

نقش گردش و ردسپهر زیرین پُرفشار عربستان در بارش ایران

مصطفی کریمی* - استادیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

فرامرز خوش‌اخلاق - استادیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

سعید بازگیر - استادیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

مهناز جعفری - دانشجوی دکترای آب‌وهواشناسی سینوپتیک، دانشگاه شهید بهشتی

پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۹/۱ تأیید نهایی: ۱۳۹۵/۰۳/۱

چکیده

تغییرات الگوهای گردش جوی به تغییر رژیم بارش منجر می‌شود و رهاورد آن تنوع آب‌وهوایی، همچون ترسالی‌ها و خشک‌سالی‌ها، است. بنابراین، با توجه به اینکه یکی از پارامترهای مهم در شرایط پیش‌گفته نایک‌نواختی در انتقال و تزریق رطوبت به سامانه‌های باران‌زای ایران است، در این پژوهش - با رویکرد انتقال رطوبت در ایجاد بارش، با بهره‌گیری از داده‌های ساعتی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۸۵۰ ه.پ در دوره زمانی (۲۰۰۰ - ۲۰۱۰)، با تفکیک مکانی ۱×۱ درجه قوسی مرکز پیش‌بینی‌های میان‌مدت اروپا (ECMWF)، و با استفاده از تحلیل خوشه‌ای به روش همبستگی - چگونگی رفتار مکانی پُرفشار عربستان در انتقال رطوبت بررسی شد؛ سرانجام، پنج الگوی بزرگ گردش به دست آمد. نتایج نشان داد رفتار مکانی - زمانی پُرفشار عربستان، همچون جابه‌جایی شرقی - غربی، شمالی - جنوبی، و حتی کشیدگی هسته مرکزی آن، در تزریق و انتقال رطوبت و به تبع آن بارش بر روی ایران نقش بسزایی دارد. همچنین، توزیع مکانی بارش در سطح ایران به موقعیت مکانی، شکل، و پهنه گردش این پُرفشار بستگی دارد. به طور کلی، پُرفشار عربستان در فصول سرد، با ایجاد جریان‌های جنوب - جنوب غربی، تأثیر فراوانی در رطوبت و بارش در ایران دارد. فراوانی بالا (کم) وقوع سالانه الگوی نوع دوم این پُرفشار همراه با بارش زیاد (کم) دریافتی ایران بوده است.

کلیدواژه‌ها: ارتفاع ژئوپتانسیل، انتقال رطوبت، تحلیل خوشه‌ای، همبستگی.

مقدمه

به طور کلی، اقلیم هر قلمرو متأثر از سامانه‌هایی است که در مقیاس کلان نقش‌آفرینی می‌کنند (حلبیان، ۱۳۹۰: ۱۳۱). الگوهای مختلف گردش جوی باعث وضعیت‌های آب‌وهوایی گوناگونی می‌شوند. تغییرات فصلی و نامنظم الگوی گردش جوی تغییر رژیم بارش را کنترل می‌کنند (فتاحی و رحیم‌زاده، ۱۳۸۸: ۲۱). با وجود رفتار گوناگون و بعضاً متضاد عوامل باران‌زا و نیز خود بارندگی، امکان طبقه‌بندی^۱ آن‌ها مهیاست. اقلیم‌شناسان از دیرباز به طبقه‌بندی الگوهای گردش جوی روزانه توجه کرده‌اند. متغیرهای هواشناسی، مانند بارش و دما، و پدیده‌های وابسته به آن‌ها، مانند سیل، خشک‌سالی، و

* E- mail: Mostafakarimi.a@ut.ac.ir

یخبندان‌ها، به انواع ویژه‌ای از الگوهای گردش جوی مربوط می‌شوند. تداوم و تغییر سیستم‌ها از طریق فرایند طبقه‌بندی یا تعیین تیپ‌های هوا انجام می‌پذیرد؛ به همین دلیل، طبقه‌بندی سیستم‌های هوا یکی از اهداف اصلی اقلیم‌شناسی سینوپتیک است (هوث، ۱۹۹۶). بدون شناسایی فراوانی زمانی تیپ‌های هوا، تبیین و چاره‌جویی مسائل محیطی دشوار است، زیرا هر تیپ هوایی شرایط محیطی خاص خود را ایجاد می‌کند. با شناسایی الگوهای گردش جو می‌توان تغییرات، فراوانی، شدت، و توزیع مکانی متغیرهای اقلیمی، مانند بارش، را بررسی و دلایل فیزیکی آن را بیان کرد (ویسته و لویز، ۲۰۰۶). الگوهای جوی در پیدایش پدیده‌های محیطی، به ویژه در مناطق معتدله، نقش مهمی دارند. از این رو، شناسایی الگوهای جوی کنترل‌کننده آب‌وهوای ایران و ویژگی‌های آن‌ها بسیار ضروری است (فتاحی و رضیئی، ۱۳۸۸: ۴۵).

پس از دهه ۱۹۶۰ و با ورود رایانه به دنیای علم، طبقه‌بندی به روش کمی انجام پذیرفت و موجب افزایش مقیاس زمانی و مکانی و کاربرد انبوه داده‌ها، و در عین حال، افزایش دقت و صحت نتایج حاصل از طبقه‌بندی و تجزیه و تحلیل آن شد (علیجانی، ۱۳۸۸: ۱۴۶). بسیاری از پژوهشگران به بررسی طبقه‌بندی الگوهای جوی پرداخته‌اند. بسیاری از آن‌ها الگوهای فشار تراز دریا، مراکز فشار، و الگوهای سیکلونی و آنتی سیکلونی مناطق مختلف کره زمین را بررسی کرده‌اند (لمب، ۱۹۵۰ و ۱۹۷۲؛ لوند، ۱۹۶۳؛ یارنال، ۱۹۹۳؛ علیجانی، ۱۳۶۶) و عده‌ای دیگر مطالعات خود را در زمینه بررسی الگوهای ارتفاعی سطوح بالاتر اتمسفر و تغییرات الگوی جریان و تأثیر آن‌ها بر عناصر اقلیمی معطوف کرده‌اند؛ از آن جمله می‌توان به پژوهش‌های پیترسون (۱۹۵۰)، کلاین و وینستون (۱۹۵۸)، استارک (۱۹۶۵)، هیدن (۱۹۸۱)، حلبیان (۱۳۹۰)، و فتاحی و رضیئی (۱۳۸۸) اشاره کرد.

اقلیم هر منطقه تحت تأثیر الگوهای گردشی گوناگونی است. هر سیستم سینوپتیک، مانند سیکلون^۱، آنتی سیکلون^۲ یا جبهه‌های هوا^۳، ابعاد گسترده‌ای دارد که هوا در اطراف آن و در جهات خاص جریان دارد. همچنین، این سیستم‌ها اولاً در همه جای سطح زمین جریان ندارند؛ ثانیاً در یک زمان معینی مستقیماً منطقه‌ای را تحت پوشش قرار می‌دهند؛ در نتیجه، سرزمین‌های مجاور تحت تأثیر جریان‌های ناشی از این سیستم‌ها قرار دارند. بنابراین، یکی از موضوعات مورد مطالعه اقلیم شناسان بررسی فراوانی زمانی- مکانی این الگوهای جریان است (علیجانی، ۱۳۸۸: ۱۰۹). ایران در محدوده ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی و ۴۴ تا ۶۶ درجه طول شرقی واقع شده است. حدود یک سوم آن، که شامل بخش جنوبی است، در منطقه حاره و دو سوم دیگر در برون حاره قرار دارد. این موقعیت جغرافیایی همراه موقعیت طبیعی منحصربه‌فردی که دارد، مانند تنوع ناهمواری‌ها، پراکندگی و جهت‌گیری و ارتفاع آن‌ها، قرارگیری بین دو توده آب در بخش شمالی و جنوبی و همچنین توده‌های هوایی مختلفی که در زمان‌ها و مکان‌های مختلف وارد ایران می‌شوند، به تنوع و تغییرات چشم‌گیر آب‌وهوایی آن منجر شده است. این تنوع اقلیمی باعث تفاوت پارامترهای اقلیمی در مکان‌های مختلف می‌شود، از جمله این پارامترها عنصر بارش است که دست‌خوش تنوع و تغییر زمانی و مکانی درخور توجهی است و موجب توزیع نایکنواخت منابع آب ایران شده است؛ یکی از دلایل مهم آن ناهمگونی در انتقال و تزریق رطوبت به سامانه‌های باران‌زای ایران است. انتقال بخار آب در جو وابستگی مستقیم به شرایط گردش جو دارد و با تغییرات گردش

1. cyclone
2. anti-cyclone
3. front air

جو در طی سال میزان و مسیر انتقال رطوبت نیز تغییر می‌کند. مراکز پرفشار یکی از مؤلفه‌های گردش جوی مؤثر در انتقال رطوبت است؛ نکته بسیار مهم محل قرارگیری آن‌ها بر سطح آب است (ژائو و همکاران، ۲۰۰۳: ۳۳۴). افزایش یا کاهش رطوبت در یک ناحیه به انتقال رطوبت به داخل یا خارج از آن ناحیه به وسیله جریان‌های اتمسفری و گردش هوا به اشکال گاز یا مایع وابسته است. به همین سبب، الگوهای چگونگی شار رطوبت به طور فزاینده‌ای با گردش جو به خصوص الگوهای پرفشار همخوانی دارد (زانگ، ۲۰۰۱؛ لیندسای، ۱۹۹۳، نقل از فرج‌زاده و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۹۴).

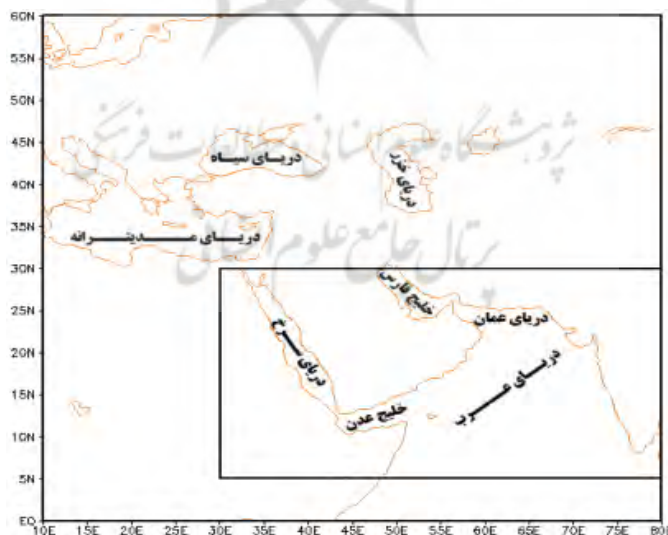
در این میان، پُراتفاح عربستان^۱ یکی از مراکز مهم فشار شبه‌ساکنی است که در ترازهای زیرین جو ویژگی‌های اقلیمی منطقه را از خود متأثر می‌سازد. از باب نمونه، در سالیان اخیر، توجه به سامانه‌های سودانی و نقش آن در بارش ایران افزایش یافته است؛ نیز به منابع رطوبتی این نوع سامانه اشاره شده است که در آن‌ها نقش پرفشار مستقر در شرق شبه‌جزیره عربستان و دریای عرب محسوس‌تر از دیگر مؤلفه‌های گردش جو منطقه بوده است (مفیدی و زرین، ۱۳۸۴: ۱۲۷). خوش‌اخلاق و همکاران (۱۳۹۱: ۵۵) بیان می‌کنند که جابه‌جایی سالانه کمربند پرفشار جنب حاره^۲، به‌ویژه پرفشار جنوب عربستان، نقش مهمی در نوسان بارش زمستانه جنوب غرب ایران ایفا می‌کند؛ به طوری که دوره‌های خشک معمولاً همراه با جابه‌جایی غرب سو، قرارگیری بر روی شبه‌جزیره و افزایش ارتفاع ژئوپتانسیلی^۳ و دوره‌های مرطوب با جابه‌جایی شرق سو، قرارگیری بر روی دریای عرب، و کاهش ارتفاع ژئوپتانسیلی این مرکز پُراتفاح همراه است. بر اساس بررسی‌های انجام‌شده، مرکز پرفشار عربستان از یک سو محل نزول هوای منشأ یافته از منطقه موسمی جنوب آسیاست و از سوی دیگر در روند تکوین فصلی خود متأثر از واداشت گرمایی^۴ سطحی به‌ویژه واداشت‌های گرمایی منطقه فلاتی غرب عربستان است (زرین و همکاران، ۲۰۱۱: ۹۲). نکته درخور توجه درباره پرفشار عربستان این است که با پیشروی دوره گرم سال مرکز پرفشار یادشده، ضمن جابه‌جایی شمال غرب سو، از محور کوهستانی غرب عربستان تبعیت می‌کند. در عین حال، مرکز پرفشار عربستان در طی فصول انتقالی قوی‌تر از فصل تابستان ظاهر می‌شود (مفیدی و جعفری، ۱۳۹۰: ۲۴). در زمینه الگوهای فشار و ارتباط آن با اقلیم مناطق مختلف ایران مطالعات بسیاری انجام شده است، از جمله در مطالعه‌ای درباره اثر الگوهای سینوپتیک در تغییرات زمانی سیلاب‌های جنوب دریای خزر این نتیجه به دست آمد که سیلاب‌ها ارتباط معناداری با الگوهای فشار در سطح زمین و سطح ۵۰۰ ه.پ دارند (علیچانی و همکاران، ۱۳۸۳: ۱۵). در مطالعه‌ای دیگر نقش الگوهای فشار در بارش‌های سواحل جنوبی دریای خزر بررسی شد. نتایج نشان داد سیستم‌های سینوپتیک ایجادکننده این بارش‌ها پرفشارهای دینامیک غربی‌اند (علیچانی و همکاران، ۱۳۸۶: ۳۷). همچنین، قشقایی در سال ۱۳۷۵ به مطالعه اثر فرابار سیبری در بارش‌های پاییزی سواحل جنوبی دریای خزر پرداخت و به این نتیجه رسید که شدیدترین بارندگی در پاییز هنگامی اتفاق می‌افتد که مرکز فرابار در شمال دریای مازندران با فشار مرکزی ۱۰۳۵ ه.پ و در سطوح فوقانی (۵۰۰ ه.پ) یک ترف عمیق بر ناحیه واقع شود. پُراتفاح عربستان از مراکز فعالیت مؤثر در آب و هوای ایران است و جریان‌های ایجادشده از این پُراتفاح نقش بسزایی در رطوبت ورودی و بارش در ایران دارد؛ بدین سبب،

1. Saudi Arabia High Pressure
2. subtropical high pressure
3. geo potential heights
4. thermal forcing

محققان در این زمینه بسیار مطالعه می‌کنند، به‌ویژه درباره نقش پُراتفاح عربستان در بارش جنوب غرب مطالعاتی انجام شده است. در پژوهش اخیر، لشگری و محمدی (۱۳۹۴) اثر موقعیت استقرار پُرفشار جنب‌حاره‌ای عربستان را در ۴۱ سامانه بارشی شدید در جنوب و جنوب‌غرب ایران بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که در همه ترازهای مورد بررسی هسته مرکزی پُرفشار بر روی دریاها، گرم عرب و عمان قرار دارد. در پژوهشی دیگر (لشگری، ۱۳۷۵) این نتیجه دریافت شد که بهترین حالت استقرار این سلول برای ایجاد بارش‌های جنوب و جنوب غرب ایران قرارگرفتن آن در شرق عربستان و غرب اقیانوس هند است؛ در این وضعیت، با توجه به چرخش واپرخندی، هوای گرم و مرطوب عرض‌های پایین را به منطقه مورد مطالعه و به درون کم‌فشارهای عبوری از غرب عربستان منتقل می‌کند. به طور کلی، می‌توان گفت به مطالعه این الگوی همیدی در سالیان اخیر توجه شده و محققان در بررسی‌ها به نقش آن در سامانه‌های بارشی فعال در ایران اشاره کرده‌اند. در این پژوهش سعی شده است، با استخراج الگوهای تکرارپذیری پُرفشار عربستان در یک دوره بلندمدت، میزان اثرپذیری بارش ایران به هر یک از الگوهای استخراجی و تغییرپذیری بارش با فراوانی وقوع آن‌ها بررسی شود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، به منظور استخراج الگوهای گردشی پُراتفاح عربستان و نقش آن در انتقال رطوبت و بارش بر ایران، داده‌های ساعتی ۱۸، ۱۲، ۰۶، ۰۰ استاندارد جهانی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۸۵۰ ه.پ طی دوره آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ (یازده سال) از داده‌های دوباره واکاوی‌شده^۱ ERA interim مرکز پیش‌بینی‌های میان‌مدت اروپا^۲ (ECMWF) با قدرت تفکیک مکانی ۱ در ۱ درجه قوسی اخذ شد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

با توجه به نتایج تحقیقات پیشین و به سبب قرارگیری منطقه فعالیت و محدوده عملیاتی پُراتفاح در عرض‌های

1. ECMWF interim reanalysis

2. european center for medium range weather forecasts (ECMWF)

پایین جغرافیایی، محدوده ۳۰ تا ۸۰ درجه طول جغرافیایی و ۵ تا ۳۰ درجه عرض جغرافیایی برای مطالعه انتخاب شد. سطح ۸۵۰ ه.پ، به سبب دارابودن نظم بهتر در پراکنش مراکز واچرخندی عربستان نسبت به سطوح دیگر جو (الشگری و محمدی، ۱۳۹۴: ۷۹) و همچنین تأثیر بیشتر این پُراتفاع در سطوح زیرین، انتخاب و بررسی شد. نام عمومی گروه‌بندی از نظر روش‌های آماری خوشه‌بندی است و بر اساس دو روش همبستگی و بردارهای ویژه بین نقاط یا نقشه‌ها انجام می‌شود (علیجانی، ۱۳۸۸: ۱۴۶). هدف اصلی روش خوشه‌بندی ایجاد گروه‌ها و طبقاتی است که تنوع و تفرق درون گروهی آن‌ها کمتر از تفرق و پراکنش بین گروهی باشد (کالکستین، ۱۹۸۷، نقل از علیجانی، ۱۳۸۸: ۱۷۲).

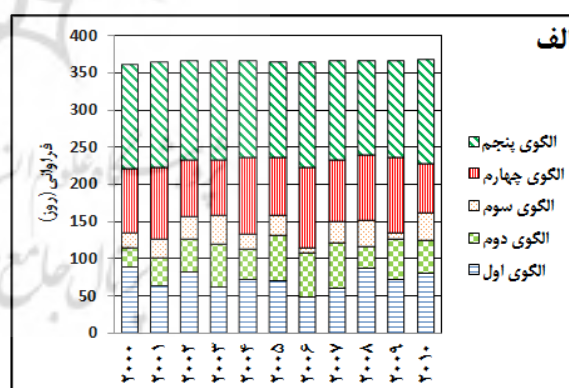
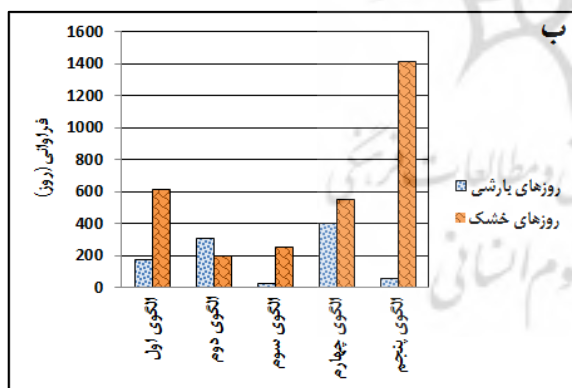
رویکرد مطالعاتی پژوهش حاضر گردشی به محیطی است. به همین منظور، پس از طبقه‌بندی و استخراج الگوها، ارتباط هر یک از آن‌ها با شرایط محیطی (بارش) بررسی شد. با بهره‌گیری از تحلیل خوشه‌ای به روش همبستگی (مبنای فاصله مقادیر همبستگی) و برنامه‌نویسی در محیط نرم‌افزاری MATLAB طبقه‌بندی انجام شد. برای طبقه‌بندی، نخست ماتریسی به ابعاد ۱۳۲۶×۴۰۱۸ از داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل - که سطرها موقعیت گره‌ها و ستون‌ها به عنوان روز بودند- تشکیل شد. سپس، ماتریس همبستگی به ابعاد ۴۰۱۸×۴۰۱۸ تولید شد. در روش همبستگی مهم‌ترین شاخصی که سبب گروه‌بندی نقشه‌های هوا می‌شود میزان همبستگی بین مقادیر متغیر انتخابی است که همان ضریب همبستگی است. بنابراین، یکی از مباحث عمده در این روش انتخاب مناسب ضریب همبستگی آستانه است، زیرا بالا یا پایین بودن ضریب همبستگی آستانه به افزایش یا کاهش گروه‌ها و تغییر واریانس درون گروهی منجر می‌شود. بر این اساس، محققان، بسته به هدف مطالعه، ضرایب گوناگونی ارائه کرده‌اند که با توجه به زمان، مکان، و سطح مورد مطالعه متفاوت است (یارنال، ۱۳۹۰). به همین منظور، برای تعیین میزان همبستگی آستانه مناسب، نخست میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل به صورت روزانه برای همه روزهای دوره آماری منتخب محاسبه شد و با اعمال روش خوشه‌بندی بر روی مقادیر متفاوت همبستگی از ۰/۱ تا ۰/۹۵ درصد فراوانی روزها طبقه‌بندی شد. با توجه به اینکه حداقل تعداد روزهای لازم برای تشکیل یک گروه یک درصد از کل روزهای مورد مطالعه تعیین شد، محاسبه و نمودار آن‌ها ترسیم گردید و، بر طبق آن، بیش از ۹۹ درصد از روزهای مورد مطالعه در ضریب همبستگی ۰/۵ در الگوهای ایجادشده طبقه‌بندی شد. بنابراین، ضریب همبستگی ۰/۵ ضریب آستانه مناسب برای خوشه‌بندی در نظر گرفته شد. این عمل در چند مرحله تکرار شد و با گروه‌بندی اعضا در گروه‌ها با توجه به ضریب آستانه طبقه‌بندی ادامه یافت؛ با تلفیق روزهای هم‌بسته از تعداد گروه‌ها کاسته شد و در نهایت پنج الگوی گردشی بزرگ به دست آمد. روزهایی که با هیچ یک از روزهای دیگر هم‌بسته نبودند و در هیچ الگویی قرار نگرفتند به عنوان شرایط خاص تشخیص داده شدند. برای بررسی الگوهای حاصل‌شده، همه روزهای موجود در هر الگو استخراج شد و نقشه‌های میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل، مؤلفه‌های مداری، و نصف‌النهاری باد، بارش، و همچنین فرارفت رطوبت برای بررسی انتقال رطوبت، در مقیاس بزرگ، به عنوان نقشه معرف هر الگو ترسیم شدند. برای بررسی تغییرات فراوانی وقوع الگوها، نمودار فراوانی ماهانه، سالانه، و روزهای بارشی و خشک الگوها نیز تولید شد. ملاک انتخاب روز بارشی وقوع بارش بیش از ۱ میلی‌متر در هر یک از نقاط شبکه ۱ در ۱ درجه جغرافیایی با شرط حداقل ۵ درصد از مساحت ایران (یک بیستم یا بیش از ۸۰ هزار کیلومتر مربع) بوده است.

یافته‌های پژوهش

پس از بررسی‌های انجام‌شده، در این مطالعه، سرانجام پنج الگوی گردش بزرگ و دو نمونه به عنوان شرایط خاص به دست آمد. از مجموع پنج الگو، چهار الگو در فصل سرد و یک الگو در فصل گرم دارای فراوانی بیشتری بود. برای ارزیابی این الگوها، نقشه‌های مربوط به میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل، فشار سطح دریا، بارش، و فرارفت رطوبت روزهای موجود در هر الگو ترسیم و نمودارهای فراوانی آن‌ها تفسیر و تحلیل شد.

جدول ۱. اطلاعات بارشی الگوها

شماره الگو	تعداد روزهای هر الگو	درصد روزهای هر الگو	فراوانی فصلی الگوها
۱	۷۹۳	۱۹٫۷۴	فصل سرد
۲	۵۰۹	۱۲٫۶۷	فصل سرد
۳	۲۷۸	۶٫۹۲	فصل سرد
۴	۹۵۴	۲۳٫۷۴	فصل سرد
۵	۱۴۷۶	۳۶٫۷۳	فصل گرم



شکل ۲. نمودار الف) فراوانی سالانه روزهای هر الگو؛ ب) فراوانی تعداد روزهای بارشی و خشک هر الگو با توجه به مساحت ایران

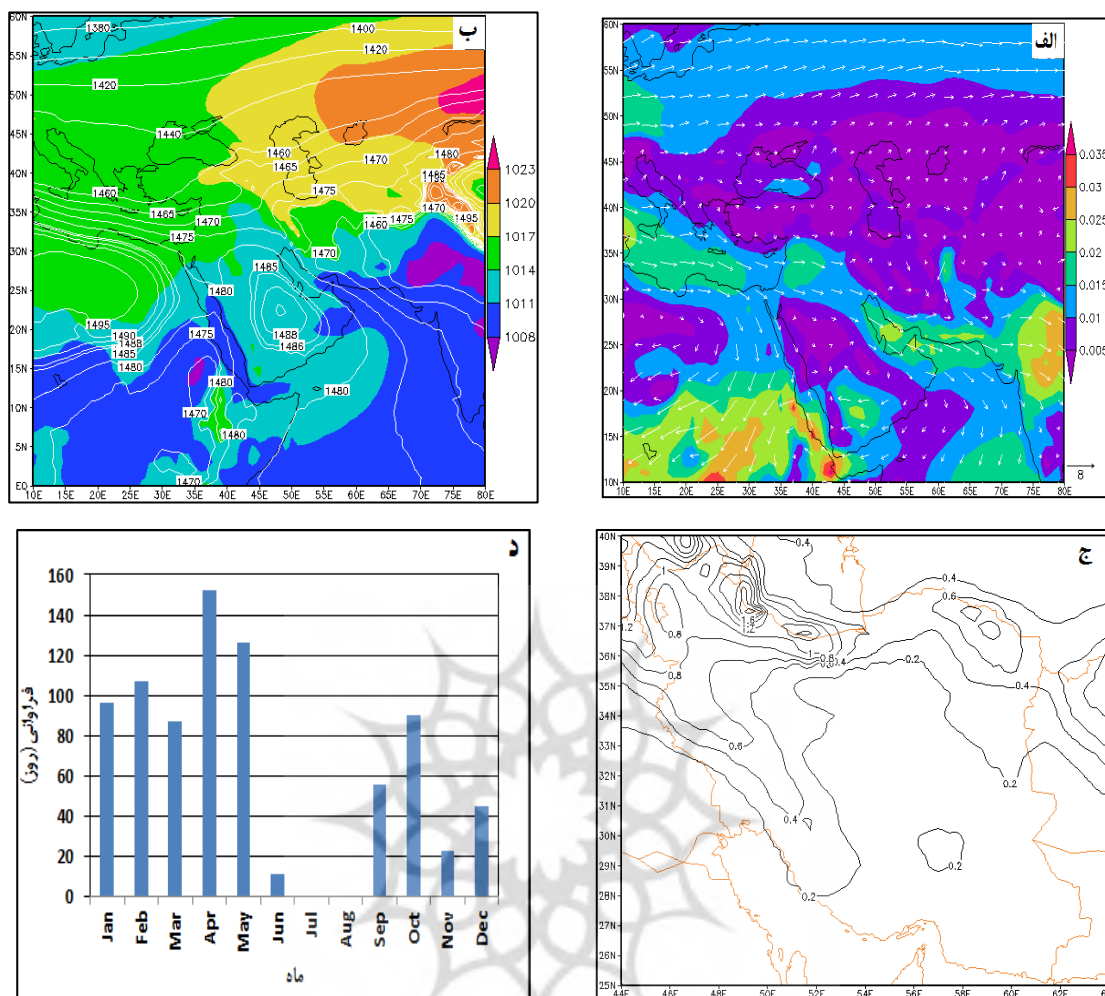
الگوهای فصل سرد

بر طبق جدول ۱، الگوهای ۱، ۲، ۳، و ۴ الگوهای فصل سرد شناخته شدند؛ هر یک از آن‌ها به ترتیب بررسی خواهند شد. فراوانی الگوی ۱ در فصول پاییز، بهار، و زمستان بوده است و بیشینه آن در اوایل فصل بهار در ماه‌های آوریل و مه و پس از آن در فصل زمستان دیده می‌شود (شکل ۲). این الگو ۱۹٫۷۴ درصد از روزهای مورد بررسی را شامل می‌شود و فراوانی سالانه آن دارای نوسان سالانه تقریباً منظمی است، اما فراوانی آن در هیچ سالی بالاتر از ۱۰۰ روز نیست.

همچنین، روزهای بدون بارش این الگو نسبت به روزهای بارشی دارای فراوانی بیشتری است و حدوداً سه برابر افزایش را نشان می‌دهد (شکل ۲ الف و ب).

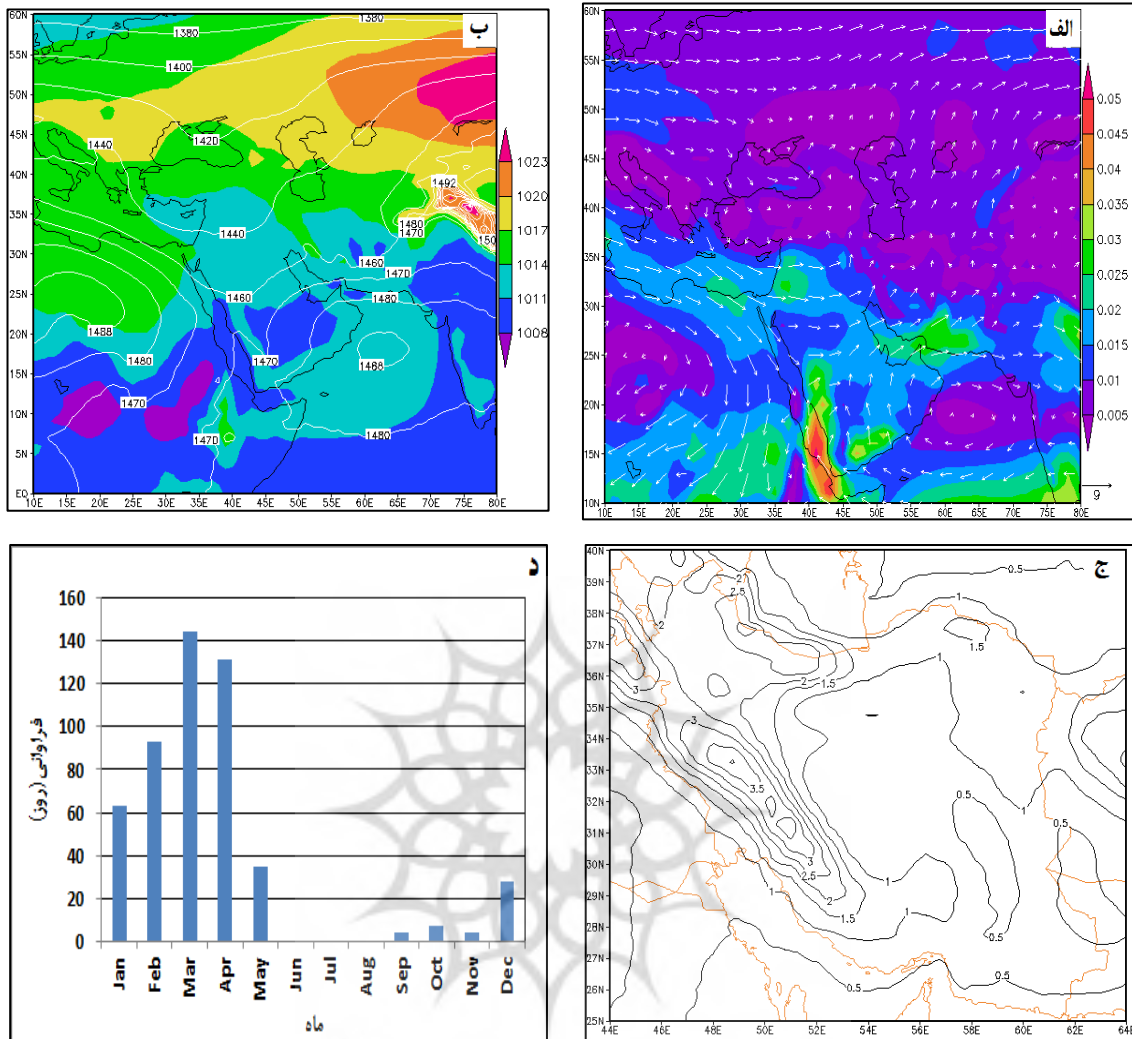
دامنه تغییرات فشار سطح دریا بر روی ایران از ۱۰۰۸ ه.پ در بخش جنوبی تا ۱۰۲۰ ه.پ در بخش شمالی است. در بخش‌های شمالی نفوذ زبانه‌های پُرفشار دیده می‌شود و به سمت جنوب از فشار سطح زمین کاسته شده است. میانگین ارتفاع ژئوتانسیل سطح ۸۵۰ نشان‌دهنده هسته مرکزی پُرافتاع عربستان با ارتفاع بیش از ۱۴۸۰ ه.پ بر روی خشکی عربستان است و زبانه آن بر روی خلیج فارس کشیده شده است. بر روی ایران نفوذ زبانه‌هایی از جنوب شرق و شمال وجود دارد (شکل ۳ ب). با توجه به جهت‌گیری خطوط جریان، جابه‌جایی غربی و قرارگیری پُرافتاع بر روی خشکی و تعامل آن با پُرافتاع شمال آفریقا به ایجاد جریان‌های غربی نه‌چندان قوی در ایران منجر شده و بیشتر حاوی رطوبت دریای مدیترانه است. کاهش شدت خطوط جریان، به‌ویژه بر روی دریای عرب، گویای کاهش برداشت رطوبت از این دریاست و در نقشه فرارفت رطوبت مشهود است. با توجه به محدودیت نفوذ جریان‌های ناشی از این پُرافتاع به ایران، می‌توان گفت که نقش پُرافتاع عربستان در انتقال رطوبت به ایران در این الگو بسیار ناچیز است و از میان منابع آبی دریای مدیترانه در رطوبت ورودی نقش بیشتری را داراست. بیشینه رطوبت ورودی به ایران در بخش‌های شمالی و شرقی است و می‌تواند ناشی از ناوه ایجادشده از موج بادهای غربی، به‌ویژه بر روی دریای خزر، باشد (شکل ۳ الف). الگوی بارشی آن با بیشینه‌ای حدود ۲ میلی‌متر- که در جنوب غربی سواحل خزر و منطقه بندرانزلی است- در راستای مناطق مرتفع و کوهستانی ایران شکل گرفته است. همچنین، بخش کوچکی از منطقه مرکزی در این الگو دارای بارش بوده است (شکل ۳ ج).

فراوانی الگوی ۲، همانند الگوی پیشین، مربوط به فصول پاییز، زمستان، و اوایل فصل بهار است، اما بیشینه فراوانی در اواخر فصل زمستان و اوایل بهار و ماه آوریل بوده است (شکل ۴ د) و ۱۲/۶۷ درصد از روزهای مورد بررسی را شامل می‌شود (جدول ۱). فراوانی سالیانه این الگو روند مشخصی نداشته و بین ۵۰ تا ۱۵۰ روز در نوسان است؛ سال ۲۰۰۷، با ۶۱ روز، دارای بیشترین فراوانی است. اما، برخلاف فراوانی سالیانه کمتر و نوسان نامنظم، فقط در این الگو روزهای بارشی نسبت به روزهای غیربارشی دارای فراوانی بیشتر (در حدود ۶۱ درصد) است و نیز تعداد روزهای فاقد بارش آن نسبت به سایر الگوها کمتر است. به عبارت دیگر، می‌توان گفت که این الگو به لحاظ بارشی فراگیرتر و دارای درصد وقوع بارش بیشتری در میان الگوهای دیگر است و با تکرار آن احتمال وقوع بارش بیش از عدم وقوع آن است (شکل ۲ الف و ب).



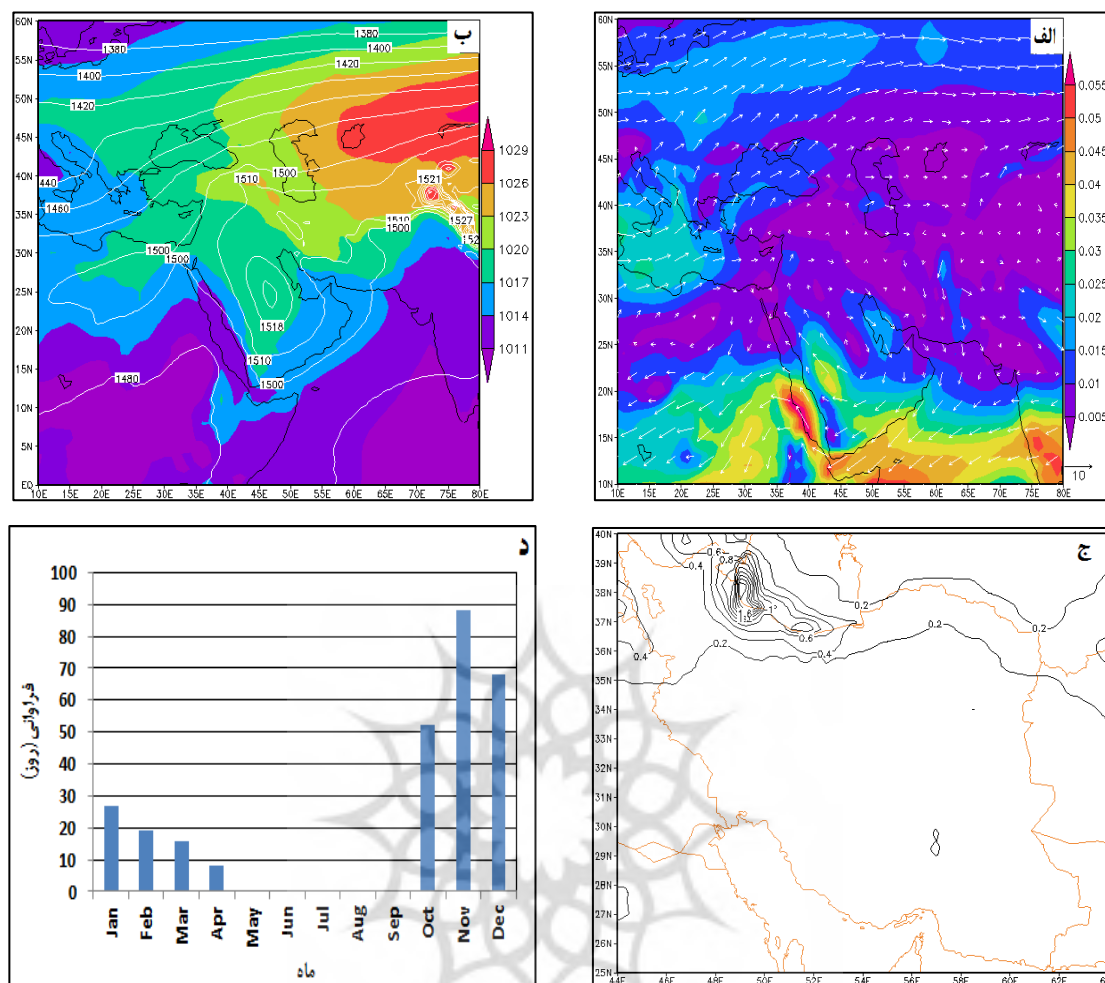
شکل ۳. الف) میانگین فرافرت رطوبت و باد (متر بر ثانیه)؛ ب) میانگین فشار سطح دریا (پهنه رنگی) و ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۸۵۰ ه.پ؛ ج) میانگین بارش (میلی‌متر بر روز)؛ د) نمودار فراوانی ماهانه، الگوی ۱

فشار سطح دریا بر روی ایران دارای دامنه تغییرات بسیار کمی است و زبانه‌های کم‌فشار سطح زمین را فراگرفته است. اما در سطح ۸۵۰ ه.پ هسته مرکزی سلول پُراتفاح عربستان با حرکت شرق سوی و با شیب ارتفاعی نسبتاً زیادی، به‌ویژه در بخش شمالی آن نسبت به الگوی قبل، در بخش غربی دریای عرب قرار گرفته است. بر روی ایران فراز و فرود بادهای غربی و قرارگیری ناوه نسبتاً عمیقی دیده می‌شود (شکل ۴). با قرارگیری سلول پُراتفاح بر روی دریای عرب و چرخش ساعت‌گرد آن، به سبب افزایش مسیر جریان‌های شمال شرقی، این پُراتفاح از روی دریای عرب موجب بیشینه برداشت رطوبت از این دریا و همچنین دریا‌های اطراف شده و با ایجاد جریان‌های جنوب غربی موجب انتقال رطوبت برداشت‌شده از منابع آبی به ایران شده است. البته، نباید نقش پُراتفاح آفریقا را - که با جریان شمال غربی بر روی دریای مدیترانه و بخش کوچکی از دریای سرخ موجب برداشت رطوبت از این منابع آبی شده و از طریق بخش جلوی ناوه و جریان جنوب غربی وارد ایران شده - نادیده گرفت (شکل ۴). همه این عوامل به ایجاد الگوی بارشی فراگیر با میانگین بارش درخور توجه در حدود ۴ میلی‌متر در راستای ارتفاعات زاگرس منجر شده است (شکل ۴). به نظر می‌رسد وجود پُراتفاح بر روی دریای عرب بیشتر در بارش نیمه جنوبی، به‌ویژه در ارتفاعات زاگرس، تأثیرگذار است.



شکل ۴. الف) میانگین فرافت رطوبت و باد (متر بر ثانیه)؛ ب) میانگین فشار سطح دریا (پهنه رنگی) و ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۸۵۰ ه.پ؛ ج) میانگین بارش (میلی متر بر روز)؛ د) نمودار فراوانی ماهانه، الگوی ۲

شرایط فشاری سطح دریا بر روی ایران نشان دهنده گسترش زبانه‌های پُرفشار بیش از ۱۰۲۳ ه.پ است و تا نزدیکی‌های جنوب ایران کشیده شده است. در ارتفاعات بالا و در سطح ۸۵۰ ه.پ سلول پُرفشار عربستان تفاوت فاحشی نسبت به الگوهای دیگر دارد و با قرارگیری در بخش غربی خلیج فارس و شمال عربستان، علاوه بر حرکت غربی، جابه‌جایی شمالی نیز داشته و هسته مرکزی آن دارای کشیدگی شمالی-جنوبی است و با پُرفشار تشکیل شده بر روی ایران در تعامل است (شکل ۵ب). این جابه‌جایی پُرفشار سبب سد شدن و تضعیف جریان‌های جنوب غربی به ایران و انحراف آن‌ها به عرض‌های بالاتر شده است؛ به طوری که مقدار کمی از جریان‌ها با شدت بسیار ناچیز به بخش شمالی و سواحل جنوبی دریای خزر رسیده و با افزایش رطوبت در جنوب غربی این سواحل سبب بارش درخور توجهی در این مناطق شده است. اما در بخش‌های دیگر ایران از نفوذ جریان‌ها و ورود رطوبت بسیار کاسته شده و، به تبع آن، بارشی در آن‌ها رخ نداده است (شکل ۵الف). همان‌طور که در شکل ۵ج مشاهده می‌شود، الگوی بارشی با بیشینه بارش بیش از ۲ میلی‌متر در بخش شمالی ایران، به‌ویژه در سواحل جنوب غربی دریای خزر، است.

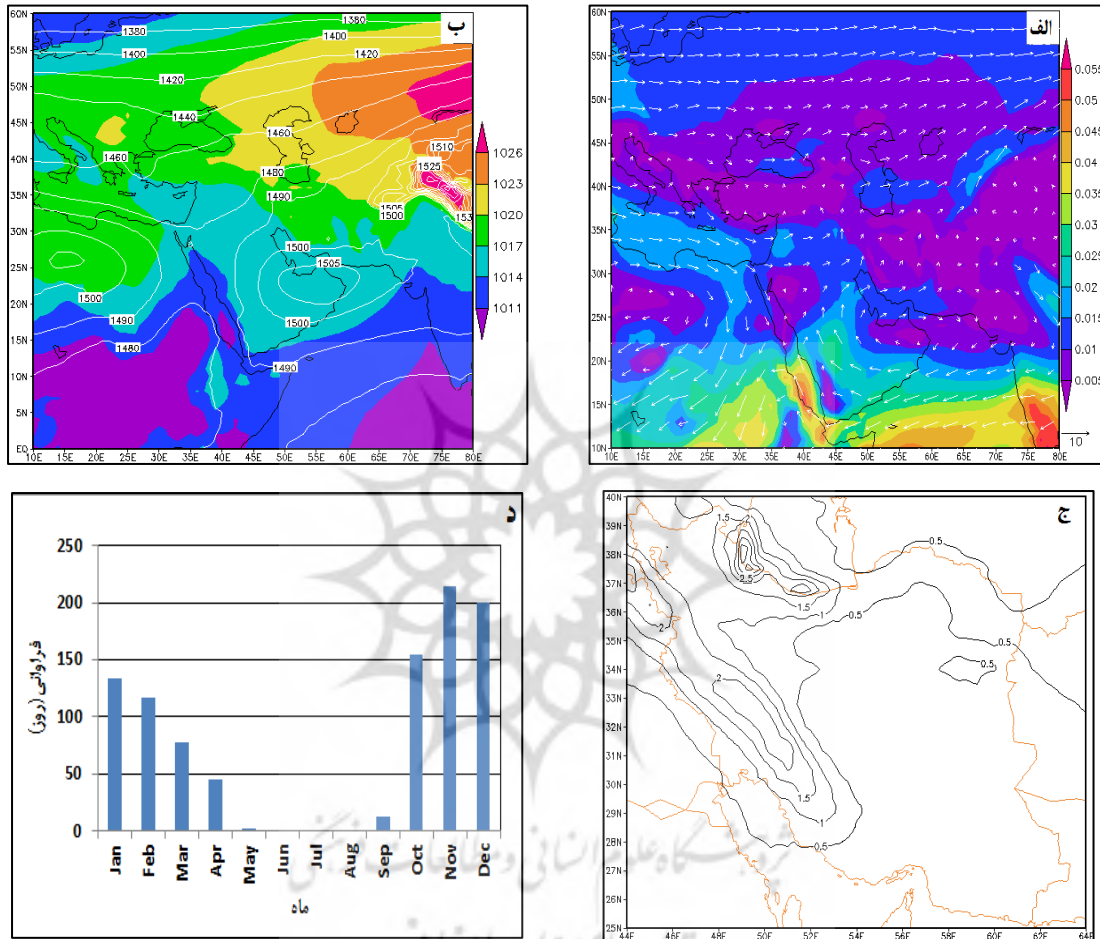


شکل ۵. الف) میانگین فرارفت رطوبت و باد (متر بر ثانیه)؛ ب) میانگین فشار سطح دریا (پهنه رنگی) و ارتفاع ژئوپتانسیل سطح +۸۵۰ ه.پ؛ ج) میانگین بارش (میلی‌متر بر روز)؛ د) نمودار فراوانی ماهانه، الگوی ۳

فراوانی الگوی ۴ در فصول پاییز و زمستان و بیشینه آن، همانند الگوی ۳، در فصل پاییز و ماه نوامبر است (شکل ۵د). این الگو، با ۲۳/۷۴ درصد، دومین الگوی بزرگ است (جدول ۱). الگوی ۴ همچنین از نظر فراوانی سالیانه در رتبه دوم قرار دارد و در هیچ سالی فراوانی آن کمتر از ۷۰ روز نبوده است؛ به طوری که سال ۲۰۰۶ با ۱۰۷ روز دارای بیشترین فراوانی است. فراوانی روزهای همراه بارش این الگو کمتر از روزهای خشک آن و بیشتر از روزهای بارشی الگوی ۲ است. اما، در عین حال، روزهای فاقد بارش آن نیز بیشتر از روزهای خشک الگوی ۲ و تقریباً بیش از دو برابر آن است؛ به همین سبب، می‌توان الگوی ۴ را به لحاظ بارشی در رتبه دوم پس از الگوی ۱ قرار داد (شکل‌های ۲الف و ۲ب).

در سطح دریا فشار بر روی ایران نسبتاً زیاد بوده و بیشتر مناطق آن را پهنه فشاری ۱۰۲۰ ه.پ فراگرفته است، اما در سطح ۸۵۰ ه.پ موج‌های کوتاه بادهای غربی با شیب ارتفاعی زیاد بر فراز ایران دیده می‌شود و در نیمه شمالی آن نمود بیشتری دارد. الگوی قرارگیری پُراارتفاع عربستان به گونه‌ای است که مرکز آن دارای کشیدگی مداری است و بر جنوب دریاهای خلیج فارس و عمان قرار دارد (شکل ۶ب). بنابراین، به علت قرارگیری بخش اعظم مرکز پُراارتفاع بر روی خشکی و دریاهای کم‌عمق جنوبی، کشیدگی مداری مرکز پُراارتفاع و جابه‌جایی آن به سمت شمال سبب کاسته‌شدن

مسیر عبوری جریان‌ها از روی دریای عرب شده است که این شرایط برداشت کمتر رطوبت را در پی دارد؛ با گذر طولانی مدت از روی خشکی شبه جزیره عربستان و کاسته شدن از شدت جریان‌ها، نسبت به الگوی ۲، مقدار تزریق رطوبت به ایران کمتر و به تبع آن از میانگین بارش با بیشینه سه میلی متر کاسته شده و همچنین باعث تغییر الگوی مکانی به سواحل جنوبی خزر شده است (شکل‌های الف و ج).



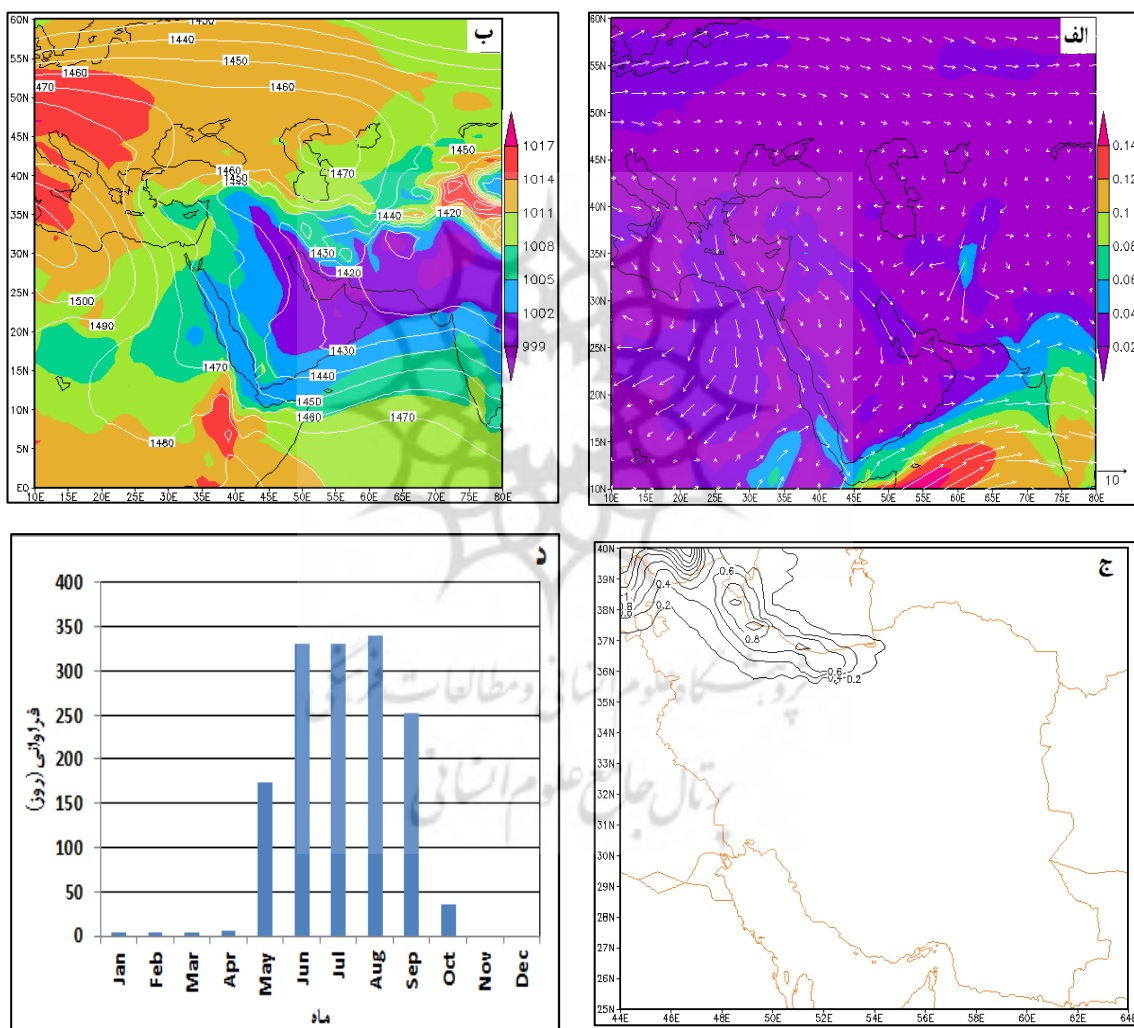
شکل ۶. الف) میانگین فرارفت رطوبت و باد (متر بر ثانیه؛ ب) میانگین فشار سطح دریا (بهنه رنگی) و ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۸۵۰ ه.پ؛ ج) میانگین بارش (میلی متر بر روز)؛ د) نمودار فراوانی ماهانه، الگوی ۴

الگوی فصل گرم

الگوی ۵ الگوی فصل گرم است و بر طبق شکل ۷ بیشینه فراوانی آن در ماه‌های گرم سال، به ویژه در فصل تابستان، است. این الگو، با ۱۴۷۶ روز، ۳۶٫۷۳ درصد بزرگ‌ترین و در عین حال کم‌بارش‌ترین الگوی گردش در میان الگوهاست (جدول ۱). در شکل ۲ الف دیده می‌شود که فراوانی سالیانه الگوی ۵ دارای نوسان بسیار منظمی است؛ به طوری که در همه سال‌ها تعداد روزهای هر الگو بیش از ۱۲۵ روز و تا ۱۴۰ روز در نوسان است. فراوانی روزهای خشک این الگو بسیار زیاد و در حدود ۹۴ درصد است که در سایر الگوها مشاهده نمی‌شود (شکل ۲ ب).

در این الگو، برخلاف الگوهای فصول سرد، زبانه‌های کم‌فشار بر روی ایران، به خصوص نیمه جنوبی آن گسترده شده است. در تراز ۸۵۰ ه.پ جهت‌گیری خطوط هم‌ارتفاع تقریباً همسو با خطوط فشاری سطوح زیرین بوده و از آن

تبعیت کرده است. به علت قرارگیری در فصل تابستان، پُراارتفاع عربستان موجودیت خود را با ادغام پُرفشار جنب حاره از دست داده و، به صورت پُراارتفاعی گسترده، در غرب و شمال غرب منطقه خاورمیانه و ایران قرار گرفته است. در بخش‌های جنوبی و به خصوص دریای عرب خطوط ارتفاعی زبانه‌های کم ارتفاع تابستانه به شکل مداری مشاهده می‌شود (شکل ۷ب). این شرایط باعث انتقال رطوبت به سمت کم فشار موسمی به داخل شبهه جزیره هند گردیده که این الگوی گردش سبب کاهش انتقال رطوبت از منابع آبی اطراف به داخل ایران شده است (شکل ۷الف). بنابراین، به جز در بخش کوچکی از شمال غرب و شمال ایران، که دارای میانگین بارش اندک و در حدود ۱ میلی‌متر است، سایر مناطق ایران بدون بارش بوده است (شکل ۷ج).

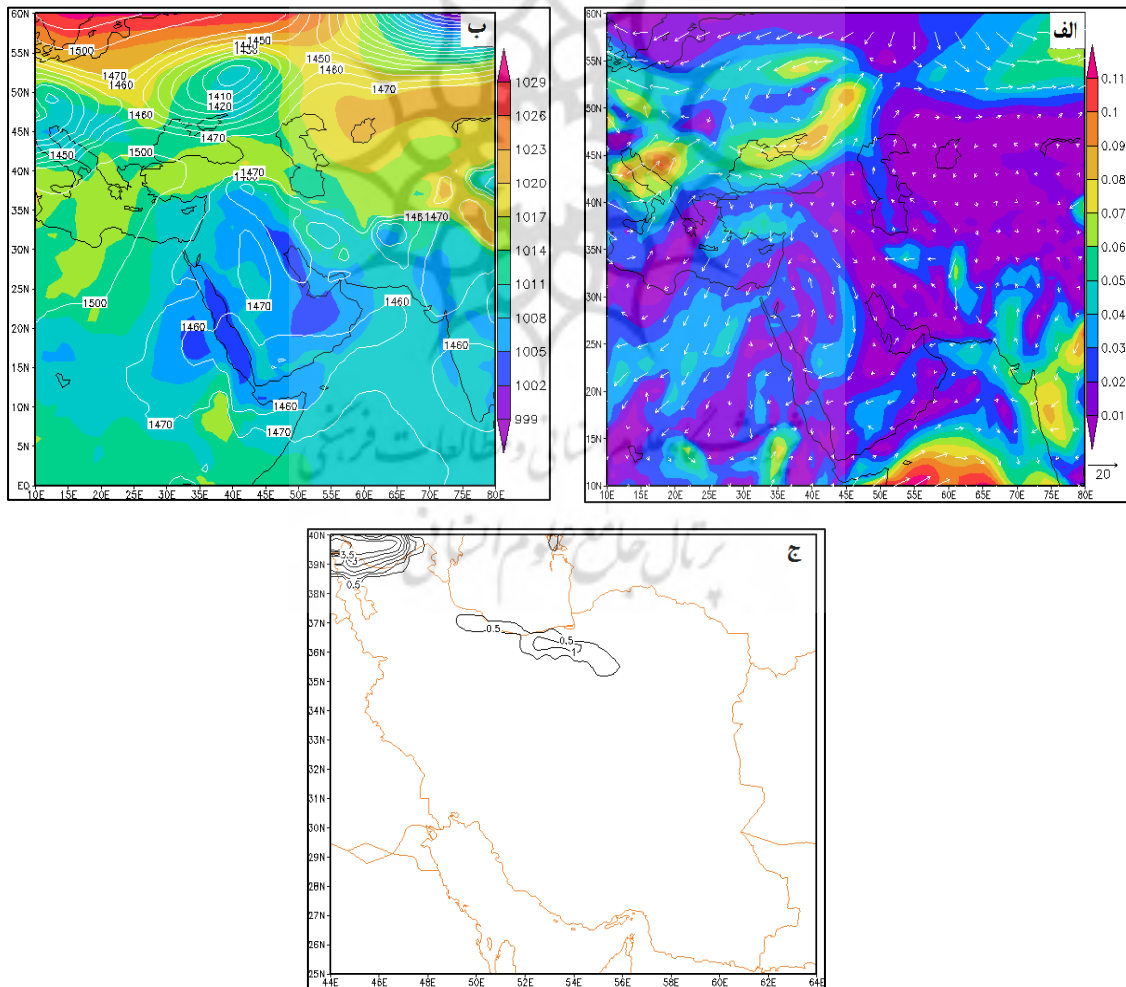


شکل ۷. الف) میانگین فرارفت رطوبت و باد (متر بر ثانیه)؛ ب) میانگین فشار سطح دریا (پهنه رنگی) و ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۸۵۰ ه.پ؛ ج) میانگین بارش (میلی‌متر بر روز)؛ د) نمودار فراوانی ماهانه، الگوی ۵

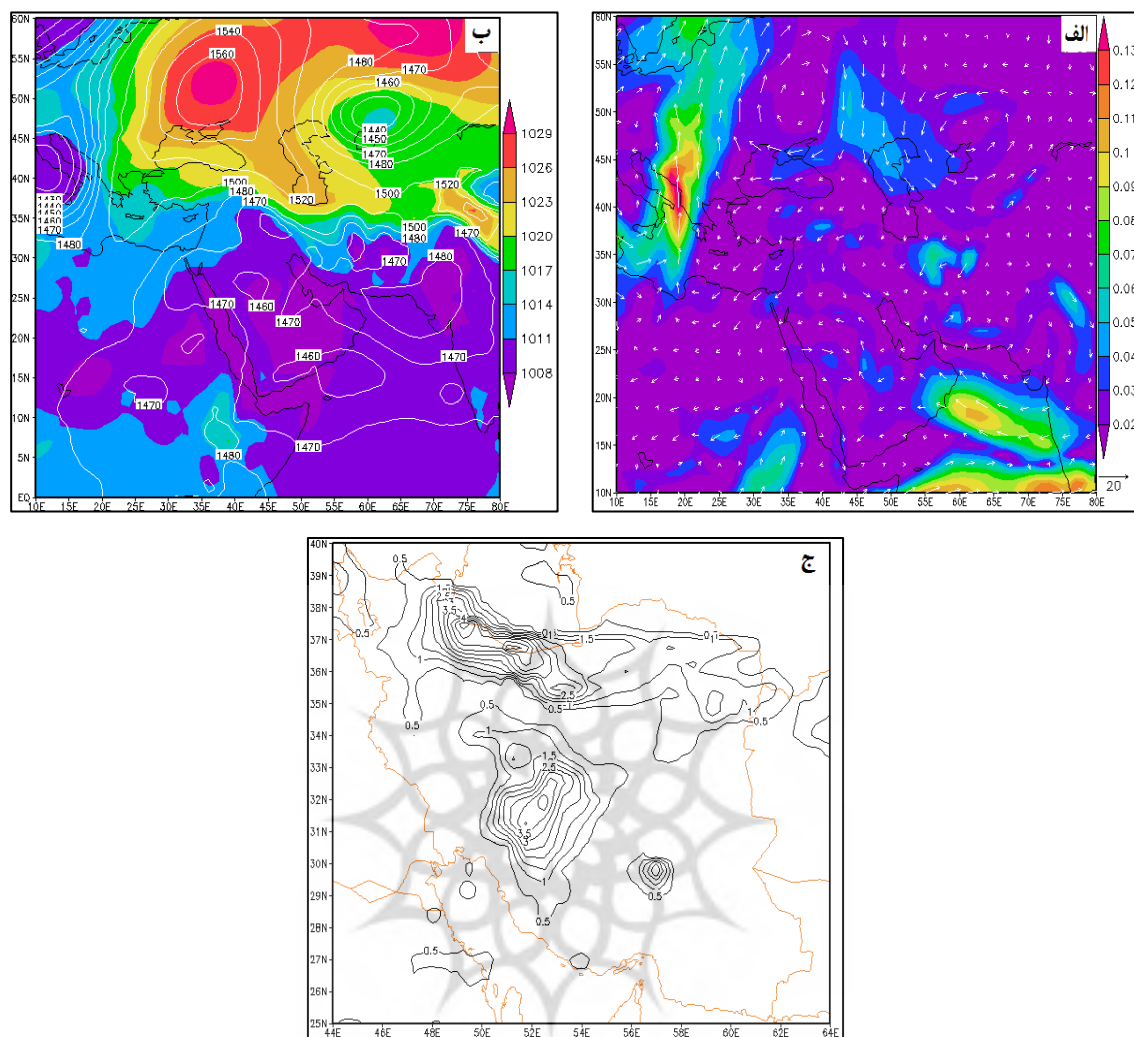
شرایط خاص

در دوره مورد بررسی دو نمونه به عنوان شرایط خاص به دست آمد: مورد اول یک روز و مورد دوم دو روز را در بر دارد. سامانه‌های جوی ایجادکننده شرایط خاص با الگوهای غالب بررسی شده متفاوت است و شرایط کاملاً ویژه‌ای را نشان می‌دهد.

مورد اول مربوط به بیست و یکم سپتامبر ۲۰۰۰ است و دارای بارش بسیار سبکی است؛ این مورد در سواحل جنوبی دریای خزر و کوهپایه‌های جنوبی البرز همچنین انتهای مرز شمال غربی ایران به وقوع پیوسته است (شکل ۸ج). در این الگو شکل و موقعیت مکانی هسته مرکزی پُراتفَاع عربستان همانند الگوی ۳ و کم‌بارش‌ترین الگو در میان الگوهای فصل سرد است که با کشیدگی نصف‌النهاری و جابه‌جایی شرقی و شمالی بسیار زیاد و نفوذ به بخش غربی خلیج فارس مانع عبور جریان‌های مرطوب جنوب غربی و حتی در مواقعی غربی به ایران شده است. اما در عرض‌های بالاتر از ۴۰ درجه شمالی کمربندی کم‌ارتفاعی به صورت شمال شرقی - جنوب غربی با شیب ارتفاعی نسبتاً زیاد کشیده شده است و کم‌ارتفاع میانی مستقر در شمال غربی دریای خزر با حرکت چرخندی در بخش جنوبی رطوبت دریای سیاه و غربی با تعامل کم‌ارتفاع غربی خود رطوبت دریای مدیترانه را برداشت کرده و آن را از طریق جریان‌های غربی - شمال غربی به مناطق شمال غربی ایران فرارفت نموده است. همچنین، کم‌ارتفاع ضعیف گسترده‌شده در مرزهای غربی و ارتفاعات زاگرس با ارسال رطوبت خلیج فارس به این شرایط کمک کرده است؛ می‌توان گفت بارش ایجادشده در سواحل خزر ناشی از این کم‌ارتفاع است (شکل‌های الف و ب).



شکل ۸. الف) میانگین فرارفت رطوبت و باد (متر بر ثانیه)؛ ب) میانگین فشار سطح دریا (پهنه رنگی) و ارتفاع ژئوپتانسیل سطح +۸۵.۵ پ.ج) میانگین بارش (میلی‌متر بر روز)، نمونه اول شرایط خاص



شکل ۹. الف) میانگین فرارفت رطوبت و باد (متر بر ثانیه)؛ ب) میانگین فشار سطح دریا (پهنه رنگی) و ارتفاع ژئوپتانسیل (کنتور) (پ. سطح ۸۵۰ ه. پ؛ ج) میانگین بارش (میلی متر بر روز)، نمونه دوم شرایط خاص

نمونه دوم در نوع خود بسیار درخور توجه و منحصر به فرد است و مربوط به روزهای دوم و سوم اکتبر ۲۰۰۰ است که بارش آن نیز بسیار زیاد بوده و در اغلب مناطق ایران با بیشینه‌ای در جنوب و جنوب غربی دریای خزر به وقوع پیوسته است (شکل ۹ ج). الگوی فشاری سطح دریا نشان‌دهنده گسترش زبانه‌های کم‌فشار از جنوب و زبانه‌های پرفشار با شیب فشاری زیاد از شمال و شمال غربی بر روی ایران است. در تراز ۸۵۰ ه. پ سامانه بندالی به وضوح دیده می‌شود؛ هسته مرکزی آن در شمال دریای سیاه قرار گرفته و با حرکت و اچرخندی در بخش غربی خود رطوبت دریای مدیترانه و در بخش شرقی به کمک کم‌ارتفاع موجود در آن بخش - که سبب افزایش شدت جریان‌های شمالی شده - رطوبت دریای خزر را وارد ایران کرده است. از طرفی، پُرافتاع عربستان در متوالیه شرقی خود، با قرارگیری بر روی شرق دریای عمان و گسترش در جنوب شرقی ایران، موجب انتقال جریان‌های جنوب غربی به جنوب و حتی مناطق مرکزی شده و رطوبت دریاها، عرب، عمان، و خلیج فارس را به این مناطق تزریق کرده است (شکل‌های ۹ الف و ۹ ب).

بحث و نتیجه گیری

در این پژوهش، با استفاده از داده‌های ساعتی ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۸۵۰ ه.پ دوره آماری ۲۰۰۰ - ۲۰۱۰ و با بهره گیری از خوشه‌بندی به روش همبستگی، تأثیر و نقش الگوهای گردشی پُرافتخا عربستان بر روی بارش ایران بررسی و سرانجام پنج الگوی بزرگ گردشی به منزله الگوی غالب استخراج شد. از میان پنج الگوی غالب، فراوانی چهار الگو مربوط به فصول سرد و دیگری، که بزرگ‌ترین الگو نیز بود و فراوانی بیشتری در میان الگوهای دیگر داشت، مربوط به فصل گرم سال است. الگوی ۲ از فصل سرد سال الگوی بارشی ایران بوده و فراوانی و تکرارپذیری کمتر در طول سال نسبت به الگوهای ۱، ۳، و ۴ داشته، اما شرایط بهینه انتقال رطوبت را ایجاد کرده است. وقوع این الگو همراه با احتمال رخداد روزهای بارشی بیشتر در طی سال است و شرایط بهنجاری را از این نظر به وجود می‌آورد که این شرایط می‌تواند موجب افزایش احتمال بارش و ترسالی در ایران شود. ارتباط میانگین سالانه بارش ایران با فراوانی الگوها نیز مؤید همین نکته است. همان طور که در جدول ۲ مشخص است، میزان بارش ایران با فراوانی وقوع الگوی ۲ همبستگی مثبت و بسیاری دارد و در مرحله بعد با الگوی ۴ همبستگی مثبت مشاهده می‌شود. همچنین، گستره بارشی الگوی ۲ نسبت به سایر الگوها درخور توجه است؛ به طوری که تکرار این الگو همراه با بارش در پهنه گسترده و وسیعی از ایران است (شکل ۴). تکرار بیشینه الگوهای ۱ و ۳ به ایجاد شرایط خشکی در ایران منجر می‌شود، به‌ویژه الگوی ۳، با توجه به درصد بسیار زیاد فراوانی در روزهای خشک آن، شرایط احتمالی را برای ایجاد خشکی فراهم می‌آورد. همان طور که در جدول ۲ نیز مشاهده می‌شود، وقوع الگوهای ۳ و ۱ با بارش ایران همبستگی معکوس دارد؛ به سبب سال‌هایی که این الگوها تکرار بیشتری داشته‌اند، میزان بارش دریافتی ایران به طور میانگین کمتر بوده است. سال آبی ۲۰۰۶ - ۲۰۰۷، که سالی مرطوب است، با افزایش فراوانی الگوی ۲ و ۴ و کاهش فراوانی الگوی ۱ و ۳ همراه است؛ همچنین، کاهش وقوع الگوی ۲ و افزایش وقوع الگوی ۱ خشکی سال ۲۰۰۰ - ۲۰۰۱ در ایران را موجب شده است (شکل ۲). بنابراین، الگوهای گردشی در مقیاس همدید در بازه زمانی سالیانه دارای تکرار ثابتی نیستند و، با توجه به تغییرات در شرایط گردشی جو، الگوهای همدیدی نیز دست‌خوش تغییراتی می‌شوند. این تغییرات به تغییرپذیری متغیرهای اقلیمی همانند بارش در گستره مکانی ایران منجر می‌شود.

جدول ۲. همبستگی بین میانگین بارش سالانه ایران و فراوانی وقوع سالانه الگوها

الگوی ۱	الگوی ۲	الگوی ۳	الگوی ۴
-۰/۴۵	۰/۶۶	-۰/۴۳	۰/۲۸

نتایج نشان داد موقعیت قرارگیری پُرافتخا عربستان همچون جابه‌جایی شرقی - غربی، شمالی - جنوبی، و حتی کشیدگی هسته مرکزی آن در تزریق و انتقال رطوبت و به تبع آن بارش بر روی ایران نقش بسیار مهمی دارد. همچنین، توزیع مکانی بارش در سطح ایران به موقعیت مکانی، شکل، و پهنه گردشی این پُرافتخا بستگی دارد؛ به طوری که با جابه‌جایی به سمت غرب و شمال، به سبب تغییر جهت جریان‌ها به سمت غرب، بیشینه بارش در مناطق شمالی، به‌ویژه

در جنوب غربی دریای خزر و شمال غربی ایران، متمرکز می‌شود. تعامل پُراتفعا عربستان با پُراتفعا شمال افریقا با ایجاد جریان‌های غربی و افزایش نقش دریای مدیترانه در فرارفت رطوبت به ایران تأثیرگذار است.

بهترین موقعیت قرارگیری عمومی پُراتفعا عربستان بر روی دریای عرب است که باعث افزایش فرارفت رطوبت به ایران می‌شود؛ به طوری که، با انتقال و قرارگیری هسته مرکزی پُراتفعا بر روی دریاهای واقع در جنوب ایران، به‌ویژه دریای عرب، با طولانی‌شدن مسیر جریان‌های عبوری بر روی پهنه آبی، رطوبت بیشتری کسب می‌کند که تزریق رطوبت بسیاری توسط جریان‌های جنوبی - جنوب غربی به ایران را همراه دارد؛ همچنین، تعداد دریاهای بیشتری در این امر مشارکت دارند؛ این شرایط در الگوی ۲، که الگوی پُربارش و نسبتاً فراگیر ایران همراه بیشینه بارشی بر روی ارتفاعات غربی است، و الگوی ۴، که دومین الگوی پُربارش است، دیده می‌شود.

جابه‌جایی پُراتفعا به بخش‌های غربی‌تر و شمالی‌تر و قرارگیری بر روی خشکی‌های عربستان به دو طریق نقش این پُراتفعا را در انتقال رطوبت و بارش به ایران تعیین می‌کند: یکی کاهش انتقال رطوبت توسط این پُراتفعا به سبب کاهش مسیر گذر جریان‌های ناشی از آن از روی دریای عرب، و همچنین ایجاد جریان‌های جنوبی و جنوب غربی بر روی عراق، که به کاهش نفوذ جریان‌های ناشی از این پُراتفعا به ایران منجر می‌شود؛ و دیگری ایجاد سدی در مسیر جریان‌های مرطوب غربی توسط جریان‌های جنوبی و جنوب غربی ایجادشده این پُراتفعا، که در الگوی ۱ و ۳، به‌ویژه در الگوی ۳، که با بارش کمتری همراه بوده‌اند، نمایان است.

کشیدگی هسته مرکزی پُراتفعا عربستان عامل دیگری در تغییر میزان رطوبت ورودی به ایران است و بسته به نصف‌النهار یا مداری بودن و قرارگیری بر روی دریا یا خشکی متفاوت است؛ به طوری که هرگاه هسته مرکزی کشیدگی نصف‌النهاری داشته و بر خشکی قرار گرفته نه تنها رطوبت زیادی نداشته، بلکه به‌وضوح مانع ورود جریان‌های غربی به ایران شده است (الگوی ۳). اما، هنگامی که هسته پُراتفعا دارای کشیدگی مداری بر روی دریا باشد انتقال رطوبت مناسب به ایران را به همراه دارد (الگوی ۴).

در فصل گرم سال، با گسترش کم‌فشار گنگ در سطوح زیرین و ادغام و گسترش پُرفشار جنب حاره‌ای و پُراتفعا عربستان در سطوح بالاتر بر روی ایران و به تبع آن کاهش فعالیت و نقش این پُراتفعا، مقدار رطوبت و بارش ایران به شدت تقلیل یافته است. در شرایطی سامانه‌های دیگر جوی در عرض‌های جغرافیایی بالاتر مانند سامانه بندالی و مراکز ارتفاعی و فشاری مختلف و تعامل آن با موقعیت قرارگیری پُراتفعا عربستان به ایجاد حالاتی خاص و ویژه منجر می‌شود که بسته به همراهی هر یک از این عوامل شرایط متفاوت بارشی در نقاط مختلف ایجاد شود. به طور کلی، پُراتفعا عربستان در فصول سرد با ایجاد جریان‌های جنوب - جنوب غربی تأثیر فراوانی در رطوبت و بارش در ایران دارد. اما در فصول گرم، به سبب ادغام آن با پُرفشار جنب حاره، موجب افزایش پایداری هوا در منطقه و کاهش نقش در فرایند فوق می‌شود. نتایج فوق در زمینه چگونگی قرارگیری مرکز پُراتفعا عربستان و نحوه تأثیرگذاری آن در انتقال رطوبت و ایجاد بارش (الگوهای ۲ و ۴) و همچنین جابه‌جایی آن بر روی خشکی - که به کاهش انتقال رطوبت و بارش (الگوهای ۱ و ۳) منجر شده - با یافته‌های لشگری (۱۳۷۵)، کریمی (۱۳۸۶)، جهان‌بخشی (۱۳۸۸)، کریمی و فرج زاده (۱۳۹۰)، خوش‌اخلاق و همکاران (۱۳۹۱)، و لشگری و محمدی (۱۳۹۴) و در زمینه تأثیرگذاری در ایجاد شرایط گرد و غباری (الگوهای ۱ و ۳) بر روی ایران با یافته مفیدی و جعفری (۱۳۹۰) منطبق است.

منابع

- جهان‌بخشی، م. (۱۳۸۸). تحلیل سینوپتیکی ارتباط پرفشار جنب حاره‌ای عربستان با بارش‌های جنوب و جنوب غرب ایران، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.
- حلیان، ا. (۱۳۹۰). شناسایی تنوع آرایش جوی در وردسپهر میانی و اندرکنش الگوهای همدید مؤثر بر ایران، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۲(۲۱): ۱۳۱ - ۱۵۶.
- خوش‌اخلاق، ف.؛ عزیزی، ق. و رحیمی، م. (۱۳۹۱). الگوهای همدید خشک‌سالی و ترسالی زمستانه در جنوب غرب ایران، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۲(۲۵): ۵۷ - ۷۷.
- علیجانی، ب. (۱۳۸۸). اقلیم‌شناسی سینوپتیک، ج ۳، تهران: سمت.
- علیجانی، ب.؛ محمدی، ح. و بیگدلی، آ. (۱۳۸۶). نقش الگوهای فشار در بارش‌های سواحل جنوبی دریای خزر، فصلنامه جغرافیایی سرزمین، ۴(۱۶): ۳۷ - ۵۱.
- علیجانی، ب. (۱۳۶۶). رابطه پراکندگی مکانی مسیرهای سیکلونی خاورمیانه با سیستم‌های هوایی سطح بالا، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۴: ۱۲۵ - ۱۴۳.
- علیجانی، ب.؛ عزیزی، ق. و رضایی، پ. (۱۳۸۳). بررسی اثر الگوهای سینوپتیک در تغییرات زمانی سیلاب‌های جنوب دریای خزر (مطالعه موردی رودخانه‌های شفا رود و تالار)، فصلنامه جغرافیایی سرزمین، ۱۱(۱): ۴ - ۱۹.
- فتاحی، ا. و رحیم‌زاده، ف. (۱۳۸۸). ارتباط انسو با الگوهای گردش جوی زمستانه ایران، فصلنامه جغرافیا و توسعه، ۷(۱۵): ۲۱ - ۴۴.
- فتاحی، ا. و رضیئی، ط. (۱۳۸۸). الگوهای گردش جوی روزانه بر روی ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۲۴(۹۳): ۴۵ - ۷۴.
- فرج‌زاده، م.؛ کریمی احمدآباد، م.؛ قائمی، ه. و مباشری، م. (۱۳۸۶). چگونگی انتقال رطوبت در بارش زمستانه غرب ایران (مطالعه موردی بارش ۳-۷ ژانویه ۱۹۹۶)، فصلنامه مدرس علوم انسانی، ۱۳(۱): ۱۹۳ - ۲۱۷.
- قشقای، ق. (۱۳۷۵). بررسی اثر فراپار سیبری بر بارش‌های پاییزی سواحل جنوبی خزر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما بهلول علیجانی، گرایش اقلیم و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه تربیت معلم.
- کریمی احمدآباد، م. (۱۳۸۶). تحلیل منابع تامین رطوبت بارش‌های ایران، رساله دکتری جغرافیای طبیعی، گرایش اقلیم‌شناسی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس.
- کریمی احمدآباد، م. و فرج‌زاده، م. (۱۳۹۰). شار رطوبت و الگوهای فضایی- زمانی منابع تامین رطوبت بارش‌های ایران، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۹(۲۲): ۱۰۹ - ۱۲۷.
- لشگری، ح. (۱۳۷۵). الگوی همیدیدی بارش‌های شدید جنوب غرب ایران، رساله دکتری، استاد راهنما هوشنگ قائمی، گروه جغرافیا، دانشگاه تربیت مدرس.
- لشگری، ح. و محمدی، ز. (۱۳۹۴). اثر موقعیت استقرار پرفشار جنب حاره‌ای عربستان بر سامانه‌های بارشی در جنوب و جنوب غرب ایران، فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۷(۱): ۷۳ - ۹۰.
- مفیدی، ع. و زرین، آ. (۱۳۸۴). بررسی سینوپتیکی تأثیر سامانه‌های کم‌فشار سودانی در وقوع بارش‌های سیل‌زا در ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۷۷: ۱۱۳ - ۱۳۶.
- مفیدی، ع. و جعفری، س. (۱۳۹۰). بررسی نقش گردش منطقه‌ای جو بر روی خاورمیانه در وقوع طوفان‌های گرد و غباری تابستانه در جنوب غرب ایران، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ۲(۵): ۱۷ - ۴۵.
- یارنال، ب. (۱۳۹۰). اقلیم‌شناسی همدید و کاربرد آن در مطالعات محیطی، ترجمه ا. مسعودیان، ج ۲، اصفهان: انتشارات دانشگاه اصفهان.

- Alijani, B.; Mohammadi, H. and Bigdeli, A. (2007). **The Role of Pressure Patterns on the Precipitation of the South Coast of Caspian Sea**, *Sarzamin Geography Quarterly*, 16: 37-51.
- Alijani, B.; Azizi, Gh. and Rezaei, P. (2004). **The Effect of Synoptic Patterns on the Floods of the Southern Caspian Sea Coast, Case Study: Shafarood and Talar Rivers**, *Sarzamin Geography Quarterly*, 4(1): 4-19.
- Alijani, B. (1988). The Relationship Between Spatial Distribution Middle East Cyclone Routes With High-Level Aerial Systems, *Geographical Research Quarterly*, 4: 125-143.
- Domroes, M.; Kaviani, M. and Schaefer, D. (1998). **An Analysis of Regional and Intra-annual Precipitation Variability over Iran Using Multivariate Statistical Methods**, *Theoretical And Applied Climatology*, 61: 151-159.
- Farajzadeh, M.; Karimi Ahmadabad, M.; Ghaemi, H. and Mobasheri, M.R. (2007). **Mechanism of Water Vapor Transport in Winter Rainfall Over the West of Iran (A Case Study: 1-7 January 1996)**, *Journal of Humanities lecturer*, 13(1): 193-217.
- Fattahi, E. and Raziei, T. (2009). **Daily Atmospheric Circulation Patterns over Iran**, *Geographical Research Quarterly*, 93: 45-74.
- Fattahi, E. and Rahimzadeh, F. (2009). **The ENSO Relation With Wintery Atmospheric Circulation Patterns in Iran**, *Geography and Development Quarterly*, 15: 21-44.
- Jahanbakhshi, M. (2010). **Synoptic Analysis The Relationship Between Saudi Arabia Subtropical High Pressure With Precipitations In The South and South West of Iran**, Master's Thesis, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University.
- Halabian, A.H. (2011). **Recognition of variety of the atmospheric configuration at mid- troposphere and the interaction between effective synoptic patterns over Iran**, *Applied Research of Geographic Sciences Journal*, 11(21): 131-156.
- Hayden, B.P. (1981). **Cyclone Occurrence Mapping: Equal Area or Raw Frequencies**, *Monthly Weather Review*, 109(1): 168-172.
- Huth, R. (1996). **An Inter comparison of Computer Assisted Circulation Classification Methods**, *International Journal of Climatology*, 16: 893-922.
- Karimi Ahmadabad, M. (2008). **Analysis of The Moisture Supplying Sources For Iran's Precipitation**, Ph.D. Thesis The Natural Geography, Climatology Orientation, Faculty of Humanities, Tarbiat Modarres University.
- Karimi Ahmedabad, M. And Farajzadeh, M. (2012). **Moisture flux and spatial-temporal patterns of Moisture Supplying Sources For Iran's Precipitation**, *Applied Research of Geographic Sciences Journal*, 19 (22): 109 127.
- Khoshakhlagh, F.; Azizi, Gh. and Rahimi, M. (2012). **The synoptic Patterns of wintertime drought and wet period in Southwestern of Iran**, *Geographical Sciences Applied Research Journal*, 12(25): 57-77.
- Klein., W.H. and Winston., J.S. (1958). **Geographical Frequency of Troughs and Ridges In the Northern Hemisphere, 1949-1963**, *Monthly Whether Review*, 93: 705-720.
- Lamb, H.H. (1950). **Types and Spells of Weather Around the Year In the British Isles : Annual Trends, Seasonal Structure of the Year, Singularities**, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 76(330): 393-429.
- Lamb, H.H. (1972). **British Isles Weather Types and a Register of Daily Sequence of Circulation Patterns, 1861-1971**, *Geophysics Mem.*, Vol. 116.
- Lashgari, H. and Mohammadi, Z. (2015). **The Role of Saudi Arabian Sub-Tropical High Pressure on the Rainfall Systems on South and Southwest Iran**, *Journal of Physical Geography*, 1: 71-90.
- Lashgari, H. (1996). **The Synoptic pattern of heavy precipitations south West of Iran**, Thesis, The Department of Geography, Tarbiyat Madras University.
- Lund, I.A. (1963). **Map-Pattern Classification by Statistical Methods**, *Journal of Applied Meteorology*, 2(1): 56-65.
- Mofidi, A. and Jafari, S. (2011). **The Role of Regional Atmospheric Circulation over The Middle East on The Occurrence of Summer Dust-storms in Southwest Iran**, *Arid Regions Geographic Studies*, 2(5): 17-45.

- Mofidi, A. and Zarrin, A. (2005). **Synoptic Analysis of Influence of Sudan Systems in Occurring of Torrential Precipitations in Iran**, *Geographical Research Quarterly*, 77: 113-136.
- Pettersen, S. (1950). *Some Aspects of the General Circulation of the Atmosphere*, Centenary Proce., R.M.S., PP. 120-155.
- Qashqai, GH. (1996). **Investigate Effect of The Siberian High Pressure On The Fall Rainfals Southern Coast of The Caspian Sea**, Master's Thesis, The Tendency of Climate And Environmental Planning, Tarbiyat Moalem University.
- Stark, L.P. (1965). **Positions of Monthly Mean Troughs and Ridges in the Northern Hemisphere, 1949-1963**, *Monthly Weather Review*, 93: 705-720.
- Vicente-Serrano, S.M. and Lopez-Moreno, J.I. (2006). **The Influence of Atmospheric Circulation at Different Spatial Scales on Winter Drought Variability Through a Semi-Arid Climatic Gradient in Northeast Spain**, *International Journal of Climatology*, 26: 1427-1453.
- Xu, X.D.; Miao, Q.; Wang, J. and Zhang, X. (2003). **The Water Vapor Transport Model At The Regional Boundary During The Meiyu Period**, *Advances in Atmospheric Science*, 20(3): 333-342.
- Yarnal, B. (1993). *Synoptic Climatology In Environmental Analysis, A Primer*, Belhaven Press, PP. 195.
- Zarrin, A.; Ghaemi, H.; Azadi, M.; Mofidi, A. and Mirzaei, E. (2011). **The Effect of Zagros Mountains on the Formation and Maintenance of Iran Anticyclone Using RegCM4**, *Meteorology and Atmospheric Physics*, 112: 91- 100.
- Zhang, R. (2001). **Relations of Water Vapor Transport From Indian Monsoon With That Over East Asia And The Summer Rainfall In China**, *Advances in Atmospheric Science*, 18(5): 1005-1017.

