

## الگوهای کم فشار بریده در ایران

قاسم عزیزی<sup>۱</sup>، محمد مرادی<sup>۲</sup>، حسین رضایی<sup>۳\*</sup>

<sup>۱</sup> استاد، آب و هواشناسی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

<sup>۲</sup> دانشیار پژوهشگاه هواشناسی، تهران، ایران

<sup>۳</sup> استادیار، آب و هواشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۵/۰۹ ، تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۸/۰۵

### چکیده

کم فشارهای بریده، سامانه‌ها کم فشار در سطوح میانی هستند که در نتیجه تغییرات نصف‌النهاری جریان‌های رودباد ایجاد شده‌اند. هدف از این پژوهش بررسی الگوهای مختلف کم فشار بریده در ایران است. لذا در این مطالعه، برای یک دوره ۴۰ ساله ۱۹۷۶-۲۰۱۵ الگوهای کم فشارهای بریده و بارش‌های مرتبط با آنها بررسی گردید. برای شناسایی کم فشارهای بریده از الگوریتم رائل نی‌تو استفاده شد. در مجموع شش نوع الگو برای کم فشارهای بریده شناسایی گردید، که شامل بازوی شرقی امگا، بازوی غربی امگا، امگای معکوس، الگوی رکس، الگوی S و الگوی دوقطبی می‌باشند. نتایج نشان داد که الگوی بازوی شرقی امگا با ۲۶ درصد، بیشترین رخداد را در بین سایر الگوها دارد. بعد از آن الگوی امگای معکوس با ۲۳ درصد و الگوهای رکس، دوقطبی، مدل اس و در نهایت بازوی غربی امگا قرار دارند. بررسی فصلی الگوها نشان داد که در فصل زمستان بیشترین فراوانی مربوط به الگوی بازوی شرقی امگا و سپس الگوی رکس اختصاص داشت. در فصل تابستان الگوی رکس و سپس امگای معکوس بیشترین فراوانی را دارند و در فصول پاییز و بهار، الگوی بازوی شرقی امگا و سپس الگوی امگای معکوس بیشترین رخداد را داشتند. همچنین مشخص گردید، بیشترین درصد بارش‌های بیش از صد میلیمتر کم فشارهای بریده، مربوط به الگوی بازوی شرقی امگا بوده است.

کلمات کلیدی: کم فشار بریده، کم ارتفاع بریده، سردچال، الگوی کم فشار بریده.

## مقدمه

یک سامانه کم‌فشاربریده<sup>۱</sup>، یک کم‌فشار بسته در وردسپهر بالایی و میانی است که کاملاً از جریان اصلی بادهای غربی در رودباد جدا شده و معمولاً به سمت استوایی بادهای غربی عرض‌های میانی حرکت می‌کند (نی‌یتو<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۸: ۲۵۶). این سامانه ها، دارای حرکتی کند بوده و اغلب بر شرایط آب‌وهوایی در سطح زمین اثر می‌گذارند. یک کم‌فشاربریده معمولاً چرخه زندگی‌اش را مثل یک ناوه در وردسپهر میانی و بالایی شروع می‌کند. در جریان‌های نصف‌النهاری شدید، ناوه عمیق شونده مانند پیچان رود از جریان اصلی شمال آن بریده شده و به صورت یک سیستم حلقوی در طرف استوایی جریان اصلی بادهای غربی، در جنوب مسیر رودباد جبهه قطبی تشکیل می‌شود. چون این سامانه ها از فرود قبل حاصل شده‌اند هوای داخل آنها سردتر از محیط اطراف است و بدین دلیل به کم‌فشاربریده شده موسومند (پالمن<sup>۳</sup> و نیوتن<sup>۴</sup>، ۱۹۶۹: ۶۰۴). معمولاً وقتی یک ناوه هوای سرد از عرض‌های بالا به سمت استوا گسترش می‌یابند و یک چرخش چرخندی بسته در انتهای آن شکل می‌گیرد، کم‌فشاربریده ایجاد می‌شود. از نظر دینامیکی کم‌فشاربریده، ناحیه مجزایی است که در وردسپهر و پوش سپهر، تاوایی بالقوه بالایی دارد. به علت دوری از جریان اصلی رودباد حرکت کندی دارد و گاهی متوقف شده و شرایط بارندگی مداوم را برای مناطق تحت تأثیر خود به وجود می‌آورد (بلواشتاین<sup>۵</sup> و همکاران، ۱۹۹۳: ۵۹۵). دو عامل مرتبط با شکل‌گیری کم‌فشاربریده، یکی شکست امواج راسبی و اچرخندی از یک سو و فرارفت هوای با تاوایی بالقوه بالا در جهت استوا سوی این امواج از سوی دیگر می‌باشد که باعث عمیق‌تر شدن آنها می‌گردد. شکست امواج راسبی بیشتر با کاهش سرعت باد مداری اتفاق می‌افتد و چون کم‌فشارهای بریده با شکست امواج راسبی مرتبط هستند لذا پیشروی فصلی رودباد بر تغییرات فصلی کم‌فشاربریده

اثرگذار است (ندارانا<sup>۶</sup> و واگ<sup>۷</sup>، ۲۰۱۰: ۸۷۱). تلجارد<sup>۸</sup> (۱۹۸۵) وضعیت کم‌فشارهای بریده را به مدت ۱۰ سال روی آفریقای جنوبی مورد مطالعه قرار داد و خواص، فراوانی و رابطه آن با بارش را بررسی کرد. او در هر سال به‌طور متوسط ۱۱ کم‌فشاربریده را شناسایی نمود که دارای بیشترین تعداد در فصول بهار و پاییز بود. پرایز<sup>۹</sup> و واگان<sup>۱۰</sup> (۱۹۹۲) و کنتارچاس<sup>۱۱</sup> و دیویس<sup>۱۲</sup> (۱۹۹۸) تحلیل‌های اقلیم‌شناختی کم‌فشارهای بریده را در نیمکره شمالی به‌طور مشابه توسعه دادند. این مطالعات عموماً برای دوره‌های کوتاه‌مدت استفاده می‌شدند. به‌طوریکه مطالعه پرایز برای یک دوره یک‌ساله (اکتبر ۱۹۸۲ تا سپتامبر ۱۹۸۳) و مطالعه کنتارچاس برای یک دوره ۵ ساله (۱۹۹۰ تا ۱۹۹۴) انجام شد. این نویسندگان هر منحنی ژئوپتانسیل چرخندی بسته را در سطح فشاری ۲۰۰ هکتوپاسکال، جستجو می‌کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که کم‌فشارهای بریده در مراحل ابتدایی عمر، به‌صورت شبه ثابت یا دارای حرکت نامنظم هستند. پرایز یافت که تقریباً نیمی از این سیستم‌ها حرکت قابل‌ملاحظه‌ای دارند. کنتارچاس نتیجه گرفت که حدود ۵۰ درصد کم‌فشارهای بریده‌ای که بیشتر از ۳ روز عمر می‌کنند، مسیر قابل‌توجهی را می‌پیمایند (بیشتر از ۶۰۰ کیلومتر). مکین<sup>۱۳</sup> و همکاران (۱۹۹۲) روی چرخندزایی های شمال استرالیا بر پایه توسعه کم‌فشارهای بریده از نقطه‌نظر تئوری امواج تحقیق نمود. فونزالیدا<sup>۱۴</sup> و همکاران (۲۰۰۵) برای اولین بار شناسایی کم‌فشارهای بریده را با استفاده ترکیبی از روشهای کیفی و کمی در نیمکره جنوبی در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال انجام دادند. و تأکید آنها بر تغییرات داخل فصلی ناحیه ای این سامانه ها قرار داشت. نی‌یتو و همکاران (۲۰۰۵) خواص اقلیمی سامانه های کم‌فشاربریده را در نیمکره شمالی بررسی کردند. آنها در

6 Ndaana  
7 Waugh  
8 Taljard  
9 Price  
10 Vaughan  
11 Kentarchos  
12 Davies  
13 Mcinees  
14 Fuenzalida

1 Cutoff Low  
2 Nieto  
3 Palman  
4 Newton  
5 Bluestein

یک دوره ۴۱ ساله در سطح ۲۰۰ هکتوپاسکال این سامانه ها را با روش کیفی شناسایی کردند. در آمریکای جنوبی کمپتلا<sup>۱۵</sup> و پوسیا<sup>۱۶</sup> (۲۰۰۷) نشان دادند که در سطح ۲۵۰ هکتوپاسکال فراوانی کم‌فشارهای بریده در اعتدالین بیشتر از دیگر فصول است. هودسن<sup>۱۷</sup> (۲۰۱۱) کم‌فشارهای بریده را در شمال غرب آفریقا در آوریل ۲۰۱۱ تجزیه و تحلیل کرد و بارشهای سنگین در مراکش را با زمان استقرار این سامانه ها تحلیل کرد. چانگزی<sup>۱۸</sup> و همکاران (۲۰۱۳) خواص دینامیکی و شیمیایی کم‌فشاربریده را در شمال شرق چین بررسی کردند. آنها اظهار داشتند که آنالیز ازن وردسپهر شواهدی از انتقال و ترکیب هوای غنی از ازن پوش سپهر به درون وردسپهر بالایی و در ناحیه جلویی مرکز کم‌فشاربریده در این محل را نشان می‌دهد. اوکلی<sup>۱۹</sup> و ردmond<sup>۲۰</sup> (۲۰۱۴) اقلیم‌شناسی کم‌فشارهای بسته در شمال شرق اقیانوس آرام را در دوره ۲۰۱۱-۱۹۴۸ بررسی کردند. این محققین نشان دادند که فراوانی رخداد این سامانه هادر فازهای مثبت انسو بالاتر از میانگین است. در ایران بنی هاشم و همکاران (۱۳۷۸)، عبور کم‌فشار 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 نامبردگان در مقاله دیگری (۱۳۷۹)، کم‌فشار 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) بارشهای سنگین ناشی از پدیده سردچال را با بررسی یک نمونه موردی در نواحی مرکزی و جنوب غربی ایران مطالعه نمودند. در تحقیق دیگری رئیس پور و همکاران (۱۳۹۲)، نقش سیستم‌های کم‌فشاربریده را در شکل‌گیری گردوغبارهای فراگیر جنوب غرب ایران بررسی کردند. راستی و امیدوار

نیز اثر سردچال در وقوع شدیدترین بارش مشهود طی دوره ۴۹ ساله را بررسی کردند. رضایی (۱۳۹۶) در رساله دکتری، نقش کم‌فشارهای بریده در بارش ایران را بررسی نمود. عزیزی، مرادی و رضایی (۱۳۹۷) در مقاله‌ای، اقلیم‌شناسی کم‌فشارهای بریده موثر بر ایران و ارتباط آن با Enso و Nao را بررسی کرده و همچنین در مقاله‌ی دیگری (۱۳۹۸) محل شکل‌گیری و توزیع فضایی - زمانی کم‌فشارهای بریده موثر بر ایران را مطالعه نمودند. سامانه های کم‌فشاربریده معمولاً حرکت کندی دارند و گاهی در یک منطقه برای مدتی بی حرکت و ساکن می‌مانند، که به دلیل همین ویژگی سبب بروز بارشهای حدی و بروز سیلاب در آن مناطق می‌گردند، همچنین با توجه به هسته سرد مرکز کم‌فشارهای بریده دما نیز در مناطق تحت پوشش آنها، کاهش شدیدی را خواهد داشت. لذا با توجه به خلا مطالعاتی که در خصوص کم‌فشارهای بریده در کشور ایران وجود دارد و همچنین مخاطراتی که این سامانه ها ایجاد می‌کنند، در این مقاله سعی گردیده‌است، شکل‌گیری الگوهای کم‌فشارهای بریده در ایران بررسی گردد.

### مواد و روش‌ها

داده‌ها برای یک دوره ۴۰ ساله (۱۹۷۵ تا ۲۰۱۵) از سایت NCEP در شبکه‌های دو و نیم درجه‌ای برای محدوده عرض جغرافیایی ۱۰ تا ۶۰ درجه شمالی و طول جغرافیایی صفر تا ۸۰ درجه شرقی استخراج گردید. در این تحقیق بررسی کم‌فشارهای بریده در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال انجام گرفت. جهت شناسایی کم‌فشارهای بریده، از روش راثول نی‌یتو (۲۰۰۷، ۳۰۸۸) و روییتا (۲۰۱۰، ۴) استفاده گردید. مطابق با این روش، برای اینکه یک سامانه، کم‌فشاربریده لحاظ گردد، می‌بایست حائز چهار ویژگی بوده که در ادامه به آن پرداخته شده‌است. لذا الگوریتمی توسط نرم‌افزار متلب نوشته شد تا پس از دریافت داده‌ها، با بررسی شرایط مندرج در الگوریتم به‌صورت خودکار سامانه های کم‌فشاربریده را شناسایی کند. داده‌های استفاده شده در این الگوریتم

15 Campbella

16 Possia

17 Hodgson

18 Chuanxi

19 Oakley

20 Redmond

برای شناسایی کم‌فشارهای بریده شامل ارتفاع ژئوپتانسیل روزانه در تراز ۵۰۰ و ۶۰۰ هکتوپاسکال، باد مداری روزانه U در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و در نهایت دمای روزانه در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال می‌باشند.

#### الگوریتم شناسایی *Cut-off Low*:

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

- گردش چرخندی بسته (منحنی بسته): این مرحله شامل شناسایی کمینه ارتفاع ژئوپتانسیل نقاط در سطوح موردنظر است (۵۰۰ هکتوپاسکال). برای این کار برای هر روز، نقاطی در شبکه که ارتفاع ژئوپتانسیل آنها حداقل از شش نقطه (از هشت نقطه) اطرافشان کمتر باشند انتخاب شده، سپس آن نقاطی که تفاوت ارتفاع ژئوپتانسیل آنها با نقاط اطراف حداقل ۱۰ Gpm (ژئوپتانسیل متر) باشد، برای مرحله بعدی حفظ شده و بقیه از الگوریتم حذف می‌گردند.

- جداسدن 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 کمینه ارتفاع ژئوپتانسیل) می‌بایست جهت مخالف (علامت

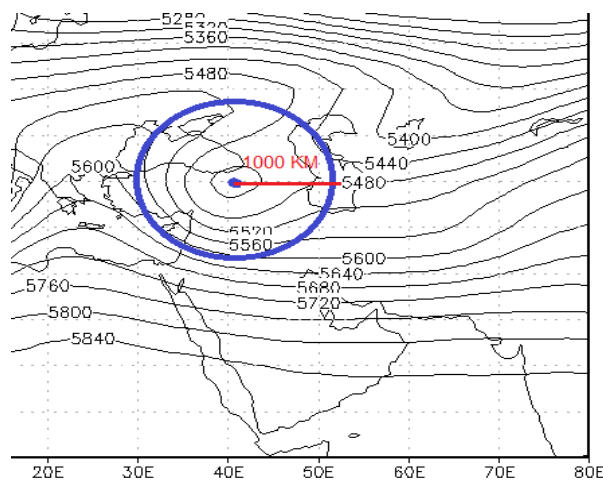
مخالف) داشته باشند.

- ضخامت معادل (Thickness): که همان ضخامت لایه ی اتمسفر بین دو سطح فشاری است. در یک کم‌فشار بریده این مشخصه بوسیله یک ضخامت برجسته در جلو کم‌فشار 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 (TFP): 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 کم‌فشارهای بریده بوسیله ناحیه کژ فشار در جلوی کم‌فشار که به یک باند ابر روبه‌جلو متصل است مشخص می‌شوند. تعریف ریاضی TFP به صورت زیر است:

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

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



شکل ۱. نمونه ای از یک کم‌فشار بریده موثر بر ایران

بازوی شرقی امگا، بازوی غربی امگا، امگای معکوس، الگوی رکس، الگوی S، الگوی دوقطبی

#### ب - بازوی شرقی امگا

امگا ( $\Omega$ ) یکی از مشهورترین اشکال بندال می‌باشد. در این الگو، یک پشته بسیار قوی تا عرض‌های بالا پیشروی کرده و در دو طرف آن دو ناوه یا کم‌فشاربریده قرار دارد. هر یک از قسمت‌های آن در سطح زمین با شرایط آب‌وهوایی متفاوتی همراه است به طوری که در زیر منطقه پشته در سطح زمین، هوا صاف و آفتابی و گرم‌تر از حد معمول می‌باشد، اما در بازوهای جانبی آن، به علت استقرار سامانه کم‌فشار، شرایط سطح زمین ناپایدار بوده و معمولاً با بارندگی همراه می‌باشد. چون وضعیت‌های ناشی از استقرار آن برای روزهای متوالی در منطقه تداوم دارد، پیش‌بینی پدیده‌های همدیدی آن با دقت بالایی امکان‌پذیر است. همچنین بندال به دلیل پایداری می‌تواند بر سامانه‌های بارشی موثر باشد و با سد کردن مسیر غرب به شرق بادهای غربی، طول عمر آنها را بیشتر از حد معمول افزایش داده و مسیر آنها را نیز تغییر دهد. بنابراین شناسایی رخداد این نوع الگو، پیش‌بینی شرایط هوا را راحت‌تر می‌کند، زیرا نواحی تحت سیطره ناوه و پشته برای چندین روز متوالی قابل شناسایی است. در مواقعی که در بازوی راست الگوی امگا، کم‌فشاربریده تشکیل گردد، الگوی بازوی شرقی امگا شکل می‌گیرد (شکل ۲، ۲L). کم‌فشاربریده سمت راست امگا، در سطح زمین با یک کم‌فشار همراهی دارد و هر چه کم‌فشاربریده عمیق‌تر باشد، کم‌فشار سطح زمین نیز قوی‌تر است و عمر بیشتری دارد و جبهه‌های آن نیز قوی‌تر بوده و در نتیجه منجر به بارش خوب و مداوم می‌شود. چون بندال امگا به صورت یک مانع عمل می‌کند، حرکت کم‌فشار سطح زمین کند شده و مراحل تشکیل، تقویت و تضعیف جبهه نیز کند می‌شود که در نتیجه منجر به تداوم بارش می‌شود. معمولاً بارش‌های الگوی کم‌فشاربریده سمت راست امگا نسبت به بارش‌های الگوی سمت چپ از شدت و تداوم بیشتری برخوردارند و در سطح زمین نیز

گرادیان دما را نشان می‌دهد (نی‌یتو و همکاران، ۲۰۰۷). در خصوص روش شناسایی کم‌فشارهای بریده موثر بر ایران، سامانه‌هایی اثرگذار بر ایران معرفی شدند، که دارای حداقل یکی از شرایط ذیل باشند:

- ۱- تمام یا قسمتی از منحنی بسته کم‌فشاربریده 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 کم‌فشاربریده، قرار داشته باشد.
- در این مرحله از بررسی دستی نقشه‌ها و نرم‌افزار GIS استفاده گردید.

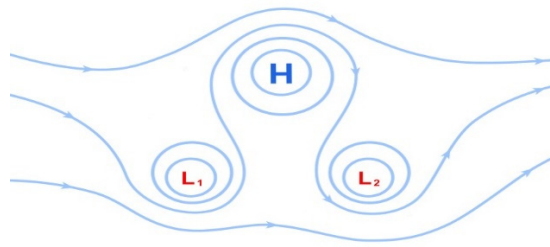
بعد از شناسایی مراکز کم‌فشاربریده توسط الگوریتم در طول دوره ۴۰ ساله و تفکیک کم‌فشارهای بریده موثر و غیر موثر بر ایران، فراوانی رخداد این سامانه‌ها در سال‌ها و ماه‌های مختلف، مشخص گردید. سپس با بررسی تمام موارد از روی نقشه‌ها، شش الگو برای کم‌فشارهای بریده موثر بر ایران شناسایی گردید. برای مطالعه تأثیر کم‌فشارهای بریده بر بارش ایران، ۲۳ ایستگاه سینوپتیک در سطح کشور در نظر گرفته شد.

### نتایج و بحث

#### الف - الگوهای کم‌فشاربریده

کم‌فشارهای بریده تحت تأثیر حرکت موجی بادهای غربی به اشکال و الگوهای مختلفی شکل می‌گیرند و بیشتر تحت تأثیر الگوهای بندالی می‌باشند. ارتباط و تأثیرپذیری الگوهای کم‌فشاربریده با سامانه‌های بندالی به قدری زیاد است که بررسی جداگانه آن امکان‌پذیر نیست. در واقع بیشتر الگوهای کم‌فشاربریده، تحت تأثیر الگوهای بندال بوده و شکل‌گیری این سیستم‌ها تابعی از الگوهای بندالی می‌باشند.

در این تحقیق با بررسی دستی نقشه‌های روزانه کم‌فشارهای بریده موثر بر ایران در طول دوره آماری ۴۰ ساله، در مجموع شش نوع الگو برای کم‌فشارهای بریده موثر بر ایران شناسایی گردید، که در ادامه مورد بررسی قرار خواهند گرفت. این الگوها به شرح ذیل می‌باشند:



شکل ۲. الگوی بازوی شرقی و غربی امگا

امگا و در نواحی شمالی کشور می‌باشد. به‌طوریکه سبب شکل‌گیری یک منحنی بسته در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در مرکز این کم‌فشار گردیده است. در این روز بیشترین بارش‌ها از ایستگاه‌های رشت با ۳۶/۸ میلیمتر و مشهد با ۱۴/۶ میلیمتر گزارش شده‌است.

#### ج - بازوی غربی امگا

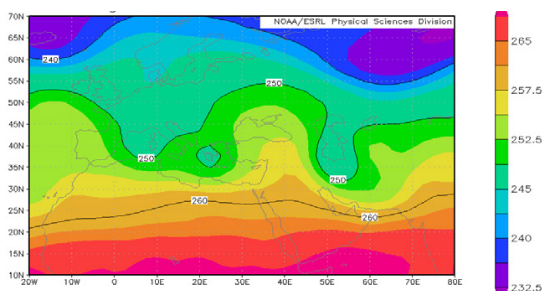
در بندال امگا، هر گاه در بازوی سمت چپ این الگو، کم‌فشاربریده تشکیل گردد، الگوی بازوی غربی امگا شکل می‌گیرد. این الگو نیز ویژگی‌های بندال امگا، از جمله تثبیت آن برای چندین روز و داشتن قابلیت پیش‌بینی خوب را دارا می‌باشد. از ویژگی‌های الگوی بندال امگا، طول عمر زیاد آن است که مدتی طولانی در مکانی استقرار پیدا کرده و مسیر بادهای غربی را سد می‌کند (شکل ۲، L<sub>1</sub>). بندال‌های امگایی که مرکز آنها در عرض‌های ۴۰ تا ۶۵ و طول جغرافیایی ۵۰ تا ۷۰ درجه شرقی قرار دارد، کم‌فشاربریده بازوی غربی آنها آب‌وهوای ایران را متاثر می‌کند. هر چند فراوانی این الگو از الگوی قبل کمتر است، اما برخی مواقع به مدت طولانی و چندین روز ایران را تحت تأثیر قرار داده و منجر به بارش مداوم، در برخی مناطق می‌شود. ناوه غربی، در برخورد با پشته بلند و قوی بندال امگا مجبور به ماندگاری و گسترش جنوب سو شده که منجر به عمیق‌تر شدن آن شده و اغلب به کم‌فشاربریده تبدیل می‌شود. کم‌فشاربریده غربی امگا همیشه با نوع شرقی آن قرینه نیست و ممکن است هر یک از آنها عمق متفاوتی داشته باشند. شکل‌های ۵ و ۶ ارتفاع و دمای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای یک

کم‌فشار قوی تر حاکم است که به دلیل ریزش هوای سرد از عرض‌های بالا به قسمت عقب کم‌فشاربریده می‌باشد. چون در این الگو، هوا ابتدا در پشته امگا جریان یافته و هوای سرد را به بازوی شرقی امگا هدایت می‌کند که همین امر سبب تقویت جبهه سرد می‌گردد. در بندال‌های قوی عمق کم‌فشاربریده بیشتر است و سامانه‌های جوی به عرض‌های پایین‌تر می‌آیند. بنابراین این الگو حتی بر مسیر سامانه‌های جوی موثر است و بیشتر سامانه‌های جوی در صورت عدم حضور الگوی امگا، از مسیرهای شمالی‌تری عبور می‌کنند.

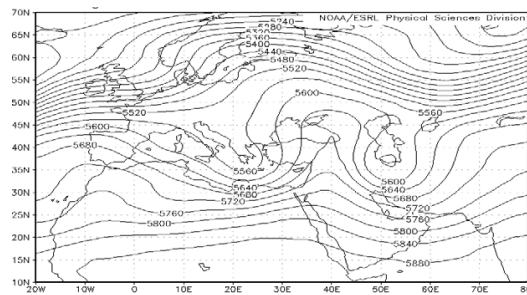
بندال‌های امگایی که ایران را تحت تأثیر قرار می‌دهند مرکز پشته آنها بیشتر در عرض‌های بین ۴۰ تا ۶۵ درجه شمالی و در مرکز و شرق اروپا می‌باشند. از طرفی با توجه به این که ایران در شرق منطقه بیشینه رخداد بندال اروپا قرار دارد، بیشتر تحت تأثیر کم‌فشاربریده سمت راست این بندال‌ها که بیشتر از نوع امگا هستند، قرار می‌گیرد. بنابراین بندال‌های امگایی که بازوی شرقی آنها ایران را تحت تأثیر قرار می‌دهند، در اروپا تشکیل می‌شوند. زمانی که ایران در جلوی بازوی شرقی بندال امگا قرار می‌گیرد، در صورت وجود سایر شرایط، به تدریج از غرب، بارش‌ها، عمده و سنگین خواهد بود. در شکل‌های ۳ و ۴ نقشه ارتفاع و دمای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را برای یک نمونه موردی از کم‌فشاربریده با الگوی بازوی شرقی امگا که در ۲۲ فوریه ۱۹۹۱، نیمه شمالی ایران را تحت تأثیر قرار داده، نشان داده شده‌است. مرکز این کم‌فشار در سواحل جنوبی دریای خزر قرار گرفته‌است. نقشه میدان دما، نشان از ریزش هوای سرد از عرض‌های شمالی در بازوی شرقی

جدول ۱. بارش روزانه ایستگاه‌های منتخب در ۲۲ فوریه ۱۹۹۱

تاریخ	ارومیه	تبریز	زنجان	سقز	کرمانشاه	خرم‌آباد	اراک	اصفهان	رشت	بابلسر	تهران	اهواز	بوشهر	شیراز	گرگان	سبزوار	مشهد	بیرجند	یزد	کرمان	بندرعباس	ایرانشهر	زاهدان	مجموع
۲۲ فوریه	۰	۰	۰/۱	۰/۵	۰/۱	۴	۵/۳	۰	۳۶/۸	۷/۳	۱۰/۴	۰	۰	۰/۲	۵/۳	۱۱	۱۴/۶	۷/۶	۰	۰/۷	۰	۰	۰	۱۰۳/۷



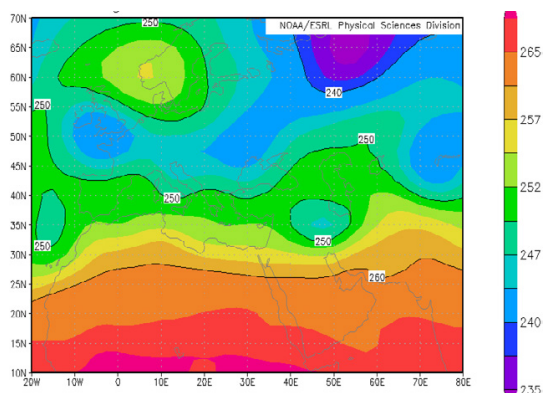
شکل ۴. دما تراز ۵۰۰ (۲۲ فوریه ۱۹۹۱)



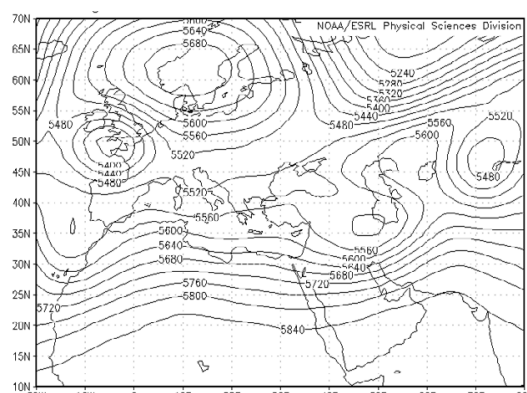
شکل ۳. ارتفاع تراز ۵۰۰ (۲۲ فوریه ۱۹۹۱)

جدول ۲. بارش روزانه ایستگاه‌های منتخب در ۸ مارس ۱۹۹۶

تاریخ	ارومیه	تبریز	زنجان	سقز	کرمانشاه	خرم‌آباد	اراک	اصفهان	رشت	بابلسر	تهران	اهواز	بوشهر	شیراز	گرگان	سبزوار	مشهد	بیرجند	یزد	کرمان	بندرعباس	ایرانشهر	زاهدان	مجموع
۸ مارس	۲	۱/۳	۳/۸	۰/۵	۲/۷	۰	۰	۰	۹	۰/۸	۳/۸	۰	۰	۰/۸	۰/۸	۱/۹	۱۷/۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۶/۸

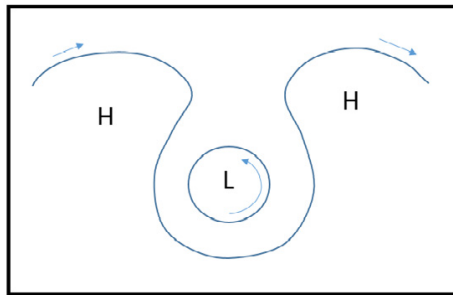


شکل ۶. دما تراز ۵۰۰ (۸ مارس)



شکل ۵. ارتفاع تراز ۵۰۰ (۸ مارس)

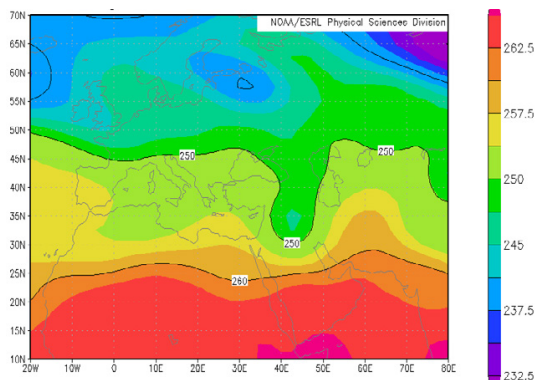




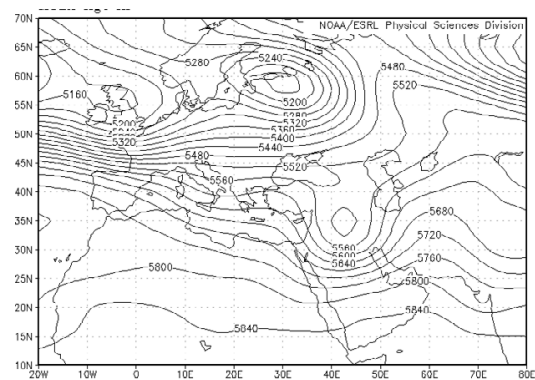
شکل ۷. الگوی امگای معکوس

جدول ۳. بارش روزانه ایستگاه‌های منتخب در ۱۵ دسامبر ۱۹۷۹

تاریخ	ارومیه	تبریز	زنجان	سبز	کرمانشاه	خرم آباد	اراک	اصفهان	رشت	بالسر	تهران	اهواز	بوشهر	شیراز	گرگان	سبزوار	مشهد	بندر جندق	یزد	کرمان	بندرعباس	ایرانشهر	زاهدان	مجموع
۱۵ دسامبر	۱	۱	۱	۳	۱۱	۶	۸	۱۳	۴۴	۰	۲	۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۹۸/۰۱



شکل ۹. دما تراز ۵۰۰ (۱۵ دسامبر ۱۹۷۹)



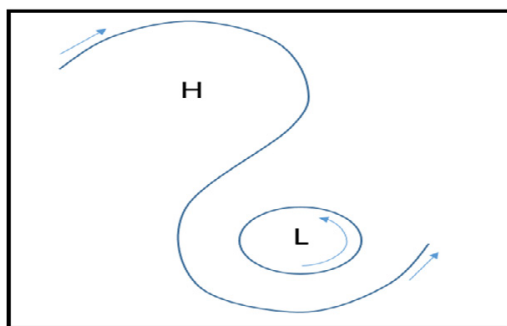
شکل ۸. ارتفاع تراز ۵۰۰ (۱۵ دسامبر ۱۹۷۹)

د - امگای معکوس

در این الگو که به شکل حرف امگای معکوس می‌باشد، یک ناوه عمیق در بین دو پشته، به عرض‌های جغرافیایی پایین کشیده شده و یک منحنی بسته شکل می‌گیرد. در واقع جریان، بریده شده و در این حالت هوای سرد به عرض‌های پایین‌تر جریان یافته و در آنجا محبوس می‌شود (شکل ۷). الگوی امگای معکوس که مرکز کم‌فشار آنها در عرض‌های ۲۵ تا ۴۵ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۳۰ تا ۶۰ درجه شرقی قرار دارند، آب‌وهوای ایران را متأثر می‌کنند. شکل‌های ۸ و ۹ ارتفاع و دمای تراز ۵۰۰

کم‌فشار بریده با الگوی بازوی غربی امگا در ۸ مارس ۱۹۹۶، که نیمه شمالی ایران را تحت تأثیر قرار داده، مشاهده می‌گردد. در این الگو، پشته روی دریاچه آرال، بازوی شرقی در غرب دریاچه بایکال و بازوی غربی در شمال غرب ایران مستقر شده‌اند. این سامانه در این روز فعالیت بارشی خوبی را برای ایران داشته است. به‌طوریکه سبزوار ۱۹، مشهد ۱۷/۴ و رشت ۹ میلیمتر بارش داشته‌اند. میدان دما در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در این روز نشان‌گر استقرار دو سردچال در دو بازوی الگوی امگا می‌باشند.





شکل ۱۰. الگوی رکس

هکتوپاسکال برای یک کم‌فشاربریده با الگوی امگای معکوس که تاریخ ۱۵ دسامبر ۱۹۷۹، کل نیمه غربی ایران را تحت تأثیر قرار داده، مشاهده می‌گردد. مرکز این کم‌فشار در کشور عراق قرار گرفته است. شکل ۹ (میدان دما) نفوذ و ماندگاری هسته سرد در مرکز این کم‌فشار را نشان می‌دهد. در روز ۱۵ دسامبر بارش‌های جلوی این سیستم در مناطق شمال غرب، غرب و جنوب غرب ایران، شروع می‌گردد. به‌طوریکه شهرهای رشت ۴۴ میلیمتر، اصفهان ۱۳ و کرمانشاه ۱۱ میلیمتر در این روز بارش داشته‌اند.

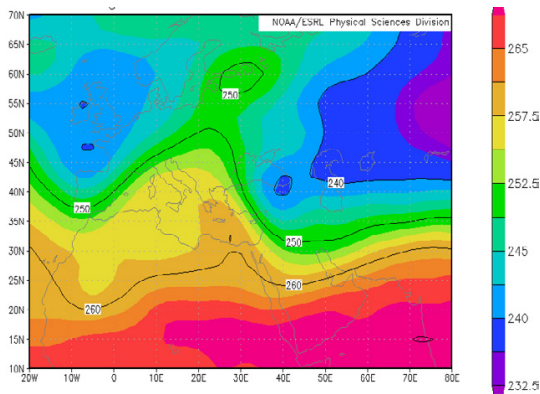
#### هـ - الگوی رکس

الگوی رکس یکی از مهمترین الگوهای بن‌دال می‌باشد که در سال ۱۹۵۰ توسط دانیل. اف. رکس<sup>۲۱</sup> شناسایی و به نام او نام‌گذاری شد. در بیشتر مواقع این الگو در اثر تخریب بازوی غربی امگا، بوجود می‌آید. در این الگو یک پشته قوی در شمال یا شمال غرب یک زبانه کم‌فشار قوی قرار می‌گیرد. در این سامانه در مسیر بادهای غربی ابتدا پشته و سپس ناوه قرار دارند و جریان ابتدا حول پشته و سپس حول ناوه طوری جریان دارد که هوا در یک مسیر منحنی و در یک محدوده طول جغرافیایی، از عرض‌های بالا به سمت عرض‌های پایین آورده می‌شود. رخداد این الگو منجر به ایجاد هوای سرد و پایدار در عرض‌های جغرافیایی بالا در محدوده پشته و هوای گرم و ناپایدار در عرض‌های پایین در محدوده ناوه می‌گردد. مقدار گرادیان

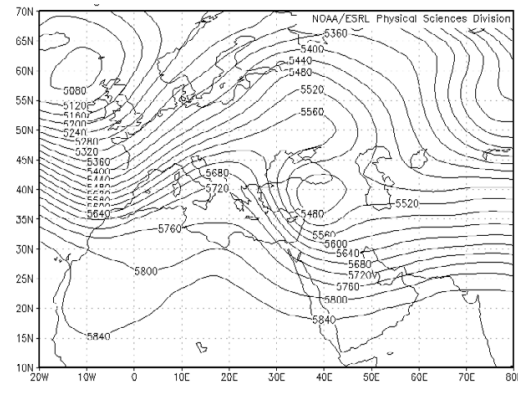
نرمال دما کم شده و همین امر منجر به حرکت کند شرق سوی سامانه می‌گردد (حبیبی، ۱۳۸۶). شکل این الگو مانند S برعکس بوده و جریان باد به علت چرخش به دور این شکل، کند شده و همین امر منجر به ماندگاری آن در منطقه می‌گردد (شکل ۱۰). در این الگو معمولاً در ناوه جنوبی، کم‌فشاربریده شکل می‌گیرد. اصولاً وقتی پشته با کجی محور جنوب غربی - شمال شرقی شکل می‌گیرد، در برخی مواقع یک کم‌فشاربریده در جنوب شرقی آن تشکیل گردیده و باعث بوجود آمدن الگوی رکس می‌شود. معمولاً در این الگو، وقتی مرکز پشته در عرض‌های ۴۰ تا ۶۵ درجه شمالی و در شرق اروپا شکل می‌گیرد، کم‌فشاربریده واقع در جنوب شرق آن ایران را تحت تأثیر قرار می‌دهد. شکل‌های ۱۱ و ۱۲ ارتفاع و دمای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای یک کم‌فشاربریده با الگوی رکس که در تاریخ ۲۵ ژانویه ۲۰۰۱، استان گیلان و شمال غرب کشور را تحت تأثیر قرار داده، مشاهده می‌گردد. مرکز این کم‌فشار در شرق کشور ترکیه قرار گرفته است. جریان هوای سرد در امتداد مدل رکس و از شمال مدل، با حرکت و اچرخندی به سوی ناوه فرارفت می‌گردد. که این عوامل سبب عمیق‌تر شدن ناوه و تبدیل آن به کم‌فشاربریده شده‌است. نقشه میدان دما در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان دهنده‌ی فرارفت هوای گرم از طریق پر ارتفاع مدل به عرض‌های بالاتر و فرارفت هوای سرد از طریق کم‌فشار مدل به عرض‌های پایین‌تر می‌باشد. بارش‌ها در ایستگاه رشت ۱۲، ارومیه ۷/۹ و سقز ۶/۸ میلیمتر ثبت گردیده است.

جدول ۴. بارش روزانه ایستگاه‌های منتخب در ۲۵ ژانویه ۲۰۰۱

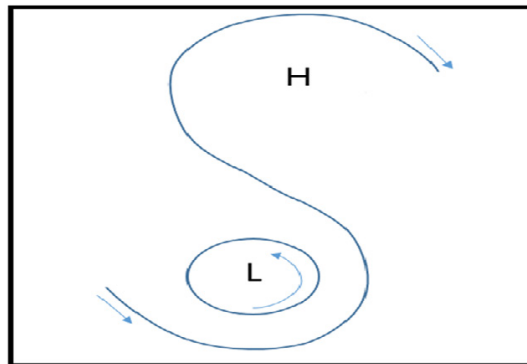
تاریخ	ارومیه	تبریز	زنجان	سنقر	کرمانشاه	خرم‌آباد	اراک	اصفهان	رشت	پابلسر	تهران	اهواز	بوشهر	شیراز	گرگان	سیریز	مشهد	بیرجند	یزد	کرمان	بندرعباس	ایران‌شهر	زاهدان	مجموع
۲۵ ژانویه	۷/۹	۰	۰/۲	۶/۸	۰	۰	۰	۰	۱۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۶/۹۲



شکل ۱۲. دما تراز ۵۰۰ (۲۵ ژانویه)



شکل ۱۱. ارتفاع تراز ۵۰۰ (۲۵ ژانویه)



شکل ۱۳. الگوی S

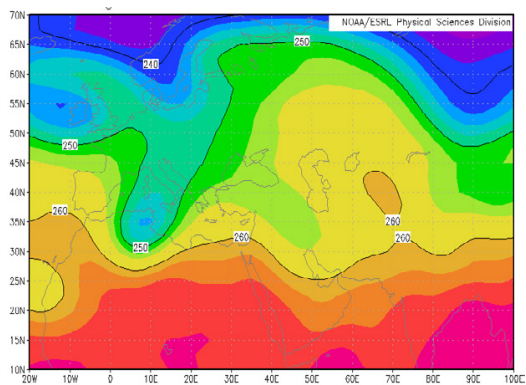
گرم‌تر عرض‌های جغرافیایی پایین تر از شرق ناوه، حول پشته جریان یافته و به عرض‌های بالاتر جریان می‌یابند. این الگو مانند حرف S بوده و معمولاً در ناوه جنوبی آن، کم‌فشاربریده شکل می‌گیرد. اصولاً وقتی پشته با کجی محور شمال غربی-جنوب شرقی شکل می‌گیرد، در برخی حالات در زیر آن یک کم‌فشاربریده تشکیل می‌گردد. در این حالت الگوی S بوجود می‌آید.

و - الگوی S

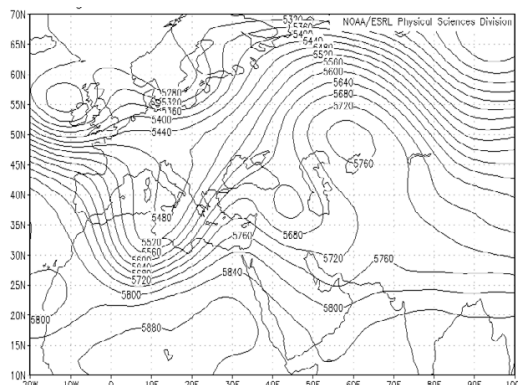
این الگو اغلب در اثر تخریب بازوی شرقی الگوی امگا بوجود می‌آید. در این الگو یک پشته در شمال یا شمال شرق یک ناوه قرار می‌گیرد. این الگو درست عکس الگوی رکس می‌باشد، به‌طوریکه بادهای غربی در مسیر خود ابتدا به ناوه رسیده و حول آن جریان می‌یابند و سپس به پشته برخورد می‌نمایند (شکل ۱۳). در این الگو هوای

جدول ۵. بارش روزانه ایستگاه‌های منتخب در ۱۷ آوریل ۲۰۱۲

مجموع	زاهدان	ایرانشهر	بندرعباس	کرمان	یزد	بندر جند	مشهد	سیزوار	گرگان	شیراز	پوشهر	اهواز	تهران	بالسر	رشت	اصفهان	اراک	خرم‌آباد	کرمانشاه	سقز	زنجان	تبریز	ارومیه	تاریخ	
۵۰/۷۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۷ آوریل																									



شکل ۱۵. دما تراز ۵۰۰ (۱۷ آوریل)



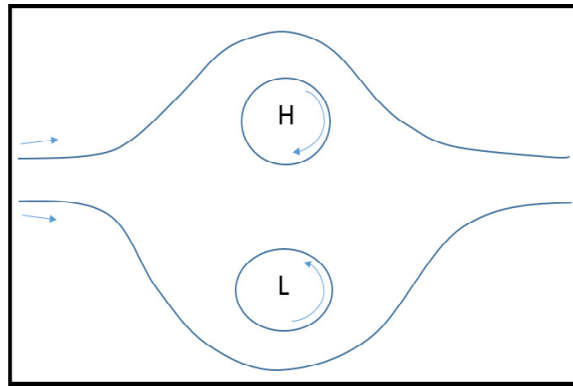
شکل ۱۴. ارتفاع تراز ۵۰۰ (۱۷ آوریل)

تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نفوذ زبانه هوای سرد را از سمت اروپا به داخل این سردچال نشان می‌دهد.

#### ز - الگوی دوقطبی

هر گاه یک مرکز پر ارتفاع در شمال یک مرکز کم‌فشار قرار گیرد، سامانه دوقطبی تشکیل می‌شود. در این الگو، جریان اصلی رودباد به دو شاخه تقسیم می‌شود، یکی از سمت شمال آن و دیگری از سمت جنوب آن گذر می‌کنند (شکل ۱۶). سامانه‌هایی که از سمت غرب به این ناحیه می‌رسند در ناحیه پشته و ناوه ضعیف می‌شوند، اما اگر از ما بین دو شاخه بگذرند حرکت آنها کند و تا حدودی متوقف می‌شوند. این نوع الگو روی سواحل غربی اروپا و آمریکای شمالی بیشتر دیده می‌شوند (بلواشتاین<sup>۲۲</sup>، ۱۹۹۳، ۵۹۹). معمولاً در الگوی دوقطبی سامانه کم‌فشار جنوبی به صورت منحنی بسته یا کم‌فشاربریده ظاهر

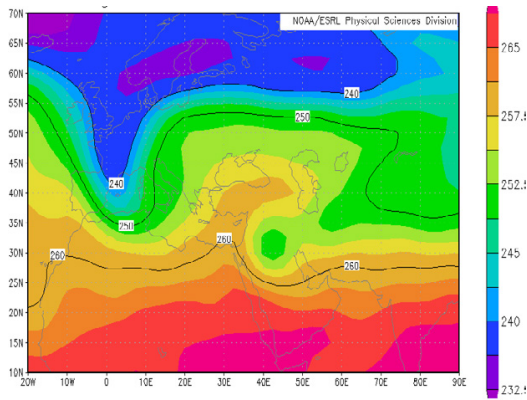
معمولاً وقتی مرکز پشته در عرض جغرافیایی ۴۰ تا ۶۵ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ تا ۷۰ درجه شرقی شکل می‌گیرد، کم‌فشاربریده جنوب غرب آن ایران را تحت تأثیر قرار می‌دهد. شکل‌های ۱۴ و ۱۵ ارتفاع و دمای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای یک کم‌فشاربریده با الگوی S که در تاریخ ۱۷ آوریل ۲۰۱۲، شمال غرب و غرب ایران را تحت تأثیر قرار داده، مشاهده می‌گردد. در این روز، در اثر سد شدن ناوه بوسیله پشته ی جلویی و کجی منفی پشته بر روی ناوه، حرکت چرخندی ناوه به حرکت کامل چرخشی تبدیل شده و منحنی بسته در ناوه شکل گرفته و کم‌فشاربریده ایجاد شده‌است. مرکز این کم‌فشار بسته در مرز ایران و ترکیه قرار گرفته و مناطق شمال غربی و غربی ایران در جلوی این کم‌فشار بسته قرار گرفته و شرایط مناسب برای بارندگی ایجاد شده‌است. میزان بارش برای شهرهای خرم‌آباد ۱۶، سقز ۹ و اراک ۶/۸ میلیمتر گزارش شده‌است. میدان دما در شکل ۱۵ در



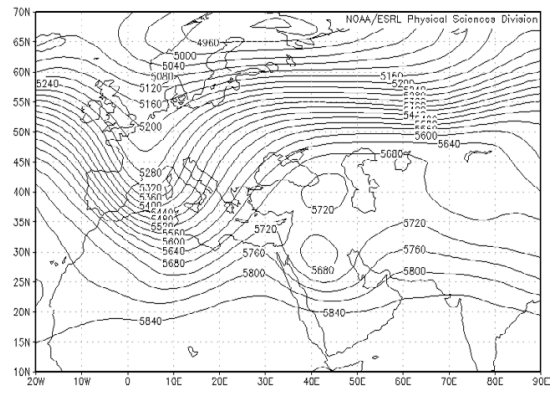
شکل ۱۶. الگوی دوقطبی

جدول ۶. بارش روزانه ایستگاه‌های منتخب در ۱۸ دسامبر ۱۹۸۲

تاریخ	ارومیه	تبریز	زنجان	سنقر	کرمانشاه	خرم‌آباد	اراک	اصفهان	رشت	بابلسر	تهران	اهواز	یوشهر	شیراز	گرگان	سبزوار	مشهد	بیرجند	یزد	کرمان	بندرعباس	ایران‌شهر	زاهدان	مجموع
۱۸ دسامبر	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	۹	۰٫۱	.	.	.	.	.	.	.	.	.	۹٫۱



شکل ۱۸. دما تراز ۵۰۰ (۱۸ دسامبر)



شکل ۱۷. ارتفاع تراز ۵۰۰ (۱۸ دسامبر)

جغرافیایی ۴۰ تا ۶۵ درجه شمالی و از شرق اروپا تا آسیای میانه قرار دارند، کم‌فشاربریده جنوب آنها آب‌وهوای ایران را متاثر می‌کنند.

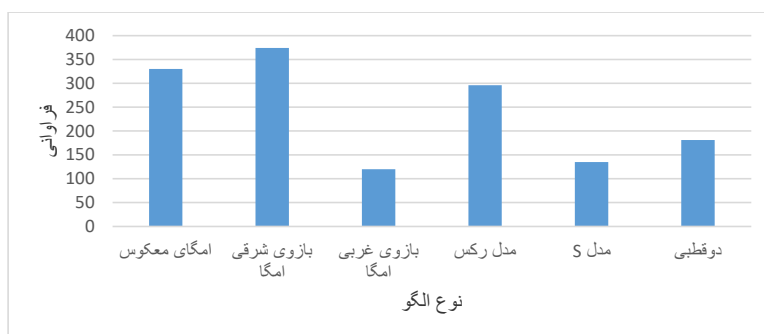
شکل‌های ۱۷ و ۱۸ ارتفاع و دمای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای یک کم‌فشاربریده با الگوی دوقطبی که در تاریخ ۱۸ دسامبر ۱۹۸۲، مناطق جنوبی، جنوب غربی و مرکزی ایران را تحت تأثیر قرار داده، مشاهده می‌گردد. مرکز کم‌فشار در

می‌شود. هر گاه منطقه تحت شرایط ناپایداری ناشی از جلو کم‌فشاربریده پایینی واقع شود، شرایط برای ناپایداری و بارش مداوم فراهم می‌شود. در الگوی دوقطبی مرکز پر ارتفاع در عرض‌های بالاتر و کم‌فشاربریده در عرض‌های پایین‌تر قرار دارد. مرکز کم‌فشار سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال را یک کم‌فشار در روی زمین همراهی می‌کند. الگوهای دوقطبی که مرکز پر ارتفاع آنها در عرض‌های

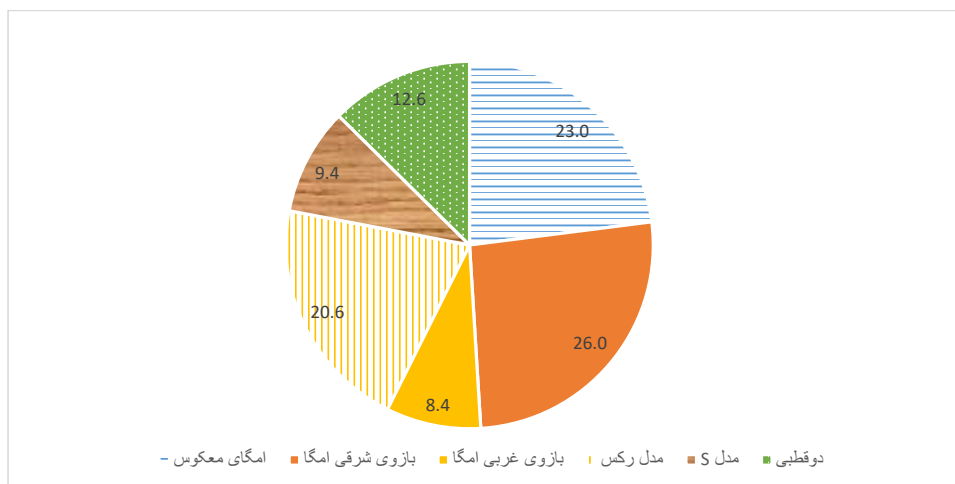
شمال عربستان و مرکز پر ارتفاع در شمال آن و در مرز ایران و ترکیه قرار گرفته اند. همانطور که در شکل ۱۷ مشخص است بادهای غربی از شرق مدیترانه به دو شاخه تقسیم شده‌اند که یک شاخه با جهت شمال شرقی حول مرکز پر ارتفاع، حرکت و اچرخندی داشته و شاخه جنوبی با حرکت جنوب شرق سو حول مرکز کم‌فشار، حرکت چرخندی دارد. در میدان دما در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، یک زبانه هوای سرد از شمال شرق و از سمت دریاچه بایکال، کم‌فشار بسته را تغذیه می‌کند و سبب گردیده هسته ی سردی در مرکز کم‌فشار شکل بگیرد. همچنین یک زبانه هوای گرم از عرض‌های جنوبی از غرب مرکز کم‌فشار در راستای پشته ارتفاعی کشیده شده‌است. در این روز ایستگاه بوشهر ۹ میلیمتر بارش داشته‌است.

ح - توزیع فراوانی سالانه الگوها

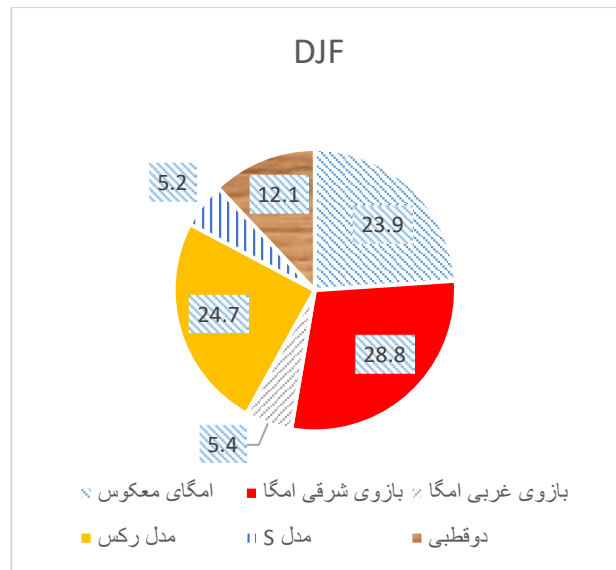
شکل های ۱۹ و ۲۰ فراوانی و درصد رخداد الگوهای مختلف کم‌فشاربریده در دوره آماری ۴۰ ساله در ایران را نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است از ۱۴۳۶ روز همراه با کم‌فشاربریده در ایران، الگوی بازوی شرقی امگا با ۳۷۴ روز (۲۶ درصد) بیشترین فراوانی را دارد. بعد از آن الگوی امگای معکوس با ۳۳۰ روز (۲۳ درصد) قرار دارد. بعد از این دو الگو، مدل رکس با ۲۹۶ روز کم‌فشاربریده (۲۰/۶ درصد) در رتبه سوم قرار دارد و بعد از آن الگوهای دوقطبی با ۱۸۱ روز (۱۲/۶ درصد)، مدل S با ۱۳۵ روز (۹/۴ درصد) و درنهایت الگوی بازوی غربی امگا با ۱۲۰ روز (۸/۴ درصد) قرار دارند.



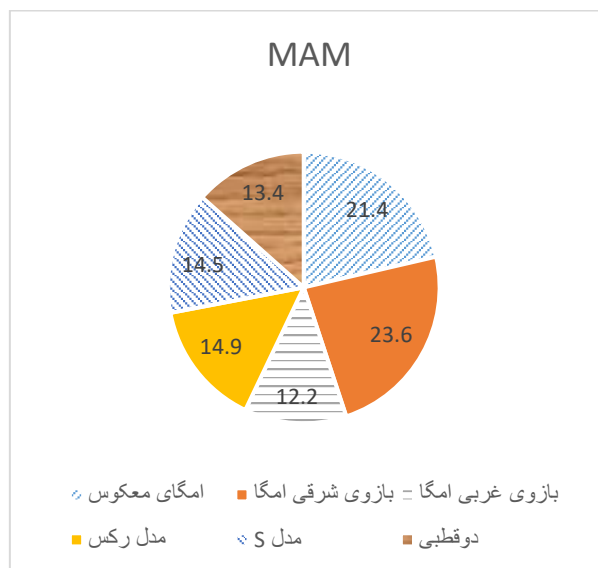
شکل ۱۹. توزیع سالانه الگوهای کم‌فشاربریده موثر بر ایران



شکل ۲۰. توزیع سالانه الگوهای کم‌فشاربریده موثر بر ایران بر حسب درصد



شکل ۲۱. توزیع الگوهای کم‌فشار بریده در زمستان بر حسب درصد

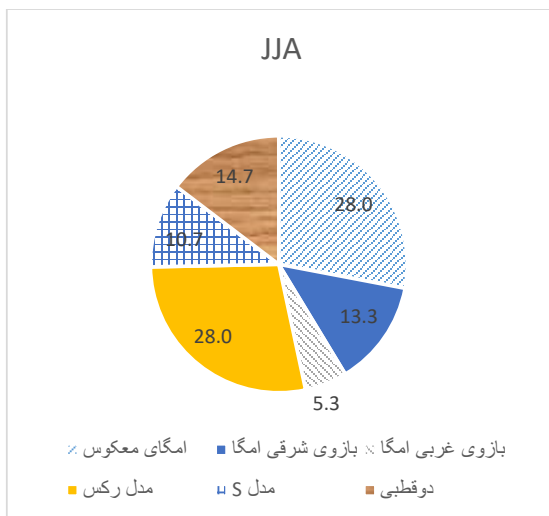


شکل ۲۲. توزیع الگوهای کم‌فشار بریده در بهار بر حسب درصد

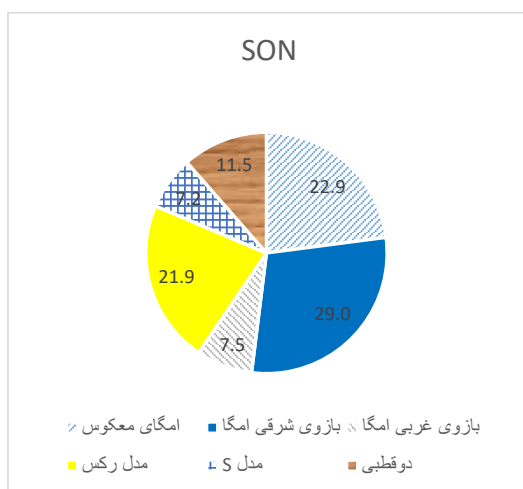
بعد از این دو الگو، الگوی امگای معکوس با ۲۳/۹ درصد و الگوی دوقطبی با ۱۲/۱ درصد قرار دارند. کمترین فراوانی در فصل زمستان نیز متعلق به الگوهای بازوی غربی امگا با ۵/۴ درصد و مدل S با ۵/۲ درصد می‌باشند. شکل ۲۲، درصد رخداد الگوهای مختلف کم‌فشارهای بریده موثر بر ایران را در فصل بهار نشان می‌دهد. در این فصل نیز همانند توزیع سالانه و توزیع

ط - بررسی فصلی الگوها  
شکل ۲۱، درصد رخداد الگوهای مختلف کم‌فشارهای بریده موثر بر ایران را در فصل زمستان نشان می‌دهد. در این فصل همانند توزیع سالانه، مدل بازوی شرقی امگا با ۲۸/۸ درصد، بیشترین رخداد کم‌فشارهای بریده را در بین الگوها داشته است. بر خلاف توزیع سالانه، بعد از آن الگوی رکس با ۲۴/۷ درصد قرار دارد.





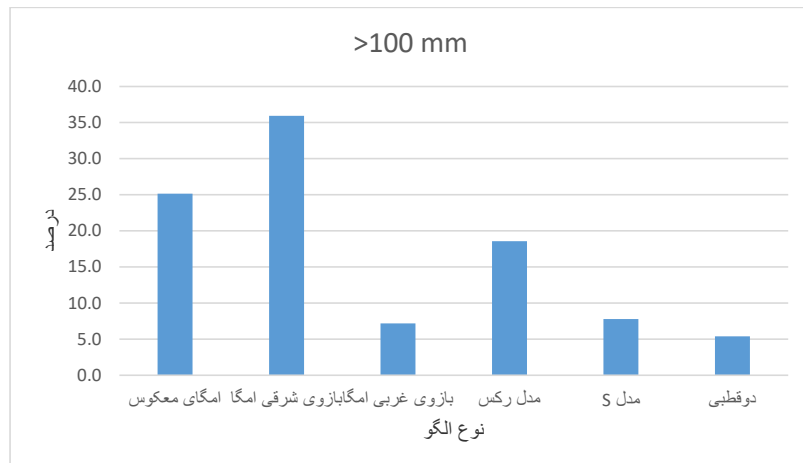
شکل ۲۳. توزیع الگوهای کم‌فشاربریده در تابستان بر حسب درصد



شکل ۲۴. توزیع الگوهای کم‌فشاربریده در پاییز بر حسب درصد

را در فصل تابستان نشان می‌دهد. توزیع الگوها در فصل تابستان با توزیع سالانه و توزیع دیگر فصول متفاوت است به‌طوری‌که در این فصل برخلاف توزیع های سالانه و فصل های زمستان و بهار، مدل رکس و امگای معکوس با ۲۸ درصد بیشترین رخداد کم‌فشارهای بریده را در بین الگوها دارند. بعد از آنها الگوی دوقطبی با ۱۴/۷ درصد، الگوی بازوی شرقی امگا با ۱۳/۳ درصد، مدل S با ۱۰/۷ درصد و درنهایت الگوی بازوی غربی امگا با ۵/۳ درصد قرار دارند. شکل ۲۴، درصد رخداد الگوهای مختلف

فصل زمستان، مدل بازوی شرقی امگا با ۲۳/۶ درصد، بیشترین رخداد کم‌فشارهای بریده را در بین الگوها داشته است. بعد از آن الگوی امگای معکوس با ۲۱/۴ درصد قرار دارد. بعد از این دو الگو، مدل رکس با ۱۴/۹ درصد، مدل S با ۱۴/۵ درصد، الگوی دوقطبی با ۱۳/۴ درصد و درنهایت الگوی بازوی غربی امگا با ۱۲/۲ درصد قرار دارند. در فصل بهار، چهار الگوی انتهایی از نظر فراوانی به هم نزدیک می‌باشند. شکل ۲۳، درصد رخداد الگوهای مختلف کم‌فشارهای بریده موثر بر ایران



شکل ۲۵. توزیع مجموع بارش بیش از ۱۰۰ میلیمتر در روز الگوهای کم فشار بریده

را از بارش‌های بیش از ۱۰۰ میلیمتر داشته‌است. بعد از آن نیز مدل رکس با ۱۸/۶ درصد قرار دارد. در این مقاله سعی شد، برای نخستین بار الگوهای مختلف کم فشار بریده در ایران مطالعه و نمونه‌ای از اثرات بارشی آنها بررسی گردد. از ویژگی‌های مهم این سیستم‌ها، حرکت کند و ماندگاری آنهاست که سبب مخاطراتی چون یخبندان و سیلاب می‌گردد. مطالعات اندکی تأثیر موردی سردچال‌ها را بر عناصر دما و بارش در ایران بررسی نموده‌اند. از جمله حبیبی (۱۳۸۶) در تحقیقی در خصوص نقش سامانه‌های بندالی در چرخندزایی در شرق مدیترانه، نقش آنها را در سیل غرب ایران بررسی نمود و همسو با این مقاله، ناهه جناح شرق سامانه بندال اقیانوس اطلس را عامل اصلی بروز سیلاب در غرب ایران شناسایی کرد. امیدوار و همکاران (۱۳۸۹) علت اصلی وقوع بارش در روزهای نهم تا سیزدهم آذر ۱۳۸۷، را ناشی از استقرار چند روزه پدیده سردچال در نواحی جنوب دریای خزر و مرکز ایران دانستند. همچنین راستی و همکاران (۱۳۹۳) وقوع شدیدترین بارش ۴۹ ساله شهر مشهد را ناشی از استقرار سردچال در ۱۷ فروردین ۱۳۷۷ دانستند. در پژوهشی دیگر درگاهیان و همکاران (۱۳۹۳) الگوهای فشار مرتبط با بلاکینگ موثر بر رخداد بارش‌های مداوم و سنگین در ایران را بررسی کردند و در نتایجی مشابه با این مقاله، الگوی تراف سمت راست امگا را موثرترین الگو

کم فشارهای بریده موثر بر ایران را در فصل پاییز نشان می‌دهد. در این فصل نیز همانند توزیع سالانه، مدل بازوی شرقی امگا با ۲۹ درصد، بیشترین رخداد کم فشارهای بریده را در بین الگوها داشته‌است. بعد از آن الگوی امگای معکوس با ۲۲/۹ درصد قرار دارد. بعد از این دو الگو، مدل رکس با ۲۱/۹ درصد و الگوی دوقطبی با ۱۱/۵ درصد قرار دارند. کمترین فراوانی در فصل پاییز نیز متعلق به الگوهای بازوی غربی امگا با ۷/۵ درصد و مدل S با ۷/۲ درصد می‌باشند. در مجموع می‌توان گفت که در فصول سرد، استقرار پشته عمیق (با نفوذ به عرض‌های بالا) در ناحیه دریای سیاه و شرق دریای مدیترانه استقرار بیشتری دارد که همین امر باعث تشکیل الگوی رکس با بیشترین فراوانی می‌باشد.

ی - رخداد روزهای بارشی بیش از ۱۰۰ میلیمتر در الگوهای مختلف

شکل ۲۵ درصد رخداد الگوهای مختلف کم فشارهای بریده موثر بر ایران را برای روزهای با بارش بیش از ۱۰۰ میلیمتر برای مجموع ۲۳ ایستگاه منتخب در این تحقیق نشان می‌دهد. مشاهده می‌گردد که الگوی بازوی شرقی امگا ۳۶ درصد بارش‌های بیش از صد میلیمتر کم فشارهای بریده را به خود اختصاص داده‌است. بعد از آن الگوی امگای معکوس با حدود ۲۵ درصد بیشترین سهم

در بارشهای مداوم و سنگین ایران معرفی کردند. جعفری و همکاران (۱۳۹۹) نشان دادند که کم‌فشارهای بریده در دوام یخبندان های بهاره ایران نقش دارند. خزایی و نیک فال (۱۳۹۹) شرایط سینوپتیکی رخداد بارش‌های سیل آسا را در ۱۱ و ۱۲ فروردین ۱۳۹۸ بررسی کردند و میزان بارش را در روز ۱۱ فروردین برای ایستگاه نهاوند، ۱۲۶ میلیمتر، نورآباد و تویسرکان ۱۲۲ میلیمتر گزارش کردند. نوع الگوی کم‌فشاربریده در ۱۱ فروردین، بازوی شرقی امگا بوده که با بیشترین فراوانی الگوی بازوی شرقی امگا در فصل بهار در ایران و همچنین بیشترین رخداد این الگو برای بارش‌های بیش از ۱۰۰ میلیمتر که در این مقاله به آن اشاره گردید، همسو است.

### جمع‌بندی

همان‌طور که پرازتفاع‌های بریده یا بندال‌ها الگوهای مختلفی دارند، کم‌فشارهای بریده یا سردچال‌ها نیز دارای الگوهای متفاوتی می‌باشند و این الگوها در بیشتر مواقع مرتبط با الگوهای بندال هستند. در این تحقیق در طول دوره آماری ۴۰ ساله، در مجموع ۶ نوع الگوی بازوی شرقی امگا، بازوی غربی امگا، امگای معکوس، الگوی رکس، الگوی S و الگوی دوقطبی برای کم‌فشارهای بریده شناسایی گردید. در مواقعی که در بازوی راست الگوی امگا، کم‌فشاربریده تشکیل گردد، الگوی بازوی شرقی امگا شکل می‌گیرد و هر گاه در بازوی سمت چپ این الگو، کم‌فشاربریده تشکیل گردد، الگوی بازوی غربی امگا شکل می‌گیرد. در الگوی امگای معکوس، یک ناوه عمیق در بین دو پشته، به عرض‌های جغرافیایی پایین کشیده شده و یک منحنی بسته تشکیل می‌شود. در الگوی رکس، یک پشته قوی در شمال یا شمال غرب یک زبانه کم‌فشار قوی قرار می‌گیرد. الگوی S اغلب در اثر تخریب بازوی شرقی الگوی امگا بوجود می‌آید. در این الگو یک پشته در شمال یا شمال شرق یک ناوه قرار می‌گیرد. این الگو درست عکس الگوی رکس می‌باشد، به‌طوریکه بادهای غربی در مسیر خود ابتدا به ناوه رسیده و حول آن جریان می‌یابند و سپس به پشته برخورد می‌نمایند. نهایتاً در

الگوی دوقطبی سامانه کم‌فشار جنوبی به‌صورت منحنی بسته یا کم‌فشاربریده ظاهر می‌شود. توزیع فراوانی سالانه الگوها نشان داد که از ۱۴۳۶ روز همراه با کم‌فشاربریده در ایران، الگوی بازوی شرقی امگا با ۳۷۴ روز (۲۶ درصد) بیشترین فراوانی را دارد. بعد از آن الگوی امگای معکوس با ۳۳۰ روز (۲۳ درصد) قرار دارد. همچنین بررسی فصلی الگوها نشان داد که در فصول زمستان، بهار و پاییز، الگوی بازوی شرقی امگا، الگوی غالب بوده و در فصل تابستان الگوی امگای معکوس و رکس بیشترین فراوانی را داشتند.

### مراجع

- امیدوار، ک.، صفرپور، ف.، محمودآبادی، م.و. الفتی، س.، ۱۳۸۹، تحلیل همدیدی اثرهای سردچال در وقوع بارش‌های شدید در نواحی مرکز و جنوب غرب ایران، م.مدرس علوم انسانی-برنامه ریزی و آمایش فضا، ۴، ۱۸۹-۱۶۱.
- بنی هاشم، ت.، اردکانی، ح. و مرادی، م.، ۱۳۷۸، حرکت و رفتار یک کم‌فشاربریده از دیدگاه کژفشاری، م. فیزیک زمین و فضا، ۲، ۴۶-۳۷.
- بنی هاشم، ت.، اردکانی، ح. و تاج بخش، س.، ۱۳۷۹، رفتار و حرکت یک کم‌فشاربریده، م. فیزیک زمین و فضا، ۱، ۲۵-۱۵.
- جعفری، ف.، برای، غ.، و مرادی، م.، ۱۳۹۹، روابط بندال‌های کم‌فشاربریده و دوام یخبندان های بهاره ایران، م. پژوهشهای دانش زمین، ۴۱، ۲۲۲-۲۰۸.
- حبیبی، ف.، ۱۳۸۶، نقش سامانه بندالی در چرخندزایی روی شرق دریای مدیترانه و بررسی نقش آن در سیل روی منطقه غرب ایران، م. پژوهش‌های جغرافیایی، ۶۲، ۱۲۷-۱۰۹.
- خزایی، م.، نیک فال، ا.، ۱۳۹۹، بررسی شرایط سینوپتیک همزمان با رخداد بارش‌های سیل آسای غرب و جنوب غرب کشور مورخ ۱۱ و ۱۲ فروردین ۱۳۹۸، م. علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۱۲، ۷۷-۶۵.
- درگاهیان، ف.، علیچانی، ب. و محمدی، ح.، ۱۳۹۳، بررسی سینوپتیکی الگوهای فشار مرتبط با بلاکینگ های موثر بر رخداد بارش‌های مداوم (۵ روز و بیشتر) و سنگین در ایران: در فصل سرد ۱۰۱۲-۱۹۵۳، م. جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۰، ۱۷۳-۱۵۵.
- راستی، ف.، امیدوار، ک.، ۱۳۹۳، تحلیل همدیدی اثر سردچال در وقوع شدیدترین بارش مشهد طی دوره آماری ۴۹ ساله (۱۳۴۰-۱۳۸۹)، دومین همایش ملی پژوهش‌های کاربردی در جغرافیا و گردشگری.
- رئیس پور، ک.، خسروی، م.، طاوسی، ت.، و شریفی کیا، م.، ۱۳۹۲، بررسی نقش سیستم‌های کم‌فشاربریده در شکل‌گیری گردوغبارهای فراگیر جنوب غرب ایران، نخستین کنفرانس ملی آب‌وهواشناسی ایران.
- عزیز، ق.، مرادی، م.، و رضایی، ح.، ۱۳۹۷، اقلیم‌شناسی کم‌فشارهای بریده موثر بر ایران و ارتباط آن با Enso و Nao، م. تحقیقات جغرافیایی، ۱۲۸، ۱۷۳-۱۵۸.
- عزیز، ق.، مرادی، م.، و رضایی، ح.، ۱۳۹۸، محل شکل‌گیری و توزیع فضایی - زمانی کم‌فشارهای بریده موثر بر ایران، م. پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، ۳۹، ۲۸-۱۵.
- رضایی، ح.، ۱۳۹۶، نقش کم‌فشارهای بریده در بارش ایران، رساله دکتری، دانشگاه تهران.

- M., Redano. A., and Lorente. J., 2005. Climatological features of Cutoff Low Systems in the Northern Hemisphere. *Journal of Climate*. 18. 3085-3103.
- Nieto. R., Gimeno. L., Anel. J., Torre. L., Gallengo. D., Barriopedro. D., Gallego. M., Gordillo. A., Redano. A., and Delgado. G., 2007. Analysis of the precipitation and cloudiness associated with COLS occurrence in the Iberian Peninsula. *Meteorology and Atmospheric Physics*. 96. 103-119.
  - Nieto. R., Gimeno. L., Torre. L., Ribera. P., Barriopedro. D., Herrera. R., Serrano. A., Gordillo. A., Redano. A., and 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*. 96. 85-101.
  - Oakley. N., and Redmond. K., 2014. A Climatology of 500-HPA closed lows in the Northeastern Pacific Ocean, 1948-2011. *American Meteorological Society*. 53. 1578-1592.
  - Palmén. E., and a. C., 1969. *Atmospheric Circulation Systems*. Academic Press. 603.
  - Price. J., and Vaughan. G., 1993. The potential for stratosphere-troposphere exchange in cut-off low systems. *Meteor. Soc.* 119. 343-365.
  - Reboita. M., Nieto. R., Gimeno. L., Rocha. R., Ambrizzi. T., Garreaud. R., and Kruger. L., 2010. Climatological features of cutoff low systems in the Southern Hemisphere. *Journal of Geophysical Research*. 115. 1-15.
  - Taljaard. J., 1985. Cut-off lows in the South African region, South African Weather Bureau Technical Paper. 14. 153.
  - Bluestein. H., 1993. *Synoptic-Dynamic Meteorology in Midlatitude. Observations and Theory of Weather Systems*. Oxford University Press, 2. 594-603.
  - Campetella C., and Possia N., 2007. Upper-level cut-off lows in southern South America. *Meteorol. Atmos. Phys.* 96. 181-191.
  - Chuanxi. L., Yi. L., Liu. X. and 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*. 30. 525-540.
  - Fuenzalida. H., Sanchez. R. and Garreaud. R., 2005. A climatology of cutoff lows in the southern hemisphere, *Journal of Geophysical Research*. 110. 1-10.
  - 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*. 8. 38-105.
  - Kentarchos. A., and Davies. T., 1998. A Climatology of cut-off lows at 200 hpa in the Northern Hemisphere 1990-1994, *International Journal Of Climatology*. 18. 379-390.
  - McInnes. K., Leslie. L., and McBride. J., 1992. Numerical Simulation Of Cutoff Lows On The Australian East Coast, Sensitivity To Sea-Surface Temperature. *International Journal Of Climatology*. 12. 783-795.
  - Ndarana. T., and Waugh. D., 2010. The link between cut-off lows and Rossby wave breaking in the Southern Hemisphere. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 136. 869-885.
  - Nieto. R., Gimento. L., Torre. L., Ribera. P., Gallego. D., Herrera. R., Garcia. J., Nunez.

## patterns of Cut-off Low over Iran

**Ghasem Azizi<sup>1</sup>, Mohammad Moradi<sup>2</sup>, hossein Rezaei<sup>3\*</sup>**

<sup>1</sup> Prof. in climatology, University of Tehran, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Associate Prof. in atmospheric science and meteorological Research, Tehran, Tehran, Iran

<sup>3</sup> Assistant Prof in Climatology, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

\*Corresponding Author Email: [h.rezaei@iauctb.ac.ir](mailto:h.rezaei@iauctb.ac.ir)

Received: 30 July 2020 , accepted: 29 October 2020

### ABSTRACT

Cut-off low are synoptic-scale low pressure systems formed as a result of meridional shifts of the jet streams. The characteristics of Cut-off Lows in Iran are studied for the period 1976–2015. To identify these systems, the Raul Nitog algorithm was used with automatic detection capabilities. The systematic identification of Cut-off Lows is realized by applying an original automated scheme using mean daily geopotential height, U wind and air temperature at 500 hPa NCEP Reanalysis data. In this study, a total of six pattern types were identified for cutoff lows which will be reviewed below. These patterns are as follows: Eastern arm of Omega, western arm of Omega, Inverted Omega, Rex pattern, S pattern, Dipole pattern. According to the results the eastern arm of Omega pattern has the highest frequency with 374 days (26 %). The Inverted Omega pattern with 330 days (23 %) is in the next rank. After these two patterns, the Rex pattern with 296 days of cutoff low (20.6 %) ranks third, while the dipole patterns with 181 days (12.6 %), the S model with 135 days (9.4 %) and finally the western arm of Omega pattern with 120 days (8.4 %) are in further ranks. It was also found that the highest percentage of precipitation of more than 100 mm of cut-off lows was related to the omega eastern arm pattern.

**Keywords:** Cut-off Lows, precipitation, Iran

#### HOW TO CITE THIS ARTICLE

Azizi, Gh.; Moradi, M.; Rezaei, H. (2021). patterns of Cut-off Low over Iran . J. Meteorol. Atmos. Sci., 3(4): 331-348

#### COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the JM AS Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

