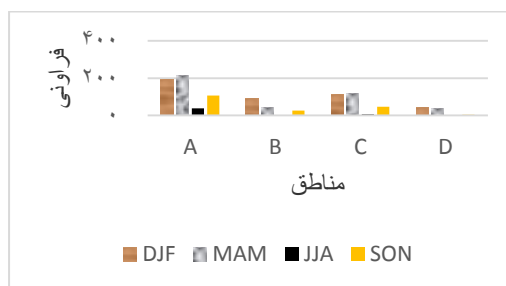
اصلی حضور این سیستم ها در کشور می باشد. سال ۱۹۸۲ با ۱۹ رخداد کم ارتفاع بریده و سالهای ۱۹۹۲، ۱۹۹۶ و ۲۰۱۲ با ۱۸ رخداد، بیشترین فراوانی را در منطقه A دارند. کمترین فراوانی هم متعلق به سال ۲۰۰۱ با رخداد ۸ و سال های ۱۹۷۸ و ۱۹۸۵ با رخداد ۹ در منطقه A می باشند. خط رگرسیون (خط نقطه چین) در شکل ۱۵ دارای شیب ملایم مثبت می باشد که نشان از افزایش ملایم این روند در طول دوره آماری می باشد.

شکل ۱۶ فراوانی رخداد کم ارتفاع های بریده در منطقه B ایران (ربع جنوب غرب) را در طول دوره آماری نشان می دهد. در مجموع در منطقه B در دوره ۴۰ ساله ۱۶۲ کم ارتفاع بریده شناسایی شد. که میانگین آن حدود ۴ رخداد برای هر سال بوده است. از مجموع ۶۲۸ کم ارتفاع بریده موثر بر کل ایران ۱۶۲ کم ارتفاع بریده بر منطقه B تاثیرگذار بوده اند. سال ۱۹۸۲ با ۱۱ مورد رخداد کم ارتفاع بریده، بیشترین فراوانی را در منطقه B دارد. کمترین فراوانی هم متعلق به سالهای ۱۹۷۸، ۱۹۸۱، ۲۰۰۴ و ۲۰۰۷ با رخداد یک مورد کم ارتفاع بریده می باشد. خط رگرسیون دارای شیب مثبت می باشد که نشان دهنده این است که فراوانی رخداد کم ارتفاع های بریده در طول دوره آماری رو به افزایش بوده است.

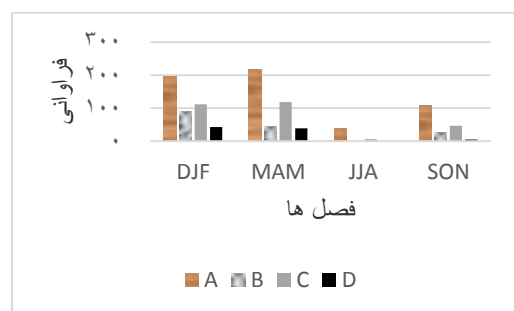
شکل ۱۷ نشانگر فراوانی رخداد کم ارتفاع های بریده در منطقه C ایران (ربع شمال شرق) می باشد. در مجموع در منطقه C در دوره ۴۰ ساله ۲۸۳ کم ارتفاع بریده شناسایی شد. که میانگین آن حدود ۷ رخداد برای هر سال بوده است. یعنی از مجموع ۶۲۸ کم ارتفاع بریده موثر بر کل ایران، ۲۸۳ کم ارتفاع بریده بر منطقه C تاثیرگذار بوده اند. سال ۱۹۸۲ با ۱۵ مورد رخداد کم ارتفاع بریده، بیشترین فراوانی را در منطقه C دارد. بعد از آن سال ۱۹۹۱ با ۱۳ رخداد قرار دارد. کمترین فراوانی هم متعلق به سالهای ۱۹۸۹، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۴ با ۳ رخداد می باشند. خط روند در این منطقه شیب منفی دارد که نشان از کم شدن رخداد کم ارتفاع های بریده در طول دوره آماری دارد.

شکل ۱۸ فراوانی رخداد کم ارتفاع های بریده در منطقه D ایران (ربع جنوب شرق) را در طول دوره آماری نشان می دهد.

و بعد از آن با اختلاف نسبتا کمی فصل زمستان قرار دارد. در این مناطقدنر نیمه شمالی ایران، با توجه به اینکه بادهای غربی تا اواخر بهار حضور دارند و همچنین نظر به اینکه در فصل بهار با توجه به ضعیف تر بودن رودباد نسبت به زمستان، قابلیت تشکیل کم ارتفاع های بریده بیشتر است، لذا فراوانی این سیستم ها در مناطق شمالی کشور در فصل بهار بیشتر است. فصلهای پاییز و تابستان نیز به ترتیب در رده های بعدی از نظر فراوانی کم ارتفاع های بریده قرار می گیرند.



شکل ۱۶- توزیع کم ارتفاع های بریده فصول در مناطق مختلف

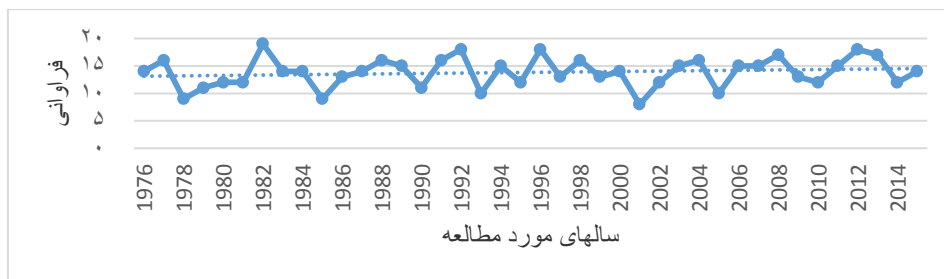


شکل ۱۳- توزیع کم ارتفاع های بریده مناطق در فصلهای مختلف

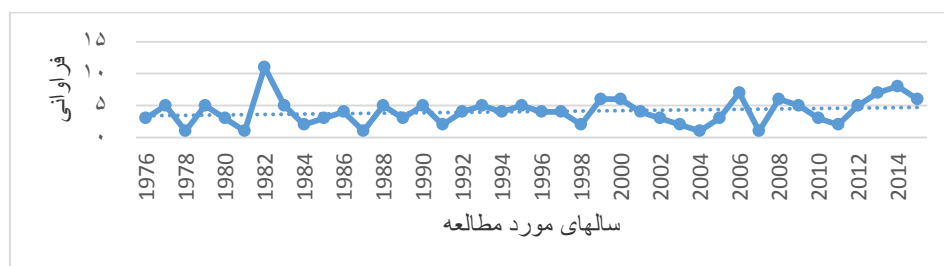
توزیع سالانه کم ارتفاع های بریده در مناطق چهار

گانه ایران

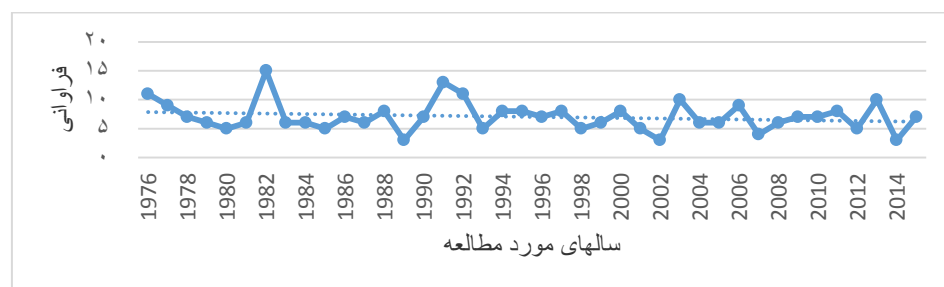
شکل ۱۵ فراوانی رخداد کم ارتفاع های بریده در منطقه A ایران (ربع شمال غرب) را در طول دوره آماری نشان می دهد. در مجموع در منطقه A در دوره ۴۰ ساله ۵۵۲ کم ارتفاع بریده شناسایی شد. که میانگین آن ۱۳/۸ رخداد برای هر سال بوده است. یعنی از مجموع ۶۲۸ کم ارتفاع بریده موثر بر کل ایران، ۵۵۲ کم ارتفاع بریده بر منطقه A تاثیرگذار بوده اند. که با اختلاف زیادی بالاتر از مناطق دیگر ایران قرار دارد و نشان دهنده این است که منطقه A، عرصه



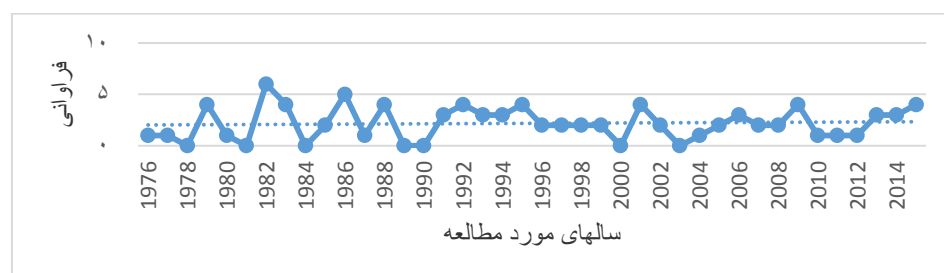
شکل ۱۵- توزیع سالانه فراوانی هایکم ارتفاع های بریده در منطقه A



شکل ۱۶- توزیع سالانه فراوانی هایکم ارتفاع های بریده در منطقه B



شکل ۱۷- توزیع سالانه فراوانی هایکم ارتفاع های بریده در منطقه C



شکل ۱۸- توزیع سالانه فراوانی های کم ارتفاع های بریده در منطقه D

تحت تاثیر کم ارتفاع های بریده منطقه آرال، که یکی از مناطق مهم زایش این سیستم ها می باشد، قرار می گیرد. بطوریکه کم ارتفاع های بریده آرال، بر دیگر مناطق ایران تاثیر گذاری کمتری دارند. منطقه B کشور (ربع جنوب غرب)، با تعداد ۱۶۲ کم ارتفاع بریده، رتبه بعدی را از لحاظ فراوانی دارد، که با توجه به پایین تر بودن عرض جغرافیایی، این تعداد اندک، قابل درک است. در نهایت منطقه D (ربع جنوب شرق کشور) با 87 کم ارتفاع بریده در طول دوره ۴۰ ساله، کمترین فراوانی را دارد. دوری این منطقه از کشور، از بادهای غربی و مسیرهای عبور شمالی و همچنین مسیرهای غربی کم ارتفاع های بریده، باعث گردیده تا کمترین اثر گذاری این سیستم ها را در کشور به خود اختصاص دهد. همچنین مطالعات نشان داد که در مناطق A و C بیشترین رخداد سردچال ها در فصل بهار و در مناطق B و D در فصل زمستان بوده است. توزیع سالانه کم ارتفاع های بریده در دوره مورد مطالعه برای مناطق چهارگانه ایران نشان داد که تعداد رخداد کم فشارهای بریده در این چهل سال برای مناطق A، B و D با شیب ملایم مثبت رو به رشد و در منطقه C با شیب ملایم منفی رو به کاهش بوده است.

منابع

1. Azizi, Gh. (1996), Blocking and its effects on precipitation of Iran, dissertation, (in Persian).
2. Azizi, Gh., Moradi, M., Rezaei, H. (2018), Identification and Climatology of Cut-off Lows over IRAN and Relationships with ENSO and NAO, Journal of Geographical Researches, No. 128, PP. 158-173.
3. Banihashem, T., Ardekani, H., Moradi, M. (1999), The behavior and movement of Cutoff Low from the point of view of baroclinic, Journal of the earth and space Physics, No. 25, PP. 37-46, (in Persian).
4. Banihashem, T., Ardekani, H., Tajbakhsh, S. (2000), The behavior and movement of Cutoff Low, Journal of the earth and space Physics, No. 26, PP. 15-25, (in Persian).
5. Chuanxi, L., YI, L., Liu, X., Chance, K. (2013), Dynamical and chemical features of a Cutoff Low over Northeast China in July 2007: Results from satellite Measurements and Reanalysis, Advances in Atmospheric Sciences, Volume 30, No. 2, PP 525-540.

در مجموع در منطقه D در دوره ۴۰ ساله ۸۷ کم ارتفاع بریده شناسایی شد. که میانگین آن حدود ۲ رخداد برای هر سال بوده است. یعنی از مجموع ۶۲۸ کم ارتفاع بریده موثر بر کل ایران، ۸۷ کم ارتفاع بریده بر منطقه D تاثیرگذار بوده اند. که کمترین تعداد در بین مناطق است. سال ۱۹۸۲ با ۶ مورد رخداد کم ارتفاع بریده، و سال ۱۹۸۶ با ۵ مورد، بیشترین فراوانی را در منطقه D دارد. در سالهای ۱۹۷۸، ۱۹۸۱، ۱۹۸۴، ۱۹۸۹، ۱۹۹۰، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۳ نیز هیچ کم ارتفاع بریده ای در منطقه D وجود نداشته است. خط رگرسیون در این منطقه دارای شیب ملایم مثبت می باشد که نشانگر افزایش نسبی فراوانی کم ارتفاع های بریده در طول دوره آماری در این منطقه است.

نتیجه گیری

با توجه به نتایج حاصل شده مناطق پیدایش کم ارتفاع های بریده که بر ایران تاثیر دارند، یونان، شرق، غرب و جنوب ترکیه، مرکز و شرق دریای سیاه، خزر، شرق مدیترانه، اردن، سوریه، عراق، آرال و ترکمنستان می باشند. که اوج تراکم آن در غرب، شرق و جنوب ترکیه، شرق دریای سیاه، شرق مدیترانه، سوریه و اردن می باشند. برای مطالعه دقیقتر تاثیر کم ارتفاع های بریده، ایران به چهار منطقه شمال غرب (A)، جنوب غرب (B)، شمال شرق (C) و جنوب شرق (D) تقسیم گردید. نتایج نشان داد که از مجموع ۶۲۸ کم ارتفاع بریده که در طول دوره ۴۰ ساله بر ایران اثر گذار بوده اند، ۵۵۲ کم ارتفاع بریده، منطقه A (ربع شمال غرب کشور) را تحت تاثیر قرار داده اند. با توجه به اینکه دریای سیاه، ترکیه و شرق مدیترانه یکی از مسیرهای اصلی عبور کم ارتفاع های بریده در اروپا می باشند، این سیستم ها اکثرا شمال غرب و غرب ایران را تحت تاثیر قرار می دهند. لذا این منطقه از کشور، محل اصلی عبور و تاثیر گذاری این سیستمها بوده و بیشترین فراوانی را دارد. بعد از آن منطقه C (ربع شمال شرق) با عبور ۲۸۳ کم ارتفاع بریده قرار دارد. با توجه به اینکه مسیرهای اصلی کم ارتفاع های بریده در عرض های بالاتر (عرض جغرافیایی ۴۰ تا ۶۰) قرار دارند، لذا منطقه C (ربع شمال شرق) کشور که در عرض جغرافیایی بالاتری نسبت به مناطق B و D قرار دارد، بیشتر تحت تاثیر این سیستم ها قرار می گیرد. همچنین این منطقه

- Journal of Climate, Volume 18, PP 3085-3103.
17. Nieto, R., Gimeno, L., Anel, J., Torre, L., Gallengo, D., Barriopedro, D., Gallego, M., Gordillo, A., Redano, A., Delgado, G. (2007), Analysis of the precipitation and cloudiness associated with COLS occurrence in the Iberian Peninsula, *Meteorology and Atmospheric Physics*, Volume 96, PP 103-119.
 18. Nieto, R., Gimeno, L., Torre, L., Ribera, P., Barriopedro, D., Herrera, R., Serrano, A., Gordillo, A., Redano, A., Lorente, J. (2007), Interannual variability of cut-off low systems over the European sector: the role of blocking and the Northern Hemisphere circulation modes, *Meteorology and Atmospheric Physics*, Volume 96, PP 85-101.
 19. Nieto, R., Sprenger, M., Wernli, H., Trigo, R., Gimeno, L. (2008), Identification and Climatology of Cut-off Lows near the Tropopause, *Trend And Directions In Climate Research*, Volume 1146, PP 256-290.
 20. Oakley, N., Redmond, K. (2014), A Climatology of 500-HPA closed lows in the Northeastern Pacific Ocean, 1948-2011, *American Meteorological Society*, Volume 53, PP 1578-1592.
 21. Omidvar, K., Safarpour, F., Mahmoudabadi, M., Olfati, S. (2010), An analysis of the effects of Cutoff Low on the occurrence of extreme rainfall in central and southwest of Iran, *The Journal of Spatial Planning*, No. 4, PP. 161-189, (in Persian).
 22. Palmén, E., Newton, C. (1969), *Atmospheric Circulation Systems*, Academic Press, pp 603.
 23. Parker, S., Hawes, J., Colucci, S., Hayden, B. (1989), Climatology of 500 mb cyclones and Anticyclones, 1950-85, *American Meteorological Society*, Volume 117, PP 558-570.
 24. Qi, L., Wang, Y., Leslie, L. (2000), Numerical simulation of a cut-off low over southern Australia, *Meteorology and Atmospheric physics*, Volume 74, PP 103-115.
 25. Rezaei, H., (2018), Cut-off Low impacts on Precipitation of Iran, Tesis Ph.D, University of Tehran.
 26. Reboita, M., Nieto, R., Gimeno, L., Rocha, R., Ambrizzi, T., Garreaud, R., Kruger, L. (2010), Climatological features of cutoff low systems in the Southern Hemisphere, *Journal of Climate*, Volume 23, PP 3085-3103.
 6. Favre, A., Hewitson, B., Tadross, M., Lennard, C., Mota, R. (2012), Relationships between cut-off lows and the semiannual and southern oscillations, *Climate Dynamics*, Volume 38, PP 1473-1487.
 7. Fuenzalida, H., Sanchez, R., Garreaud, R. (2005), A climatology of cutoff lows in the southern hemisphere, *Journal of Geophysical Research*, Volume 110, 1-10.
 8. Gerald, D., Bell, L., Bosart, F. (1989), A 15-Year Climatology of Northern Hemisphere 500 mb Closed Cyclone and Anticyclone Centers, *Monthly Weather Review*, Volume 117, PP 2142-2163.
 9. Gimeno, L., Nieto, R., Trigo, R. (2007), Decay of the Northern Hemisphere stratospheric polar vortex and the occurrence of cut-off low systems: An exploratory study, *Meteorology and Atmospheric Physics*, Volume 96, PP 21-28.
 10. Gouget, H., Vaughan, G., Marenco, A., Smit, H. (2000), Decay of a cut-off low and contribution to stratosphere-troposphere exchange, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, Volume, PP 1117-1141.
 11. Hodgson, Amy, 2012, Case study analysis of a cut-off low weather system over North-West Africa observed during the fennec pilot study, April 2011, *Earth and Environment*, volume 8, PP 38-105.
 12. Kentarchos, A., Davies, T., (1998), A Climatology of cut-off lows at 200 hpa in the Northern Hemisphere 1990-1994, *International Journal of Climatology*, Volume 18, PP 379-390.
 13. Molekwa, S., Engelbrecht, C., Rautenbach, C. (2014), Attributes of cut-off low induced rainfall over the Eastern Cape Province of South Africa, *Theoretical and Applied Climatology*, Volume 118, PP 307-318.
 14. Nasresfahani. M., Mohebolhojeh, A., Ahmadigivi, F., (2008), The effects of NAO on some meteorological Parameters over Middle East and South West Asia, *Iranian Journal of Geophysics*, NO. 2, PP. 51-64, (in Persian).
 15. Ndarana, T., Waugh, D. (2010), The link between cut-off lows and Rossby wave breaking in the Southern Hemisphere, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, Volume 136, PP 869-885.
 16. Nieto, R., Gimeno, L., Torre, L., Ribera, P., Gallego, D., Herrera, R., Garcia, J., Nunez, M., Redano, A., Lorente, J. (2005), Climatological features of Cutoff Low Systems in the Northern Hemisphere,

- low pressure system over south Africa, Monthly weather review, volume 135, PP 1128-1150.
29. Singleton, A., Reason, C. (2007), Variability in the characteristics of cut-off low pressure systems over subtropical southern Africa, International Journal Of Climatology, Volume 27, PP 295-310
- Journal of Geophysical Research, Volume 115, PP 1-15.
27. Shabbar, A., Huang, J., Higuchi, K. (2001), The relationship between the wintertime North Atlantic Oscillation and blocking episodes in the North Atlantic, Int J Climatol, NO. 21, PP. 355-369.
28. Singleton, A., Reason, C. (2007), A Numerical model study of an intense cutoff