

اقلیم‌شناسی کم ارتفاع‌های بریده مؤثر بر ایران و ارتباط آن با ENSO و NAO

پذیرش نهایی: ۹۶/۱۱/۱۹

دریافت مقاله: ۹۶/۹/۳۰

DOI: 10.29252/geores.33.1.158

چکیده

کم ارتفاع‌های بریده به‌عنوان یک کم ارتفاع بسته در تروپوسفر میانی و بالایی تعریف می‌شوند که به‌طور کامل از جریان اصلی بادهای غربی جدا شده‌اند. کم ارتفاع بریده یکی از پدیده‌های اثرگذار بر اقلیم ایران می‌باشد. هدف از این مقاله بررسی میزان این اثرگذاری و ارتباط آن با برخی شاخص‌های پیوند از دور می‌باشد. ویژگی‌های کم ارتفاع‌های بریده در ایران، برای دوره ۲۰۱۵-۱۹۷۶ مطالعه گردید. برای شناسایی این سیستم‌ها از الگوریتم رائل نی یتو، با قابلیت شناسایی خودکار، استفاده گردید. این الگوریتم از داده‌های میانگین روزانه ارتفاع ژئوپتانسیل ترازهای ۵۰۰ و ۶۰۰، باد مداری در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و دمای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، از پایگاه داده‌های مرکز ملی پژوهش‌های جوی^۱ استفاده می‌کند. نتایج نشان داد که بیشترین فراوانی کم ارتفاع‌های بریده در ایران، در فصل بهار و با یک بیشینه در ماه مارس می‌باشند. در دوره آماری ۴۰ ساله، فراوانی رخداد این سیستم‌ها، روندی مثبت دارد. بررسی طول عمر این سیستم‌ها نشان داد که بیشترین فراوانی را کم ارتفاع‌های بریده با ماندگاری ۲ روز دارند. در بررسی فصلی طول عمر، مشخص گردید که در فصول زمستان و بهار برتری با طول عمر ۲ روز و در فصول تابستان و پاییز بیشتر کم ارتفاع‌های بریده طول عمر یک روز داشته‌اند. در سال‌های لائینا، فراوانی کم ارتفاع‌های بریده در ایران عموماً بالاتر از میانگین و در سال‌های ال نینو، فراوانی این سیستم‌ها کمتر از میانگین مشاهده گردید. در خصوص ارتباط با نوسان اطلس شمالی، فازهای منفی نوسان اطلس شمالی، همراه با فراوانی کمتر کم ارتفاع‌های بریده و فازهای مثبت نوسان اطلس شمالی، همراه با فراوانی بیشتر این سیستم‌ها می‌باشند. همچنین در ماه‌هایی با فاز مثبت (منفی) نوسان اطلس شمالی، بیشترین رخداد کم ارتفاع‌های بریده در فصل گرم (سرد) مشاهده گردید. نهایتاً در این مقاله یک مطالعه موردی از رخداد کم ارتفاع بریده در شمال ایران، در فوریه ۱۹۹۱ که در بازوی شرقی بندال امگا شکل گرفته، بررسی گردید.

واژگان کلیدی: کم ارتفاع بریده، کم فشار بریده، سردچال، انسو، نوسان اطلس شمالی

مقدمه

زمانی که یک ناوه هوای سرد به سمت استوا توسعه یافته و از منبع اصلی خود در عرض‌های بالاتر بریده می‌شود، یک گردش بسته چرخندی را در وردسپهر میانی و بالایی شکل داده که منجر به شکل‌گیری کم ارتفاع‌های بریده می‌گردد (Palmen, 1969: 604). این سیستم‌ها عموماً در ترازهای میانی و بالایی، به‌وسیله کنتورهای ژئوپتانسیل بسته در اطراف مرکز کم

ارتفاع، قابل شناسایی هستند (Singleton, Reason, 2007:297). سیستم های کم ارتفاع بریده، پیچک های چرخندی بسته هستند که از جریان اصلی رود باد جدا شده اند (Nieto et al, 2007:106). پارکر^۱ و همکاران (۱۹۸۹) نشان دادند که روند فراوانی کم ارتفاع های بریده در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال از سال ۱۹۵۰ تا ۱۹۷۰ کاهش و از سال ۱۹۷۱ تا ۱۹۸۵ افزایش داشته است. کویی^۲ و همکاران (۱۹۹۹) در بررسی کم ارتفاع های بریده مؤثر بر استرالیا، مسیرهای اصلی این سیستم ها را شمال شرق سو، شرق سو و جنوب شرق سو معرفی کردند. گوگت^۳ و همکاران (۲۰۰۰) سیر تکاملی یک کم ارتفاع بریده را بررسی و مکانیسم انتقال هوای پوش سپهر را به تروپوسفر مورد مطالعه قرار دادند. شابر^۴ و همکاران (۲۰۰۱) نشان دادند که وقتی NAO در فاز مثبت است یک جریان موجی شکل نصف النهاری تقویت شده (مناسب برای شکل گیری بندال) در باند ۷۰ الی ۹۰ درجه غربی (ناحیه شدت رخداد کم فشار بریده) وجود دارد. اسمیت^۵ و همکاران (۲۰۰۲) نشان دادند که پراکندگی مکانی کم ارتفاع های بریده در زمستان در نیمکره شمالی، در شمال غرب و شمال شرق اقیانوس آرام، جنوب غرب ایالات متحده، شرق کانادا و جنوب گرینلند و از شمال آفریقا تا فلات ترکیه می باشند. جیمنو^۶ و همکاران (۲۰۰۷) رابطه زوال تاوه قطبی و رخداد کم ارتفاع بریده را در دوره ۱۹۹۸-۱۹۵۸ بررسی کردند و نشان دادند که در سال هایی که تاوه قطبی زودتر تخریب شده است، در عرض جغرافیایی پایین تر از ۴۵ درجه شمالی، فراوانی کم ارتفاع های بریده در بهار و تابستان بعدی بیشتر بوده است. نی^۷ و همکاران (۲۰۰۸) مکان های 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^۸ و همکاران (۲۰۱۳) خواص دینامیکی و شیمیایی کم ارتفاع بریده را در شمال شرق چین بررسی کردند. آن ها 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.

فویر^۹ و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند که در طول لاینینا فراوانی کم ارتفاع های بریده در عرض های جغرافیایی پایین تر، بیش تر و در عرض های جغرافیایی بالاتر، کم تر است. اوکلی^۱ و ردمنود^۱ (۲۰۱۴) 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 فشار بریده در بیستم فوریه ۱۹۹۷ را از ایران بررسی کرده و چگونگی توسعه چرخند سطح زمین، تغییرات کمیت هایی چون تاوایی پتانسیل و حرکت قائم را مورد مطالعه قرار دادند. همچنین نامبردگان در مقاله دیگری (۱۳۷۹)، همان کم فشار بریده را از زاویه دیگری بررسی کرده و با محاسبه کمیت های 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 سرد چال را با بررسی یک نمونه موردی در نواحی مرکزی و جنوب غربی ایران مطالعه نمودند. در تحقیق دیگری رئیس پور و همکاران (۱۳۹۲)، نقش سیستم های کم فشار بریده را در شکل گیری گردوغبارهای فراگیر جنوب غرب ایران بررسی کردند. راستی و امیدوار (۱۳۹۳) نیز اثر سرد چال در وقوع شدیدترین بارش مشهد طی دوره

1 .Parker
2 .Qi
3 .Gouget
4 .Shabbar
5 .Smith
6 .Gimeno
7 .Nieto
8 .Chuanxi
9 .Favre
1 .Oakley
1 . Redmond

۴۹ ساله را بررسی کردند. در این مقاله توزیع ماهانه و سالانه کم ارتفاع‌های بریده مؤثر بر ایران، ماندگاری و طول عمر آن‌ها و همچنین ارتباط این سامانه‌ها با برخی شاخص‌های پیوند از دور مطالعه گردیده است.

مواد و روش‌ها

داده‌ها برای یک دوره ۴۰ ساله (۱۹۷۵ تا ۲۰۱۵) از مرکز ملی پژوهش‌های جوی در شبکه‌های 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 ارتفاع‌های بریده در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال انجام گرفت. جهت شناسایی کم ارتفاع‌های بریده، از روش رائلو نی یتو (۲۰۰۵) و رویوتا^۳ (۲۰۱۰) استفاده گردید. مطابق با این روش، برای اینکه یک سیستم، کم ارتفاع بریده لحاظ گردد، می‌بایست حائز چهار ویژگی باشد که در ادامه به آن پرداخته شده است. لذا الگوریتمی توسط نرم‌افزار متلب نوشته شد تا پس از دریافت داده‌ها، با بررسی شرایط مندرج در الگوریتم به صورت خودکار سیستم‌های کم ارتفاع بریده را شناسایی کند. داده‌های استفاده شده در این الگوریتم برای شناسایی کم ارتفاع‌های بریده شامل ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز ۵۰۰ و ۶۰۰ هکتوپاسکال، باد مداری U در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و در نهایت دما در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال می‌باشند.

الگوریتم شناسایی

در این الگوریتم کم ارتفاع بریده می‌بایست حائز چهار ویژگی باشد، که این ویژگی‌ها به شرح ذیل می‌باشند:

- گردش سیکلونی بسته (منحنی بسته): این مرحله شامل شناسایی کمینه ارتفاع ژئوپتانسیل نقاط در سطوح موردنظر است (۵۰۰ میلی بار). برای این کار برای هرروز، 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 ژئوپتانسیل متر باشد، برای مرحله بعدی حفظ شده و بقیه از الگوریتم حذف می‌گردند.
- جدا شدن منحنی بسته از جریان مداری اصلی (بریدن): برای این کار می‌بایست یک تغییر در جهت باد مداری در سطح موردنظر اتفاق بیفتد. یعنی حداقل یکی از دو نقطه شمال سوی مجاور نقطه موردنظر (نقطه مینیمم ارتفاع ژئوپتانسیل) می‌بایست جهت مخالف (علامت مخالف) داشته باشند.
- ضخامت معادل^۴: که همان ضخامت لایه اتمسفر بین دو سطح فشاری است. در یک کم ارتفاع بریده این مشخصه به وسیله یک ضخامت برجسته در جلو کم ارتفاع مشخص است. بنابراین در الگوریتم، ضخامت معادل شرق نقطه مرکزی می‌بایست از نقطه مرکزی بیشتر باشد. برای لایه ضخامت ۶۰۰-۵۰۰ هکتوپاسکال، تفاوت مقادیر ارتفاع ژئوپتانسیل این دو سطح، محاسبه شده و می‌بایست مقدار نقطه شرق نقطه مرکزی از نقطه مرکزی بیشتر باشد.
- ۴- پارامتر جبهه دمایی^۵: که نشان‌دهنده تغییرات دما در امتداد خط گرادیان می‌باشد. در الگوریتم می‌بایست مقدار TFP شرق نقطه مرکزی از مقدار TFP نقطه مرکزی بیشتر باشد. زیرا کم ارتفاع‌های بریده به وسیله ناحیه کژفشار در جلوی کم ارتفاع که به یک باند ابر روبه‌جلو متصل است مشخص می‌شوند. تعریف ریاضی TFP به صورت زیر است:

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

1 .NCEP
2 .Nieto
3 .Reboita
4 .Tickness
5 .TFP

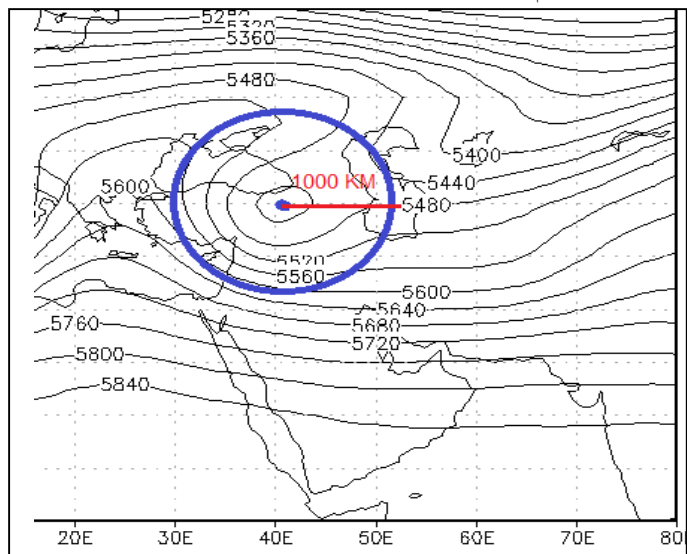
اولین بخش معادله $-\nabla|\nabla T|$ تغییر گرادیان دما و دومین بخش $(\nabla T/|\nabla T|)$ افزایش یا کاهش در جهت گرادیان دما را نشان می دهد. در این تحقیق به منظور مطابقت بیشتر با آب و هوای ایران، فصل های سال بدین صورت تعریف شده است:

زمستان شامل ماه های دسامبر، ژانویه و فوریه، بهار شامل ماه های مارس، آوریل و می، تابستان شامل ماه های ژوئن، ژوئیه و آگوست، پاییز شامل ماه های سپتامبر، اکتبر و نوامبر.

در خصوص روش شناسایی کم ارتفاع های بریده مؤثر بر ایران، سیستم هایی اثرگذار بر ایران معرفی شدند، که دارای حداقل یکی از شرایط زیر باشند:

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



شکل ۱- نمونه ای از یک کم ارتفاع بریده مؤثر بر ایران

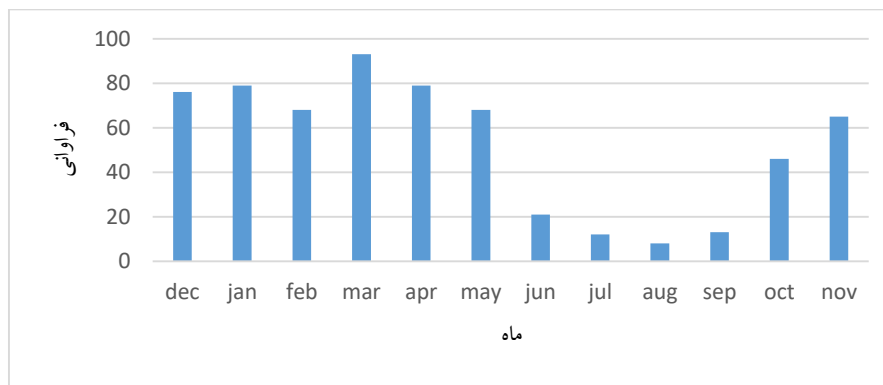
بعد از شناسایی مراکز کم ارتفاع بریده توسط الگوریتم در طول دوره ۴۰ ساله و تفکیک کم ارتفاع های بریده مؤثر و غیر مؤثر بر ایران، فراوانی رخداد این سیستم ها در سال ها و ماه های مختلف، مشخص گردید. همچنین بر همین اساس فراوانی رخداد کم ارتفاع های بریده در سال هایی که انسو و نوسان اطلس شمالی در فاز مثبت و یا منفی بودند، بررسی گردید.

یافته های تحقیق

توزیع ماهانه و فصلی کم ارتفاع های بریده

در طول دوره آماری ۴۰ ساله در مجموع تعداد ۶۲۸ کم ارتفاع بریده مؤثر بر ایران با تداوم حداقل یک روز شناسایی شد. توزیع ماهانه آن ها در شکل ۲ نشان داده شده است. مطابق با شکل، ماه مارس با ۹۳ رخداد کم ارتفاع بریده، در طول ۴۰ سال، دارای بیشترین فراوانی می باشد. بعد از آن ماه های آوریل و ژانویه با فراوانی ۷۹ مورد و دسامبر با ۷۶ رخداد قرار دارند. ماه های فوریه و می نیز با ۶۸ مورد رخداد کم ارتفاع بریده مواجه بوده اند. بعد از آن ماه نوامبر با ۶۵، اکتبر با ۴۶، ژوئن با ۲۱، سپتامبر ۱۳ و ژوئیه با ۱۲ مورد در رده های بعدی قرار دارند. کمترین فراوانی مربوط به ماه آگوست با ۸ رخداد می باشد. از لحاظ فصلی، فصل بهار با مجموع ۲۴۰ رخداد (۳۸/۲ درصد) بیشترین فراوانی وقوع کم ارتفاع بریده را داشته است که با تعاریف شکل گیری

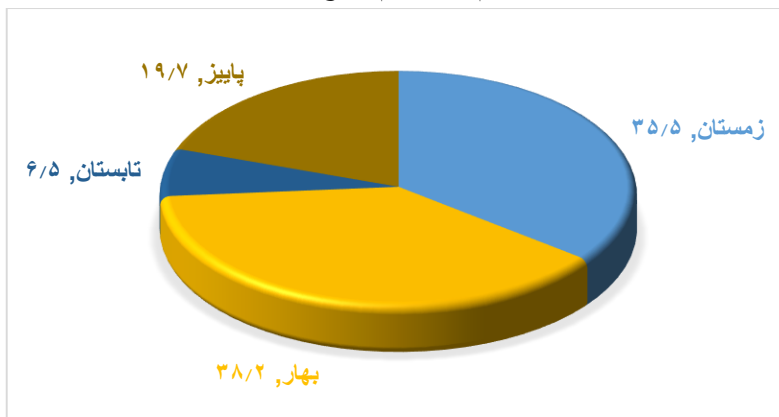
دستگاه‌های کم ارتفاع بریده مینی بر تضعیف رود باد در فصل بهار سازگار است. بعد از فصل بهار، زمستان با مجموع ۲۲۳ مورد (۳۵/۵ درصد)، بیشترین رخداد را دارد که به دلیل فراوانی سیستم‌های کم فشار و غلبه بادهای غربی در این فصل در ایران می‌باشد. در فصل پاییز نیز ۱۲۴ رخداد کم ارتفاع بریده (۱۹/۷ درصد) مشاهده گردید. در ماه‌های اولیه فصل پاییز هنوز این سیستم‌ها در عرض‌های بالاتر از محدوده ایران مشاهده می‌شوند که با نزدیک شدن به انتهای فصل پاییز، تعداد بیشتری از آنها به عرض‌های پایین‌تر وارد شده و در محدوده جغرافیایی ایران قرار می‌گیرند (سپتامبر ۱۳، اکتبر ۴۶ و نوامبر ۶۵). کمترین فراوانی حضور کم ارتفاع‌های بریده در ایران نیز مربوط به فصل تابستان است که این درست برعکس منطقه اروپا و به‌طور کل عرض‌های بالاتر نیمکره شمالی می‌باشد. زیرا در آن مناطق بیشترین رخداد این سیستم‌ها مربوط به فصل تابستان است. تفاوت فصلی وقوع این سیستم‌ها در ایران در مقایسه با اروپا و سایر نقاط در عرض‌های بالاتر، ناشی از حضور دائمی پرفشار جنب حاره در فصل تابستان در ایران است که اجازه ورود این سیستم‌های باران‌زا را نمی‌دهد. لذا ایران از کم ارتفاع‌های بریده در فصل تابستان که بیشترین فراوانی را در نیمکره شمالی دارند بی‌بهره است.



شکل ۲- توزیع ماهانه کم ارتفاع بریده در طول دوره آماری

شکل ۳، درصد فراوانی کم ارتفاع‌های بریده در فصول مختلف را نشان می‌دهد. فصل بهار با ۳۸/۲ درصد بیشترین فراوانی را دارد. فصل زمستان ۳۵/۵ درصد، فصل پاییز ۱۹/۷ و در نهایت فصل تابستان با ۶/۵ درصد فراوانی قرار دارند. مطالعات نشان می‌دهد که بیشتر فراوانی وقوع کم ارتفاع‌های بریده در عرض‌های میانی و بالایی نیمکره شمالی در فصل تابستان است. یافته‌های کنتارچاس و دیویس^۱ (۱۹۹۸، ۳۸۸) نشان دادند که ۳۷ درصد کم ارتفاع‌های بریده در سال‌های بین ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۴ در تابستان و کمترین آن‌ها با ۱۵ درصد در زمستان رخ داده‌اند. آن‌ها سه منطقه عمده را شامل اروپا، آمریکا و آسیا در نظر گرفتند. بیشترین رخداد کم ارتفاع‌های بریده برای سه گروه در تابستان بوده که با ۴۴/۶ درصد در طول این فصل برای بخش اروپا، ۴۹/۵ درصد برای بخش آمریکا و ۵۸/۴ درصد برای بخش آسیا بوده است. در زمستان نیز کمترین رخداد کم ارتفاع بریده برای هر سه گروه اتفاق افتاده است.

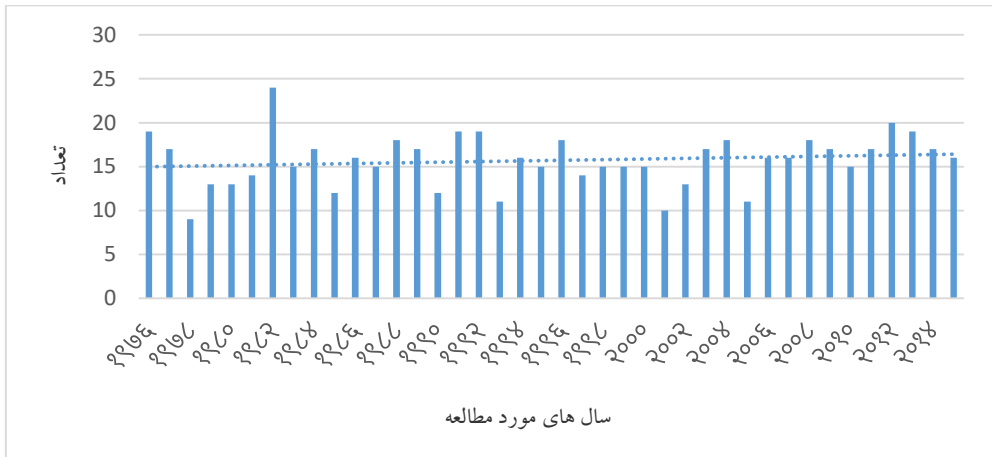
^۱ .Kentarchos & Davies



شکل ۳- توزیع فصلی کم ارتفاع بریده در طول دوره آماری

توزیع سالانه

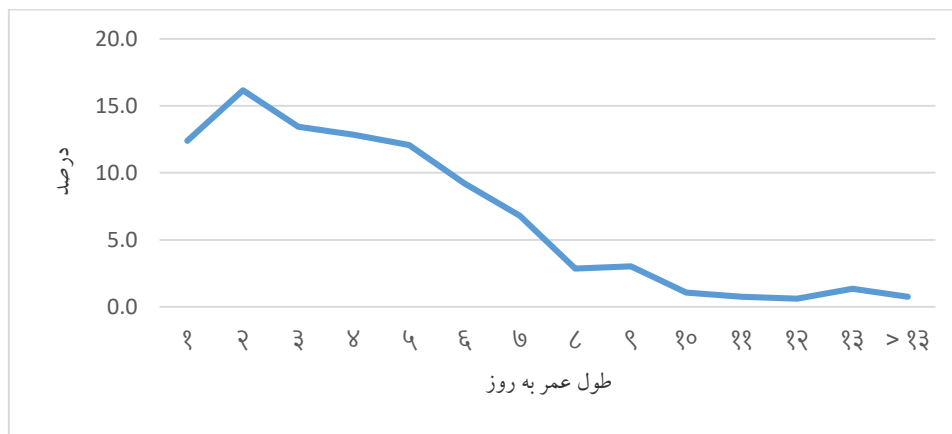
در ایران در مجموع ۶۲۸ کم ارتفاع بریده در طول ۴۰ سال با تداوم حداقل یک روز شناسایی شد که دارای میانگین سالانه ۱۵/۷ کم ارتفاع بریده در هر سال می باشد. شکل ۴ توزیع سالانه فراوانی سیستم های کم ارتفاع بریده موثر بر ایران را در طول دوره مورد مطالعه (۱۹۷۶-۲۰۱۵) نشان می دهد. بیشترین فراوانی مربوط به سال ۱۹۸۲ با ۲۴ رخداد می باشد. بعد از آن سال ۲۰۱۲ با ۲۰ رخداد قرار دارد. سال های ۱۹۷۶، ۱۹۹۱، ۱۹۹۲ و ۲۰۱۳ با رخداد ۱۹ مورد کم ارتفاع بریده بالاتر از نرمال قرار دارند. سایر سال هایی که رخداد کم ارتفاع بریده در آن ها بالاتر از نرمال بوده است می توان به سال های ۱۹۷۷، ۱۹۸۴، ۱۹۸۸، ۱۹۹۶، ۲۰۰۳، ۲۰۰۴، ۲۰۰۸، ۲۰۰۹، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۴ اشاره کرد. کمترین رخداد هم مربوط به سال ۱۹۷۸ با ۹ مورد، ۲۰۰۱ با ۱۰ مورد، ۱۹۹۳ و ۲۰۰۵ با ۱۱ مورد، ۱۹۸۵ و ۱۹۹۰ با ۱۲ مورد می باشند. سایر سال هایی که رخداد کم ارتفاع بریده در آن ها پایین تر از نرمال می باشند، شامل سال های ۱۹۷۹، ۱۹۸۰، ۱۹۸۱، ۱۹۹۷ و ۲۰۰۲ می باشند. خط رگرسیون در شکل ۴ روند تغییرات رخداد این پدیده را در طول ۴۰ سال دوره آماری نشان می دهد. که دارای شیب ملایم مثبت می باشد. این نشان می دهد که فراوانی رخداد کم ارتفاع های بریده در طول این ۴۰ سال با شیب ملایم، صعودی بوده است. این مسئله می تواند ناشی از گرمایش تدریجی زمین و نتیجتاً تضعیف رود باد و پیرو آن رشد حرکات نصف النهاری و پیدایش بیشتر کم ارتفاع بریده باشد. در کارهای مشابهی که در این خصوص انجام گرفته، فویرا و همکاران (۲۰۱۲) روند فراوانی کم ارتفاع های بریده را در دوره ۱۹۷۹-۲۰۰۸ در کل نیمکره جنوبی بررسی کردند و نشان دادند که فراوانی آن ها در طول دوره رو به افزایش بوده و روند مثبتی داشته است. به طوری که از میانگین ۳۳۰ کم ارتفاع بریده در هر سال، خط رگرسیون، افزایش ۲۷ کم ارتفاع بریده در هر دهه را نشان داد.



شکل ۴- توزیع سالانه کم ارتفاع بریده در طول دوره آماری

طول عمر کم ارتفاع های بریده مرتبط با ایران

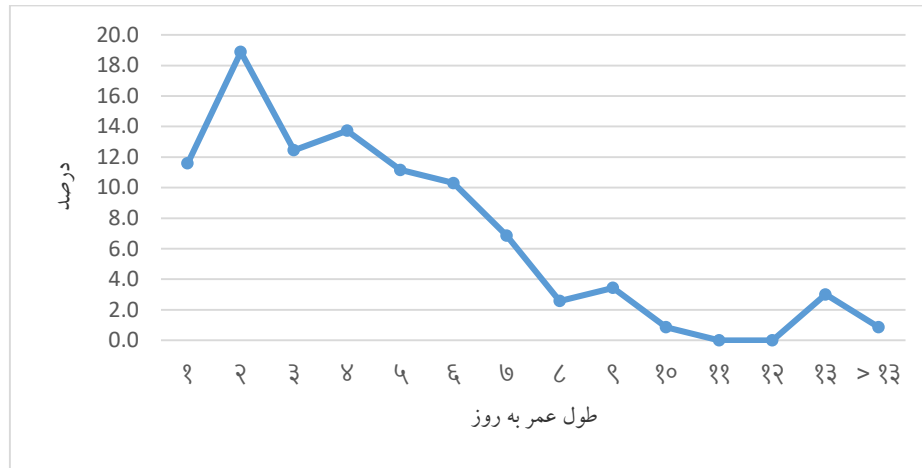
شکل ۵ توزیع فراوانی کم ارتفاع های بریده مؤثر بر ایران با طول عمرهای مختلف را نشان می دهد. در این تحقیق کم ارتفاع های بریده ای که حداقل یک روز ماندگاری داشته اند، محاسبه و دوره زندگی آنها از زمان پیدایش تا زوال (اگرچه در بعضی از روزهای دوره زندگی، خارج از تأثیرگذاری بر ایران باشند) بررسی گردید. دوره زندگی این کم ارتفاع های بریده بین ۱ تا ۲۴ روز مشاهده گردید.



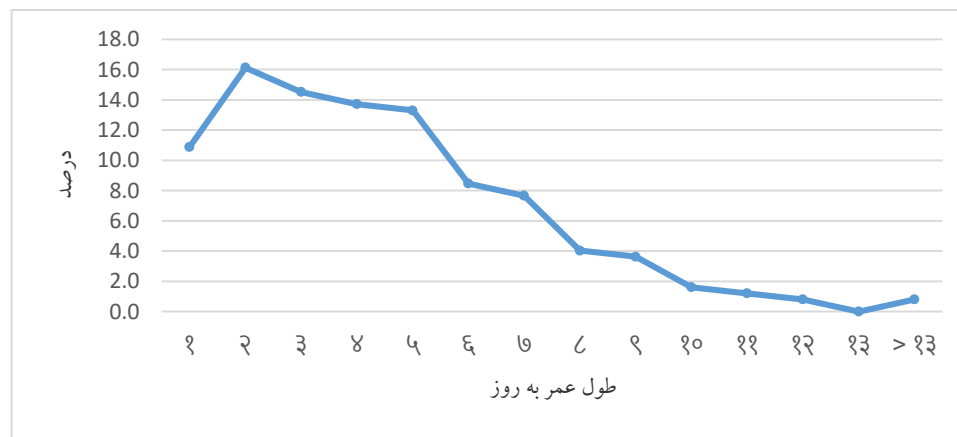
شکل ۵- توزیع فراوانی کم ارتفاع های بریده با طول عمرهای مختلف بر حسب درصد

از مجموع ۶۲۸ کم ارتفاع بریده شناسایی شده مؤثر بر ایران در دوره آماری ۴۰ ساله، کم ارتفاع های بریده با طول عمر ۲ روز، بیشترین فراوانی را دارند. بطوریکه ۱۰۷ رخداد (۱۶/۲ درصد کل فراوانی) را به خود اختصاص می دهند. بعد از آن طول عمر ۳ روز با ۱۳/۴ درصد، طول عمر ۴ روز با ۱۲/۸ درصد، و طول عمر یک روز با فراوانی ۱۲/۴ درصد قرار دارند. طول عمر ۵ روز و بالاتر به ترتیب و به صورت کاهنده از نظر درصد فراوانی در رتبه های بعدی قرار می گیرند. محققان در گذشته طول عمر کم ارتفاع های بریده را در تحقیقات مختلفی بررسی نموده اند. از جمله کنتارچاس و دیویس (۱۹۹۸، ۳۸۸) نشان دادند که بیشتر کم ارتفاع های بریده دوره زندگی کوتاهی دارند و بیشتر آنها طول عمری در حدود ۲ و ۳ روز داشته و تعداد کمی از آنها بیش از ۱۰ روز عمر دارند. همچنین آنها نشان دادند که از مجموع ۱۲۱۴ کم ارتفاع بریده رخ داده در نیمکره شمالی در یک دوره ۵ ساله ۱۹۹۴-۱۹۹۰ (با عمر حداقل یک روز)، ۶۲ درصد ۱ یا ۲ روز ماندگاری داشته اند. ۲۹ درصد نیز بین ۴ و ۷ روزه طول انجامیده و تنها ۹ درصد از آنها طول عمری بیش از ۷ روز داشته اند.

به منظور بررسی دقیق تر طول عمر و ماندگاری کم ارتفاع های بریده، طول عمر آنها در فصول مختلف بررسی گردید. شکل های ۶ و ۷ توزیع فراوانی کم ارتفاع های بریده مؤثر بر ایران با طول عمرهای مختلف را در فصل های زمستان و بهار نشان می دهد. در این دو فصل کم ارتفاع های بریده با ماندگاری ۲ روز، بیشترین فراوانی را داشته اند. بعد از طول عمر ۲ روز، در فصل زمستان بیشترین فراوانی مربوط به طول عمر ۳ روز می باشد، در صورتی که در فصل بهار طول عمر ۴ روز در مرتبه دوم و طول عمر ۳ روز در مرتبه سوم قرار دارند.

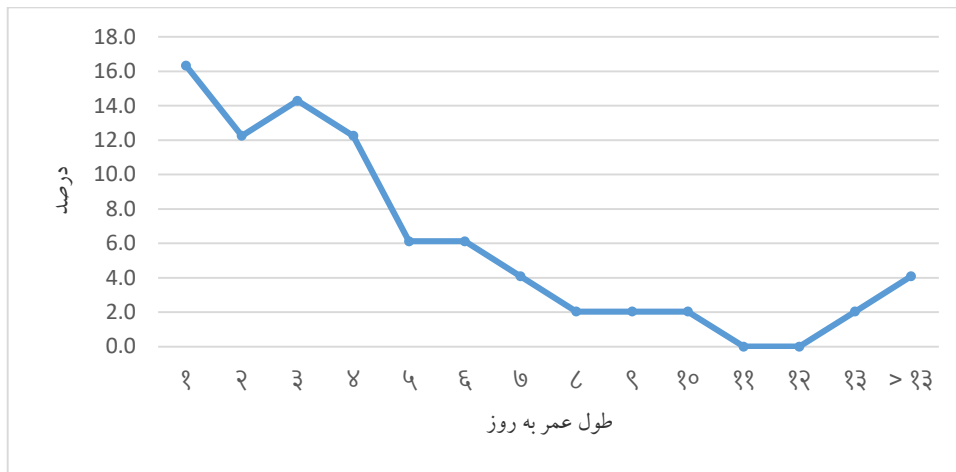


شکل ۶- توزیع فراوانی کم ارتفاع های بریده با طول عمرهای مختلف در فصل زمستان بر حسب درصد

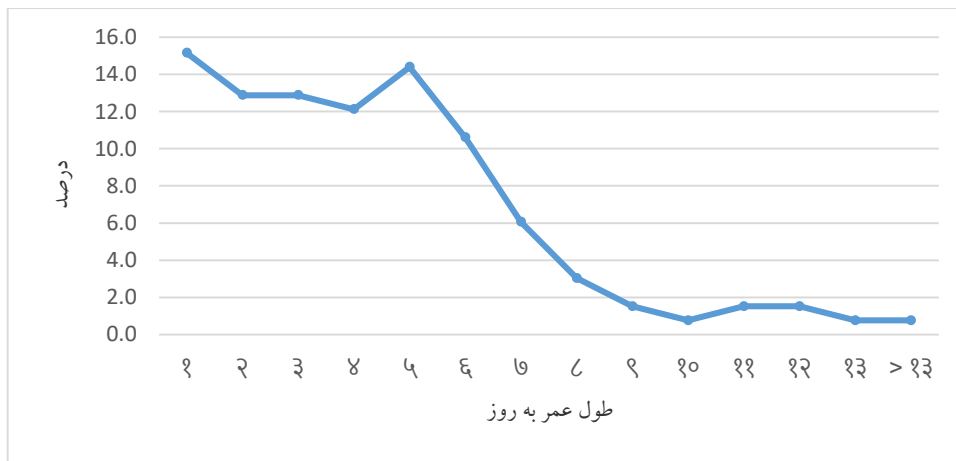


شکل ۷- توزیع فراوانی کم فشارهای بریده با طول عمرهای مختلف در فصل بهار بر حسب درصد

شکل های ۸ و ۹ توزیع فراوانی کم ارتفاع های بریده مؤثر بر ایران با طول عمرهای مختلف را در فصل های تابستان و پاییز نشان می دهند. در این دو فصل کم ارتفاع های با ماندگاری یک روز، بیشترین فراوانی را داشته اند، که نشان دهنده این است که در فصل های گرم ماندگاری کم ارتفاع های بریده کمتر است.



شکل ۸- توزیع فراوانی کم فشارهای بریده با طول عمرهای مختلف در فصل تابستان برحسب درصد



شکل ۹- توزیع فراوانی کم فشارهای بریده با طول عمرهای مختلف در فصل پاییز برحسب درصد

ارتباط کم ارتفاعهای بریده با شاخص‌های پیوند از دور

نشانه‌هایی وجود دارد که سیستم‌های پیوند از دور مثل نوسانات جنوبی النینو^۱ و نوسان اطلس شمالی^۲ ممکن است در رخداد کم ارتفاع بریده تأثیر داشته باشد.

شاخص ENSO

ارتباط فازهای مختلف نوسان جنوبی با شدت و مداری بودن جریان رودباد مشهود است. فازهای منفی (مثبت) ENSO سبب شکل‌گیری جت ضعیف‌تر (قوی‌تر) و احتمال بالاتر (پایین‌تر) رخداد کم ارتفاع بریده می‌گردد (Nieto et al, 2005). فویر^۳ و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند که در طول لائینا فراوانی کم ارتفاعهای بریده در عرض‌های جغرافیایی پایین‌تر، بیشتر و در عرض‌های جغرافیایی بالاتر، کمتر است. این بدین معنی است که محدوده کم ارتفاعهای بریده در طول لائینا به سمت استوا، و در طول ال نینو به سمت قطب جابجا می‌شود. این محققان در دوره مطالعاتی ۱۹۷۹-۲۰۰۸ در کل نیمکره جنوبی این ارتباط را بررسی کردند. نتایج مطالعات آنها نشان داد که در ۵ سال لائینو به‌طور میانگین ۳۵۰ کم ارتفاع بریده رخ داده است که بالاتر از

1 .ENSO
2 .NAO
3 .Favre

میانگین سالانه آن یعنی (۳۳۰) بوده است. که رابطه بین سال‌های لانینو و افزایش تعداد کم ارتفاع‌های بریده را تأیید می‌کند. همچنین بررسی‌های آن‌ها نشان داد که در ۵ سال ال نینو به‌طور میانگین ۳۳۱ کم ارتفاع بریده رخ داده است که تقریباً به اندازه میانگین می‌باشد. لذا در خصوص ال نینو رابطه مشخصی بین سال‌های ال نینو و فراوانی رخداد کم ارتفاع‌های بریده یافت نگردید. سینگلتون^۱ و ریسون^۲ (۲۰۰۷) در تحقیقی نشان دادند که در یک دوره ۳۰ ساله در آفریقای جنوبی، از ۷ سال لانینو، پنج سال آن (۱۹۷۴، ۱۹۸۹، ۱۹۹۶، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱) فراوانی کم ارتفاع بریده بالای میانگین، یک سال طبیعی و یک سال فراوانی کم ارتفاع‌های بریده زیر میانگین بوده است. ولی در تحقیق آنان در خصوص سال‌های ال نینو، رابطه آشکاری بین سال‌های ال نینو و فراوانی کم ارتفاع‌های بریده دیده نمی‌شود. با توجه به تحقیقات انجام گرفته، در سال‌های ال نینو که رودباد قوی است، فراوانی کم فشار بریده کمتر، و در سال‌های لانینو که رودباد ضعیف است، فراوانی کم فشارهای بریده بیشتر می‌گردد.

در این تحقیق با توجه به محدوده مورد مطالعه ۱۹۷۶-۲۰۱۵ فراوانی کم ارتفاع‌های بریده مؤثر بر ایران در طول دوره آماری بررسی و ارتباط آن با فازهای مثبت و منفی انسو مورد مطالعه قرار گرفت. در مجموع ۶۲۸ کم ارتفاع بریده در طول ۴۰ سال بر ایران تأثیرگذار بوده‌اند که دارای میانگین ۱۵/۷ کم ارتفاع بریده در هر سال می‌باشد (شکل ۳). از بین ۷ سال لانینو در دوره آماری ۴۰ ساله، ۵ سال آن یعنی سال‌های ۱۹۷۶، ۱۹۸۹، ۲۰۰۸، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ فراوانی کم ارتفاع بریده بالای میانگین بوده است. دو سال (۱۹۹۹ و ۲۰۰۰) نیز فراوانی ۱۵ کم ارتفاع بریده پایین‌تر از میانگین ولی نزدیک به آن بوده‌اند. یعنی حدود ۷۱ درصد سال‌های لانینو این فرضیه را که "در سال‌های لانینو فراوانی کم ارتفاع‌های بریده بالای میانگین است." تأیید می‌کنند. در سال‌های ال نینو، از ۱۱ سال ال نینو در طول دوره آماری ۴۰ ساله، ۷ سال آن یعنی سال‌های ۱۹۷۸، ۱۹۸۰، ۱۹۸۳، ۱۹۸۷، ۱۹۹۵، ۱۹۹۸ و ۲۰۱۰ فراوانی کم ارتفاع‌های بریده زیر میانگین و ۴ سال آن یعنی سال‌های ۱۹۸۸، ۱۹۹۲، ۲۰۰۳ و ۲۰۰۷ بالای میانگین بوده‌اند. یعنی حدود ۶۳ درصد ارتباط سال‌های ال نینو با فراوانی کم ارتفاع‌های بریده (در سال‌های ال نینو فراوانی کم ارتفاع‌های بریده کمتر است) را تأیید می‌کند.

شاخص NAO

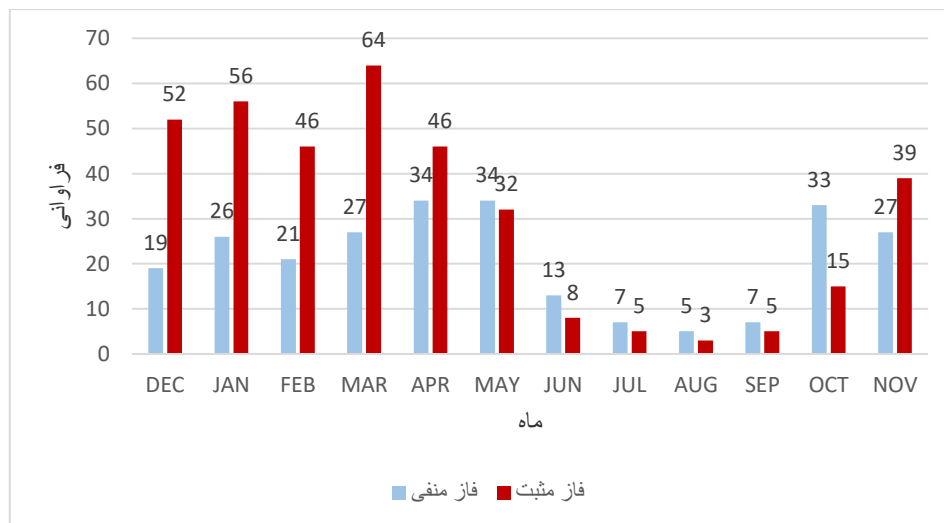
در خصوص نوسان اطلس شمالی، در فاز مثبت این نوسان، فشار سطحی بیش از میانگین در جنوب عرض ۵۵ درجه شمالی و یک کم فشار بی‌هنجار در ناحیه وسیعی در اطراف قطب شمال، سبب تشدید گرادیان نصف‌النهاری فشار می‌شود (نقل از نصرافهانی و همکاران، ۱۳۸۷، ۵۲). شابر^۳ و همکاران (۲۰۰۱) نشان دادند که وقتی NAO در فاز مثبت است یک جریان موجی شکل نصف‌النهاری تقویت شده مناسب برای شکل‌گیری بندال و کم فشار بریده در اطلس شمالی و اروپا وجود دارد. در پژوهشی راثول نیتو و همکاران (۲۰۰۷) اثرات نوسان اطلس شمالی (NAO) را روی توزیع فضایی کم ارتفاع‌های بریده در نیمکره شمالی بررسی کردند. آن‌ها یک دوره ۴۱ ساله ۱۹۹۸-۱۹۵۸ را در نیمکره شمالی مطالعه و نشان دادند که در مجموع فاز مثبت NAO فراوانی بیشتری از کم ارتفاع‌های بریده را نسبت به فاز منفی نشان می‌دهد.

در تحقیق حاضر وضعیت رخداد کم ارتفاع‌های بریده مؤثر بر ایران در فازهای مثبت و منفی NAO در دوره آماری ۲۰۱۵-۱۹۷۶ بررسی گردید.

1 .Singleton
2 .Reason
3 .Shabbar

توزیع ماهانه

در مجموع ۳۷۱ کم ارتفاع بریده در ماه‌های با فاز مثبت NAO و ۲۵۳ کم ارتفاع بریده در ماه‌های با فاز منفی NAO رخ داده است. به طوری که می‌توان گفت حدود ۶۰ درصد آن‌ها در فاز مثبت NAO بوده‌اند. شکل ۱۰ توزیع ماهانه آن‌ها را در دوره ۴۰ ساله نشان می‌دهد. در ماه‌های می، ژوئن، ژوئیه، آگوست، سپتامبر و اکتبر تعداد کم ارتفاع‌های بریده رخ داده در فاز منفی NAO بیشتر از تعداد آن در فاز مثبت NAO می‌باشد. و در بقیه ماه‌ها تعداد کم ارتفاع‌های بریده در فاز مثبت NAO بیشتر از تعداد آن در فاز منفی NAO است.



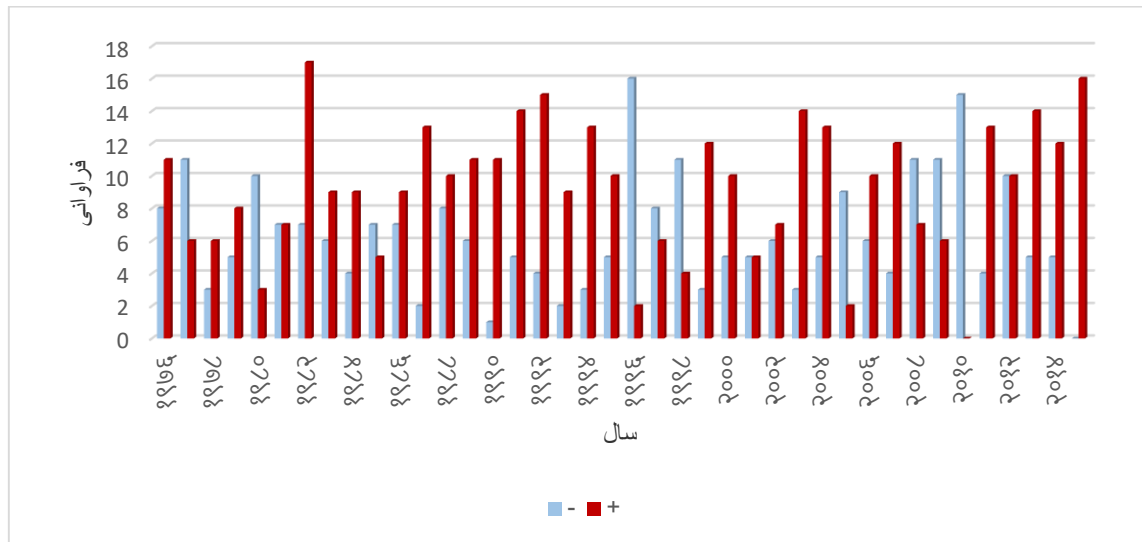
شکل ۱۰- توزیع ماهانه کم ارتفاع‌های بریده در فازهای مثبت و منفی NAO

بیشترین فراوانی در فاز مثبت NAO مربوط به ماه مارس با تعداد ۶۴ کم ارتفاع بریده می‌باشد. کمترین آن نیز در ماه آگوست با ۳ رخداد می‌باشد. همچنین بیشترین فراوانی در فاز منفی NAO در ماه‌های آپریل و می با تعداد ۳۴ کم ارتفاع بریده و کمترین آن در ماه‌های ژوئیه و سپتامبر با ۷ رخداد می‌باشد. از ماه می تا سپتامبر تفاوت در تعداد کم ارتفاع‌های بریده در هر ماه کم بوده ولی از ماه اکتبر تا آپریل این تفاوت زیاد می‌شود. در مجموع می‌توان گفت در فصول گرم سال برتری تعداد کم ارتفاع‌های بریده با فاز منفی NAO و در فصول سرد سال برتری با فاز مثبت NAO می‌باشد. از آن جا که در فاز مثبت نوسان اطلس شمالی، حرکات نصف‌النهاری شدیدتر می‌باشند، لذا در فصل سرد که کم ارتفاع‌های بریده حضور بیشتری در ایران دارند، در فاز مثبت نوسان اطلس شمالی، فراوانی بیشتری نسبت به فاز منفی آن دارند.

توزیع سالانه

شکل ۱۱ توزیع فراوانی کم ارتفاع‌های بریده را در دوره ۴۰ ساله برای فازهای مثبت و منفی NAO نشان می‌دهد. بیشترین فراوانی کم ارتفاع‌های بریده در فاز مثبت NAO مربوط به سال ۱۹۸۲ با فراوانی ۱۷ رخداد می‌باشد. کمترین فراوانی آن نیز در همین فاز متعلق به سال ۲۰۱۰ بوده که فراوانی رخداد کم ارتفاع بریده در این سال، صفر می‌باشد. چندین دوره را که غلبه رخدادها با فاز مثبت است، می‌توان شناسایی کرد. یک دوره از سال ۱۹۸۲ تا ۱۹۹۵ به استثنای سال ۱۹۸۵ می‌باشد. دوره دیگر از سال ۱۹۹۹ شروع و تا سال ۲۰۰۷ ادامه دارد که البته سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۵ را می‌بایست مستثنا کرد. و در نهایت دوره آخر که از سال ۲۰۱۱ تا سال ۲۰۱۵ می‌باشد. در خصوص فاز منفی NAO بیشترین فراوانی مربوط به سال ۱۹۹۶ با تعداد ۱۶ کم ارتفاع بریده می‌باشد. کمترین فراوانی هم مربوط به سال ۲۰۱۵ بوده که در این سال هیچ سیستم کم ارتفاع بریده در فاز منفی NAO مشاهده نگردیده است. در فاز منفی نیز دو دوره کوتاه‌مدت را می‌توان مجزا کرد. یک دوره مربوط به سال‌های ۱۹۹۶، ۱۹۹۷ و ۱۹۹۸

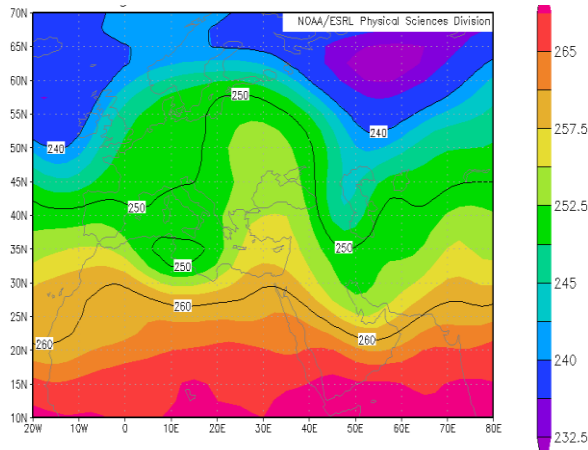
می باشد که در این سالها غلبه رخداد کم ارتفاع های بریده با فاز منفی است. دوره دیگر، سال های ۲۰۰۸، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ را شامل می شود. به طور کلی در طول دوره آماری ۴۰ ساله، غلبه با رخداد کم ارتفاع بریده در فاز مثبت NAO می باشد، به طوری که از مجموع ۴۰ سال، در ۲۸ سال فراوانی رخداد کم ارتفاع های بریده در فاز مثبت NAO از فاز منفی آن بیشتر است. و فقط در ۱۰ سال فراوانی رخداد کم ارتفاع های بریده در فاز منفی بیشتر از فاز مثبت است. در دو سال نیز تعداد آنها در فاز مثبت و منفی برابر است.



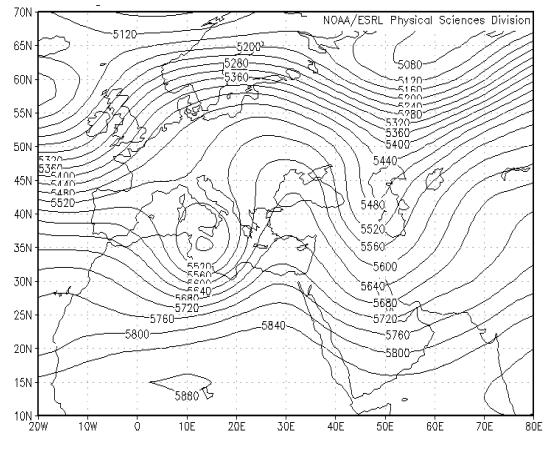
شکل ۱۱- توزیع سالانه کم ارتفاع های بریده در فازهای مثبت و منفی NAO

بررسی یک نمونه موردی کم ارتفاع بریده

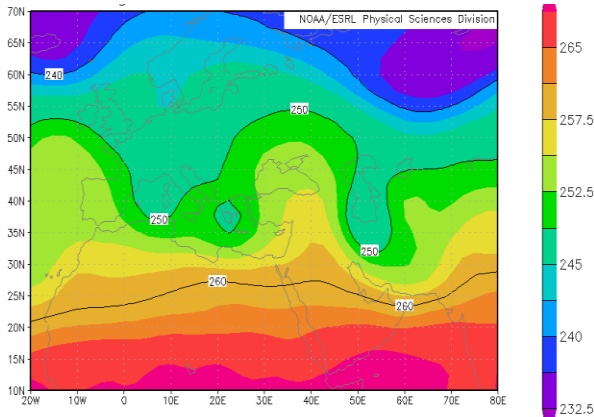
به منظور نشان دادن اثر کم ارتفاع بریده بر ایران، یک نمونه موردی که در تاریخ ۲۲ و ۲۳ فوریه ۱۹۹۱ به وقوع پیوسته و ایران را تحت تأثیر قرار داده، بررسی می گردد.



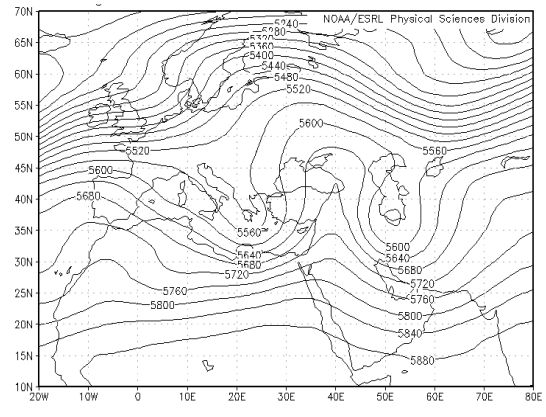
شکل ۱۲ A: دما تراز ۵۰۰ (۲۱ فوریه ۱۹۹۱)



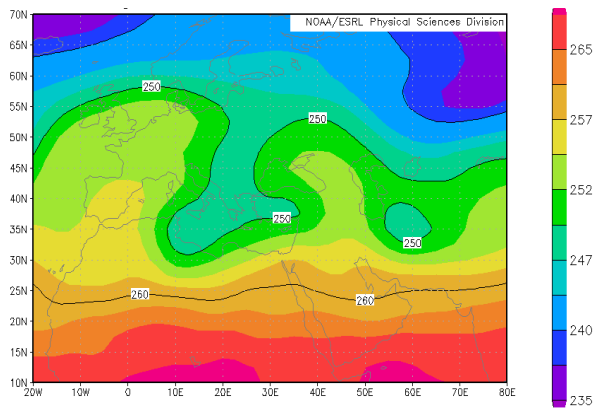
شکل ۱۲ B: ارتفاع تراز ۵۰۰ (21 فوریه ۱۹۹۱)



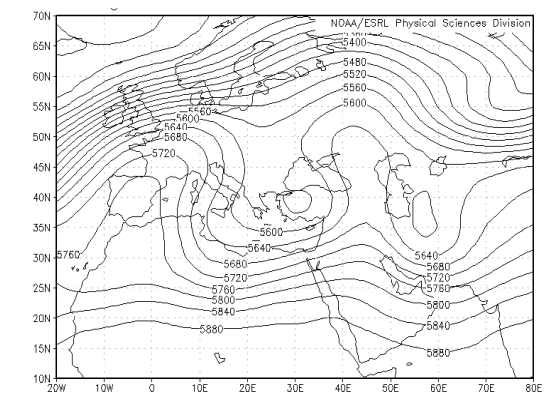
شکل ۱۲ C: دما تراز ۵۰۰ (۲۲ فوریه ۱۹۹۱)



شکل ۱۲ D: ارتفاع تراز ۵۰۰ (۲۲ فوریه ۱۹۹۱)



شکل ۱۲ E: دما تراز ۵۰۰ (۲۳ فوریه ۱۹۹۱)



شکل ۱۲ F: ارتفاع تراز ۵۰۰ (۲۳ فوریه ۱۹۹۱)

شکل ۱۲- میدان ارتفاع (سمت چپ بر حسب ژئوپتانسیل متر) و دما (سمت راست بر حسب کلونین) در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال از ۲۱ تا ۲۳ فوریه ۱۹۹۱. هم ارتفاعها بافاصله ۴۰ ژئوپتانسیل متر و هم دماها بافاصله ۲/۵ کلونین می باشند

شکل ۱۲ میدان ارتفاع (سمت چپ) و دما (سمت راست) در تراز میانی جو را از روز ۲۱ فوریه ۱۹۹۱ تا ۲۳ فوریه ۱۹۹۱ نشان می‌دهد. در روز ۲۱ فوریه، پشته ارتفاعی که از مصر تا اوکراین کشیده شده است، موجبات تشکیل الگوی امگا را فراهم آورده است. در بازوی غربی این الگو، یک کم ارتفاع بریده در محدوده جنوب ایتالیا تشکیل شده است. ولی در بازوی شرقی آن در این روز تنها یک ناوه در غرب دریای خزر به چشم می‌خورد. نقشه میدان دما در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در این روز، نشانگر فراتر هوای سرد از عرض‌های شمالی به سوی دو بازوی مدل امگا می‌باشد. به طوری که شدت این فرارفت در بازوی شرقی بیشتر از بازوی غربی است. این مسئله سبب می‌شود که در روز بعد (۲۲ فوریه)، بازوی شرقی مدل، از ناوه تبدیل به کم ارتفاع بریده گردد و یک منحنی بسته در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در مرکز این کم ارتفاع بریده تشکیل شود. این منحنی بسته درست در سواحل جنوبی دریای خزر قرار می‌گیرد. نقشه میدان دما در روز ۲۲ فوریه، نشان از ریزش هوای سرد از عرض‌های شمالی در بازوی شرقی امگا و در نواحی شمالی کشور می‌باشد. در این روز بیشترین بارش‌ها از ایستگاه‌های رشت با $۳۶/۸$ میلی‌متر، مشهد با $۱۴/۶$ ، سبزوار ۱۱ ، تهران $۱۰/۴$ ، بیرجند با $۷/۶$ ، بابلسر با $۷/۲$ ، گرگان و اراک با $۵/۳$ و خرم‌آباد با ۴ میلی‌متر گزارش شده است. در روز ۲۳ فوریه، کل مدل امگا حرکتی شرق سو داشته و کم ارتفاع بریده‌ای که در بازوی شرقی این مدل تشکیل شده، در شمال شرق ایران مستقر می‌شود. نقشه دما در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال به خوبی سردچال مستقر در شمال شرق ایران را نشان می‌دهد. در این روز عمده بارش این سیستم در شهر بیرجند با حدود ۷ میلی‌متر بوده است. در نهایت در روز ۲۴ فوریه این کم ارتفاع بریده مستقر در بازوی شرقی مدل امگا از بین می‌رود.

نتیجه گیری

در بررسی توزیع ماهانه کم فشارهای بریده مشخص گردید که ماه مارس با ۹۳ رخداد کم فشار بریده، در طول ۴۰ سال، دارای بیشترین فراوانی بوده و بعد از آن ماه‌های آپریل و ژانویه با فراوانی ۷۹ رخداد قرار دارند. کمترین فراوانی مربوط به ماه آگوست با ۸ رخداد می‌باشد. از لحاظ فصلی، فصل بهار با $۳۸/۲$ درصد، بیشترین وقوع کم فشار بریده در ایران را داشته است که با تعاریف شکل گیری سیستم‌های کم فشار بریده مبنی بر تضعیف رودباد در فصل بهار سازگار است. بعد از فصل بهار، زمستان با $۳۵/۵$ درصد، بیشترین رخداد را دارد که به دلیل فراوانی سیستم‌های کم فشار و غلبه بادهای غربی در این فصل است. در بررسی توزیع سالانه این سامانه‌ها، در مجموع ۶۲۸ کم فشار بریده در طول ۴۰ سال با تداوم حداقل یک روز در ایران شناسایی شد که دارای میانگین سالانه $۱۵/۷$ کم فشار بریده در هر سال می‌باشد. بیشترین فراوانی مربوط به سال ۱۹۸۲ با ۲۴ رخداد می‌باشد. بعد از آن سال ۲۰۱۲ با ۲۰ رخداد قرار دارد. سال‌های ۱۹۷۶، ۱۹۹۱، ۱۹۹۲ و ۲۰۱۳ با رخداد ۱۹ مورد کم فشار بریده بالاتر از نرمال قرار دارند. کمترین رخداد هم مربوط به سال ۱۹۷۸ با ۹ مورد، ۲۰۰۱ با ۱۰ مورد، ۱۹۹۳ و ۲۰۰۵ با ۱۱ مورد، ۱۹۸۵ و ۱۹۹۰ با ۱۲ مورد می‌باشند. خط رگرسیون در شکل ۴-۲۰ روند تغییرات رخداد این پدیده را در طول ۴۰ سال دوره آماری نشان می‌دهد. که دارای شیب ملایم مثبت می‌باشد. این نشان می‌دهد که فراوانی رخداد کم فشارهای بریده در طول این ۴۰ سال با شیب ملایم، صعودی بوده است. واکاوی ماندگاری و طول عمر این سامانه‌ها نشان داد که کم فشارهای بریده با طول عمر ۲ روز، بیشترین فراوانی را دارند. به طوری که $۱۶/۲$ درصد کل فراوانی را به خود اختصاص می‌دهند. بعد از آن طول عمر ۳ روز با $۱۳/۴$ درصد بیشترین فراوانی را دارد. در مجموع ۶۷ درصد کم فشارهای بریده طول عمر یک تا ۵ روز داشته‌اند. ارتباط فازهای مختلف ENSO با شدت و مداری بودن جریان جت مشهود است. در سال‌های النینو، رودباد قوی تر و لذا جریان‌های مداری قوی تر، جریان‌های نصف‌النهاری ضعیف تر و در نتیجه رخداد کم فشارهای بریده کمتر است. در سال‌های لانینو رودباد ضعیف تر، جریان‌های نصف‌النهاری قوی تر و لذا فراوانی رخداد کم فشارهای بریده بیشتر است (نیتو و همکاران، ۲۰۰۸). از بین ۷ سال لانینو در دوره آماری ۴۰ ساله، ۵ سال آن یعنی سال‌های ۱۹۷۶، ۱۹۸۹، ۲۰۰۸، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ فراوانی کم فشار بریده

بالای میانگین داشته‌اند. دو سال (۱۹۹۹ و ۲۰۰۰) با فراوانی ۱۵ کم فشار بریده پایین‌تر از میانگین ولی نزدیک به آن بوده‌اند. یعنی حدود ۷۱ درصد سال‌های لائینو فراوانی رخداد کم‌فشارهای بریده بالاتر از نرمال بوده است. در سال‌های ال نینو، از ۱۱ سال ال نینو در طول دوره آماری ۴۰ ساله، ۷ سال آن یعنی سال‌های ۱۹۷۸، ۱۹۸۰، ۱۹۸۳، ۱۹۸۷، ۱۹۹۵، ۱۹۹۸ و ۲۰۱۰ فراوانی کم‌فشارهای بریده زیر نرمال بوده است. و ۴ سال آن یعنی سال‌های ۱۹۸۸، ۱۹۹۲، ۲۰۰۳ و ۲۰۰۷ دارای فراوانی بالای میانگین بوده‌اند. یعنی در حدود ۶۳ درصد سال‌های ال نینو فراوانی کم‌فشارهای بریده کمتر از نرمال است. لذا می‌توان انتظار داشت که در سال‌های ال نینو کم‌فشارهای بریده کمتر و در سال‌های لائینو کم‌فشارهای بریده بیشتری به ایران وارد شوند. در خصوص ارتباط با NAO، محققان نشان داده‌اند که در فازهای مثبت نوسان اطلس شمالی فراوانی رخداد کم‌فشارهای بریده بیشتر از فاز منفی آن است. در ایران نیز حدود ۶۰ درصد کم‌فشارهای بریده در فاز مثبت NAO بوده‌اند. همچنین می‌توان گفت در فصول گرم سال برتری تعداد کم‌فشارهای بریده با فاز منفی NAO و در فصول سرد سال برتری با فاز مثبت NAO می‌باشد.

منابع و مأخذ

- امیدوار، کمال، صفر پور، فرشاد، محمودآبادی، مهدی، الفتی، سعید (۱۳۸۹)، تحلیل همدیدی اثرهای سرد چال در وقوع بارش‌های شدید در نواحی مرکز و جنوب غرب ایران، مدرس علوم انسانی-برنامه‌ریزی و آمایش فضا، دوره ۱۴، شماره ۴، صص ۱۸۹-۱۶۱.
- بنی‌هاشم، تاج‌الدین، اردکانی، حسین، مرادی، محمد (۱۳۷۸)، حرکت و رفتار یک کم ارتفاع بریده از دیدگاه کوفشاری، فیزیک زمین و فضا، جلد ۲۵، شماره‌های ۱ و ۲، صص ۴۶-۳۷.
- بنی‌هاشم، تاج‌الدین، اردکانی، حسین، تاج‌بخش، سحر (۱۳۷۹)، رفتار و حرکت یک کم ارتفاع بریده، فیزیک زمین و فضا، جلد ۲۶، شماره ۱، صص ۲۵-۱۵.
- راستی، فاطمه، امیدوار، کمال (۱۳۹۳)، تحلیل همدیدی اثر سردچال در وقوع شدیدترین بارش مشهد طی دوره آماری ۴۹ ساله (۱۳۸۹-۱۳۴۰)، دومین همایش ملی پژوهش‌های کاربردی در جغرافیا و گردشگری.
- رئیس‌پور، کوهزاد، خسروی، محمود، طاووسی، تقی، شریفی کیا، محمد (۱۳۹۲)، بررسی نقش سیستم‌های کم ارتفاع بریده در شکل‌گیری گردوغبارهای فراگیر جنوب غرب ایران، نخستین کنفرانس ملی آب و هواشناسی ایران.
- عزیزی، قاسم (۱۳۷۵)، بلو کینگ و اثرات آن بر بارش ایران، رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس.
- نصرافهانی، محمدعلی، محب‌الحجه، علیرضا، احمدی گیوی، فرهنگ (۱۳۸۷)، اثر نوسان اطلس شمالی (NAO) بر برخی کمیت‌های هواشناختی تروپوسفر در خاورمیانه و جنوب غرب آسیا، مجله ژئوفیزیک ایران، شماره ۲، صص ۶۴-۵۱.
- 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*, Vol. 30, No. 2, pp 525-540.
- Favre, A., Hewitson, B., Tadross, M., Lennard, C., Mota, R. (2012), Relationships Between Cut-Off Lows and The Semiannual and Southern Oscillations, *Climate Dynamics*, Vol. 38, pp. 1473-1487.
- Fuenzalida, H., Sanchez, R., Garreaud, R. (2005), A Climatology of Cutoff Lows in The Southern Hemisphere, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 110, pp. 1-10.
- 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.
- Gimeno, L., Nieto, R. Trigo, R. (2007), Decay of The Northern Hemisphere Stratospheric Polar Vortex and The Occurrence of Ccut-Off Low Systems an Exploratory Study, *Meteorology and Atmospheric Physics*, Volume 96, pp. 21-28.
- Gouget, H., Vaughan, G., Marengo, A., Smit, H. (2000), Decay of A Cut-Off Low and Contribution to Stratosphere-Troposphere Exchange, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, pp. 1117-1141.
- Hodgson, A., (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*, Vol. 8, pp. 38-105.
- Kentarchos, A., Davies, T., (1998), A Climatology of Cut-Off Lows at 200 Hpa in The Northern Hemisphere 1990-1994, *International Journal of Climatology*, Vol. 18, pp. 379-390.

- 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*, Vol. 118, pp. 307-318.
- 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*, Vol. 136, pp. 869-885.
- 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*, Vol. 96, pp. 103-119.
- 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*, Vol. 96, pp. 85-101.
- 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, *Journal of Climate*, Vol. 18, pp. 3085-3103.
- 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*, Vol. 1146, pp. 256-290.
- Oakley, N., Redmond, K. (2014), A Climatology of 500-HPA Closed Lows in The Northeastern Pacific Ocean, 1948-2011, *American Meteorological Society*, Vol. 53, pp. 1578-1592.
- Palmén, E., Newton, C. (1969), *Atmospheric Circulation Systems*, Academic Pub.
- Parker, S., Hawes, J., Colucci, S., Hayden, B. (1989), Climatology of 500 Mb Cyclones and Anticyclones, 1950-85, *American Meteorological Society*, Vol. 117, pp. 558-570.
- Qi, L., Wang, Y., Leslie, L. (2000), Numerical Simulation of a Cut-Off Low Over Southern Australia, *Meteorology and Atmospheric Physics*, Vol. 74, pp. 103-115.
- 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 Geophysical Research*, Vol. 115, pp. 1-15.
- 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.
- Singleton, A., Reason, C. (2007), A Numerical Model Study of an Intense Cutoff Low Pressure System Over South Africa, *Monthly Weather Review*, Vol. 135, pp. 1128-1150.
- Singleton, A., Reason, C. (2007), Variability in The Characteristics of Cut-Off Low Pressure Systems Over Subtropical Southern Africa, *International Journal of Climatology*, Vol. 27, pp. 295-310.
- Smith, B., Bosart, L., Keyser, D., Jean, D. (2002), A Global 500 HPA Cutoff Cyclone Climatology 1953-1999, 19 Th CONF. On Weather Analysis and Forecasting, San Antonio.