

پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۵۳، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰
ص ۵۲۹-۵۰۹

هم‌زمانی تغییرات مکانی و اچرخند عربستان در تراز ۸۵۰ hPa با بارش‌های اکتبر تا مارس در ایران

مصطفی کریمی* - استادیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران
فهیمه نوروزی - کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران
مهناز جعفری - دکتری اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
فرامرز خوش‌اخلاق - دانشیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران
علی‌اکبر شمسی‌پور - دانشیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۱۰

دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۰۴

چکیده

واچرخند عربستان یکی از مؤلفه‌های گردش جوی مؤثر بر بارش دوره سرد ایران است. هدف از این تحقیق بررسی موقعیت جغرافیایی این واچرخند در تراز ۸۵۰ هپ (هکتوپاسکال) هم‌زمان با بارش‌های ماهانه دوره سرد ایران است. برای این هدف، از داده‌های بارش بازکای شده پایگاه ERA interim مرکز پیش‌بینی‌های میان‌مدت اروپا (ECMWF) و جوی مرکز ملی پیش‌بینی‌های محیطی و پژوهش‌های جوی (NCEP/NCAR) استفاده شد. موقعیت جغرافیایی مرکز واچرخند در روزهای بارشی استخراج شد. نتایج پژوهش نشان داد در روزهایی با بارش سبک، متوسط، و سنگین به ترتیب ۸۰/۲، ۶۷/۳، و ۴۱/۸ درصد از روزها واچرخند عربستان دارای مرکز بسته مستقل بوده است. هم‌زمان با رخداد بارش در ایران فراوانی مراکز واچرخندی بر ساحل جنوب شرقی شبه‌جزیره عربستان و دریای عرب متمرکز بوده است. اما بیشینه دریافت بارش (بارش سنگین) در ایران زمانی است که واچرخند در محدوده دریای عرب مستقر باشد. به‌طور کلی، حرکت شرق‌سوی واچرخند و استقرار آن بر روی دریاهای عرب و عمان با توجه به سازوکار گردش جوی حاکم مناسب‌ترین الگو برای انتقال رطوبت به سامانه‌های بارشی ورودی به ایران است. در کل، می‌توان گفت موقعیت این واچرخند و جابه‌جایی آن به‌خصوص به سمت شرق و شمال شرق، با میزان و موقعیت پهنه بارشی ایران ارتباط مستقیمی دارد.

واژگان کلیدی: بارش‌های سبک، بارش‌های سنگین، پرفشار جنب حاره، تحلیل همدید، جنوب غرب آسیا

مقدمه

بارش حاصل اندرکنش‌های پیچیده جو است و نسبت به پدیده‌های اقلیمی دیگر از پیچیدگی رفتاری چشم‌گیرتری برخوردار است. در میان پدیده‌های اقلیمی، با توجه به نقش اساسی آن در تأمین آب و ادامه حیات موجودات زنده، اهمیت ویژه‌ای دارد. ایران از جمله مناطقی است که دارای ناهنجاری و بی‌نظمی در رژیم بارش است. بارش‌های آبرسنجین اغلب بر روی قلمروهای کوچک رخ می‌دهند، با این حال، ممکن است این رویدادها درون سامانه‌های بزرگ‌مقیاسی ایجاد شده باشند و همچنین انرژی و رطوبتشان را از منطقه دوردست دریافت کرده باشند (فاخری، ۱۳۹۰: ۱). توزیع زمانی و مکانی بارش در

ایران متأثر از توزیع سامانه‌های گردش جهانی و منطقه‌ای است که کمترین تغییر در الگوی آن ناهنجاری‌های شدید آب‌وهوایی را به دنبال می‌آورد. یکی از مؤلفه‌های گردش جوی مؤثر در انتقال رطوبت و بارش مراکز پرفشار هستند (ژائو و همکاران ۲۰۰۳، به نقل از کریمی و فرج زاده، ۱۳۹۰: ۱۱۰). بنابراین، شناخت دقیق‌تر سازوکار و نحوه عمل الگوهای گردش جوی و عناصر جوی مؤثر در وقوع بارش به‌ویژه مناطق فشار حائز اهمیت است. از این رو، مطالعات بسیاری در رابطه با مراکز فشار مؤثر در شرایط اقلیمی به‌ویژه بارش در جهان انجام شده که ایران نیز از این قاعده مستثنا نیست.

در گذشته توجهات بیشتر به نقش و سازوکار سامانه‌های کم‌فشار و چرخندی در بارش‌های ایران بود. از سامانه‌های کم‌فشار مؤثر بر بارش ایران کم‌فشار سودانی است. ناپایداری جوی و رخداد بارش در جنوب غرب ایران عموماً متأثر از این سامانه است (لشکری، ۱۳۸۱: ۱۳۳؛ ۱۳۸۲: ۱). اما بعدها، با توجه به چگونگی انتقال رطوبت در سامانه‌های سودانی (کریمی و فرج‌زاده، ۱۳۹۰؛ محمدی و همکاران، ۱۳۹۱؛ اکبری، ۱۳۹۱؛ فرامرزی و همکاران، ۱۳۹۲) و دیگر سامانه‌های مؤثر بر بارش ایران (کریمی ۱۳۸۶) به نقش پرفشارها و سامانه‌های اچرخندی بیشتر توجه شد و هم‌زمان منابع رطوبتی مرتبط با این سامانه‌ها از جمله نقش کاملاً محسوس و اچرخند مستقر در شرق شبه‌جزیره عربستان و نیز رطوبت دریای عربی در کنار دیگر مؤلفه‌های گردش جوی منطقه بیشتر واکاوی شد (مفیدی و زرین، ۱۳۸۴: ۱۲۷؛ موقری و خسروی، ۱۳۹۳: ۶۱). در بین مراکز فشار، و اچرخند سیبری، به دلیل نقش دوگانه آن در سواحل شمالی و سایر قسمت‌های ایران، اهمیت زیادی دارد؛ به‌گونه‌ای که بر نقش و اچرخند سیبری به‌عنوان عامل اصلی وقوع بارش‌های دوره سرد در منطقه خزری (جهان‌بخش و کرمی، ۱۳۷۸: ۱۰۸؛ مرادی، ۱۳۸۳: ۷۷)، بارش‌های پاییزه در شمال شرق (هوزی، ۱۳۸۹: ۱)، و بارش‌های شدید جنوب غرب ایران اشاره شده است (ایزدی قهفرخی، ۱۳۹۲: ۲). کمربند پرفشار جنب حاره‌ای یکی از عناصر اصلی در ساختار گردش عمومی جو است. مطالعاتی در ارتباط با تأثیر جابه‌جایی سالانه این کمربند به‌عنوان سامانه جوی کلان‌مقیاس بر پراکنش و توزیع زمانی و مکانی بارش انجام شده است (حجازی‌زاده، ۱۳۷۲؛ صادقی‌نیا، ۱۳۸۶؛ کویانی و همکاران، ۱۳۸۶؛ سلیقه و صادقی‌نیا، ۱۳۸۸؛ حلبیان و شبانکاری، ۱۳۹۰؛ دیویس و همکاران، ۱۹۹۷؛ سانتوز و همکاران، ۲۰۰۵؛ زرین و همکاران، ۲۰۱۰).

در این میان، و اچرخند عربستان، که در متون علمی داخل به‌عنوان پرفشار عربستان و حتی پُرافتقاع عربستان مشهور است، یکی از مهم‌ترین مراکز فشار شبه‌ساکنی است که در ترازهای زیرین و میانی جو ویژگی‌های اقلیمی منطقه را متأثر از خود می‌سازد. و اچرخند عربستان از مراکز فعالیت مؤثر در آب‌وهوای ایران است و نقش مهمی در انتقال رطوبت و توزیع زمانی و مکانی بارش در ایران دارد (مفیدی و زرین، ۱۳۸۴: ۱۲۷؛ خوش‌اخلاق و همکاران ۱۳۹۱: ۵۷؛ خوشحال و همکاران، ۱۳۸۸: ۷؛ کریمی و همکاران، ۱۳۹۵: ۵۸۴). بنابراین، مطالعات بسیاری در این رابطه به‌ویژه در سال‌های اخیر انجام شده است. از جدیدترین مطالعات می‌توان به مطالعات لشکری و همکاران اشاره کرد که تمرکز مکانی همه این مطالعات بر روی مناطق جنوب و جنوب غرب ایران بوده است. بررسی اثر موقعیت استقرار هسته مرکزی و اچرخند عربستان در سامانه‌های بارشی شدید در جنوب و جنوب غرب ایران نشان داد که در همه ترازهای مورد بررسی هسته مرکزی و اچرخند بر روی پهنه‌های گرم دریا‌های عربی و عمان قرار دارد (لشکری و محمدی، ۱۳۹۵: ۷۳). ارزیابی ارتباط موقعیت و اچرخند در کوتاه‌ترین طول دوره بارشی حاکی از حرکت غرب‌سوی و اچرخند و استقرار بر روی خشکی شبه‌جزیره عربستان است که این شرایط نامناسب‌ترین الگو برای بارش منطقه پژوهش و ایران است؛ زیرا به عدم فعالیت مناسب سامانه‌های مدیترانه‌ای و سودانی منجر می‌شود (لشکری و همکاران، ۱۳۹۵: ۷۱). همچنین، نقش حرکات سالانه و اچرخند در تأخیر آغاز بارش‌ها به شناسایی سه الگوی کلی منجر شد. در یک حالت سیستم و اچرخند دیرتر از شرایط عادی از جنوب غرب ایران خارج می‌شود، اما در حالات دیگر، سیستم و اچرخند از منطقه خارج می‌شود، اما به سمت غرب

یا مرز جنوبی خلیج فارس حرکت می‌کند که شرایط حاکم سینوپتیک این الگوها امکان ورود هر سیستم بارشی را به منطقه غیرممکن می‌سازد (لشکری و محمدی، ۲۰۱۸: ۲۰۶۹). این محققان نقش الگوهای غالب واپرخند یادشده به همراه رودباد جنب حاره‌ای در ایجاد ترسالی‌ها (محمدی و لشکری ۱۳۹۷: ۴۹۱) و خشک‌سالی‌های (لشکری و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۴۱) شدید مناطق یادشده را نیز مطالعه کردند. نتایج نشان داد در رخداد ترسالی‌های شدید واپرخند یادشده جابه‌جایی قابل توجه شرق سو داشته و در نمونه‌های فراگیر موقعیت آن در شرق طول ۵۵ درجه شرقی بوده است. اما در خشک‌سالی‌های شدید زبانه‌های چهار سامانه واپرخندی آزورس، افریقا، عربستان، و سیبری در یک راستای مداری در محدوده عرض‌های ۱۵ تا ۴۵ درجه شمالی ادغام شده و به صورت یک کمربند گسترده همه منطقه را فرامی‌گیرد.

کریمی و همکاران (۱۳۹۵: ۵۶۹) نقش الگوهای واپرخند عربستان در ترازهای زیرین را در انتقال رطوبت به ایران بررسی کردند و اظهار داشتند که موقعیت، شکل، و پهنا گردشی این پُراتفعا تأثیر فراوانی در تزریق رطوبت و ایجاد بارش در ایران دارد. خوش‌اخلاق و همکاران (۱۳۹۱: ۵۷) نیز پژوهشی در زمینه الگوهای همدید خشک‌سالی و ترسالی زمستانه در جنوب غرب ایران انجام داده‌اند؛ نتایج آن‌ها حاکی از این مطلب است که نوسان سالانه کمربند پرفشار جنب حاره به‌ویژه واپرخند جنوب عربستان نقش مهمی در نوسان بارش زمستانه این منطقه ایفا می‌کند؛ به‌طوری‌که در دوره‌های خشک (مرطوب) معمولاً همراه با جابه‌جایی غرب (شرق) سو، قرارگیری بر روی شبه‌جزیره عربستان (دریای عرب)، و افزایش (کاهش) ارتفاع ژئوپتانسیلی این مرکز پُراتفعا است. همان‌طور که بیان شد، محققان نقش واپرخند عربستان در اقلیم ایران را بارها مطالعه کرده‌اند. اما نکته قابل توجه در این باره آن است که تمرکز غالب مطالعات در محدوده جنوب و جنوب غرب بوده و کمتر به تأثیرگذاری آن در بارش کل ایران پرداخته شده است. از سویی دیگر، در همه مطالعات صرف رخداد بارش بدون توجه به مقادیر آن در منطقه پژوهش مد نظر بوده و هم‌زمان در آن به نقش موقعیت استقرار واپرخند پرداخته شده است؛ گو اینکه در مواردی به ترسالی‌ها و خشک‌سالی‌ها نیز پرداخته شده است. نگارندگان در این پژوهش بر آن‌اند که رفتار مکانی واپرخند عربستان را در قالب فراوانی توزیع مکانی مراکز واپرخند با بارش‌های سبک، متوسط، و سنگین در پهنا سرزمینی ایران در دوره سرد مطالعه کنند.

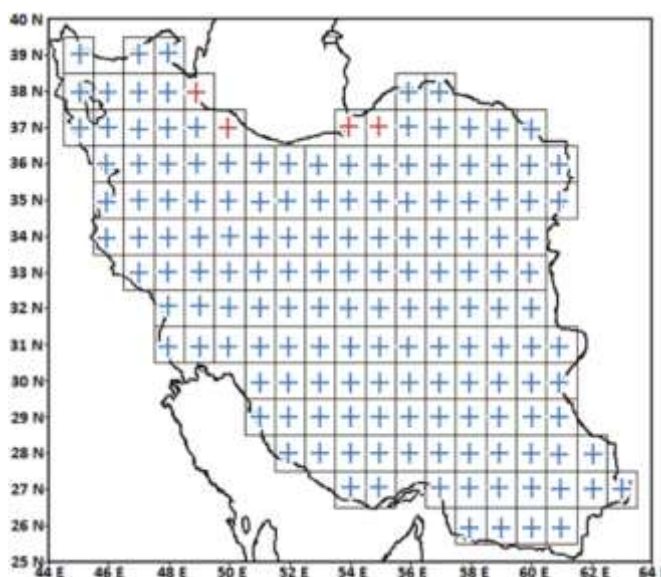
مواد و روش‌ها

این پژوهش بر مبنای روزهای بارشی در دوره سرد سال انجام شده است. بر اساس مطالعات انجام‌گرفته پیشین، زمان فعالیت مؤثر واپرخند عربستان بر بارش ایران دوره سرد سال (اکتبر تا مارس) است (کریمی و همکاران، ۱۳۹۵: ۵۸۴؛ جعفری و لشکری، ۱۴۰۰: ۶۰). بدین منظور، در گام نخست، برای دستیابی به هدف تحقیق، روزهای بارشی با استفاده از داده‌های بارش بازکاوی‌شده پایگاه ERA interim^۱ مرکز پیش‌بینی‌های میان‌مدت اروپا (ECMWF)^۲ با قدرت تفکیک مکانی ۱×۱ درجه برای دوره آماری ۱۹۸۱-۲۰۱۰، به شرط ۵ درصد پهنا بارشی در سه دسته بارشی—سبک (۱ تا ۱۰ میلی‌متر)، متوسط (۱۰ تا ۳۰ میلی‌متر)، و سنگین (بیش از ۳۰ میلی‌متر)—استخراج شد. این داده‌ها به علت تفکیک مکانی بهتر نسبت به داده‌های بارش شبکه‌بندی NCEP/NCAR و عدم نیاز به بررسی نابهنجاری توزیع مکانی با استفاده از داده‌هایی با دقت‌های مکانی بالاتر (مانند داده‌های ERA5) انتخاب شدند. همان‌طور که در شکل ۱ مشخص شده است، بارش‌های مربوط به ناحیه خزری به علت ناهم‌خوانی زمانی و سازوکارهای رخداد بارش این ناحیه نسبت به دیگر مناطق ایران از بررسی‌ها حذف شد (خوش‌اخلاق، ۱۳۷۶: ۱۳۷۷؛ ۱: مفیدی و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۷۷؛ ستوده و

1. ECMWF Interim Reanalysis

2. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

علیجانی، ۱۳۹۴: ۶۳). مشخصات روزهای بارشی استخراج‌شده در جدول ۱ ارائه شده است.



شکل ۱. پوشش ۱۵۳ گره داده‌های بارش شبکه‌بندی‌شده در سطح کشور با حذف گره‌های ناحیه خزری

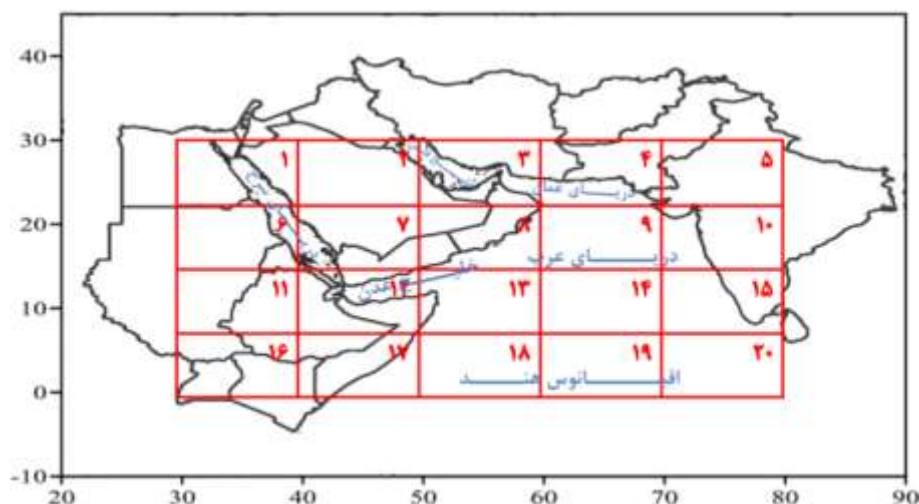
جدول ۱. تعداد روزهای بارشی سه‌گانه در دوره سرد سال

روزهای بارشی ۱-۱۰ میلی‌متر	روزهای بارشی ۱۰-۳۰ میلی‌متر	روزهای بارشی بیش از ۳۰ میلی‌متر
۲۰۲۳	۱۶۷	۵۵

برای بررسی سوال تحقیق یعنی رابطه بین موقعیت قرارگیری و جابه‌جایی مکانی و اچرخند موردنظر در تراز ۸۵۰ هپ و پهپه‌های بارش ایران (بارش‌های سه‌گانه) از داده‌های روزانه ارتفاع ژئوپتانسیل پایگاه داده مرکز ملی پیش‌بینی‌های محیطی و مرکز ملی پژوهش‌های جوی ایالات متحده آمریکا (NCEP/NCAR) با تفکیک مکانی 2.5×2.5 درجه قوسی استفاده شد. استفاده از این داده‌ها به این علت بود که احتمال استخراج نقاط مرکزی متعدد در داده‌هایی با قدرت تفکیک بالاتر با توجه به تغییرات ارتفاع ژئوپتانسیل در آن محدوده وجود داشت. بر طبق نتایج حاصله، و اچرخند عربستان در این دوره از سال بر روی محدوده‌ای بین ۵ تا ۳۰ درجه شمالی و ۳۰ تا ۸۰ درجه شرقی استقرار می‌یابد (کریمی و همکاران، ۱۳۹۵: ۵۷۳؛ ۱۳۹۸: ۲۳۶؛ لشکری و محمدی، ۱۳۹۴: ۷۷؛ لشکری و جعفری، ۲۰۲۱: ۱۵۵۰). با توجه به موقعیت متوسط و اچرخند عربستان، برای تقسیم‌بندی مناسب محدوده جهت شناسایی و تحلیل رفتار زمانی و مکانی این و اچرخند، محدوده از ۳۰ تا ۸۰ درجه شرقی و ۰ تا ۳۰ درجه شمالی در نظر گرفته شد (شکل ۲). با توجه به اینکه تفکیک مکانی داده‌ها 2.5×2.5 درجه قوسی است، در فاصله صفر تا ۳۰ درجه شمالی ۱۳ گره عرضی و در فاصله ۳۰ تا ۸۰ درجه شرقی ۲۱ گره طولی و در مجموع ۲۷۳ گره ایجاد شد. سپس، برای نمایش بهینه و مناسب موقعیت کلی استقرار و اچرخند، در این محدوده ۲۰ زیرمحدوده تعریف شد. ابعاد زیرمحدوده‌ها به گونه‌ای است که در گستره آن بخش شمالی، مرکزی، و غربی دریای عرب، خلیج عدن، شبه‌جزیره عربستان، شبه‌قاره هند و سایر مناطق به‌طور متناسب پوشش داده شود.

در ادامه موقعیت جغرافیایی مرکز و اچرخند عربستان به تفکیک طول و عرض جغرافیایی با تعریف معیار حداکثری ارتفاع ژئوپتانسیل در همه روزهای بارشی سه‌گانه در ۲۷۳ گره استخراج و ثبت شد. به عبارتی، مرکز و اچرخند گرهی در

شبکه در نظر گرفته شد که بیشترین ارتفاع ژئوپتانسیل را نسبت به سایر گره‌های مجاور خود دارا باشد. سپس، فراوانی و پراکندگی موقعیت جغرافیایی و اچرخند عربستان در تراز موردنظر بر اساس تعداد مراکز بسته‌شده در هر زیرمحدوده ترسیم و نمایش داده شد. زیرمحدوده‌هایی دارای بیشینه فراوانی استقرار مرکز بسته و اچرخند متمایز شدند. در نهایت، نقشه میانگین روزانه ارتفاع ژئوپتانسیل در گستره همدیدی و میانگین روزانه بارش در گستره ایران هم‌زمان با استقرار مرکز و اچرخند در زیرمحدوده‌های دارای بیشینه فراوانی ترسیم و تحلیل شد.



شکل ۲. محدوده مطالعاتی برای شناسایی و نمایش موقعیت استقرار و اچرخند عربستان و زیرمحدوده‌های تعریف‌شده در آن

یافته‌ها و بحث

در این بخش به منظور بررسی تأثیر موقعیت و اچرخند عربستان بر الگوی بارش ایران، هر یک از زیرمحدوده‌های تعریف‌شده که در آن‌ها مرکز و اچرخند در تراز ۸۵۰ هپ هم‌زمان با بارش‌های سبک (۱۰-۱ میلی‌متر)، متوسط (۳۰-۱۰ میلی‌متر)، و سنگین (بیش از ۳۰ میلی‌متر) دارای فراوانی بیشتری بوده، بررسی شده است. به همین ترتیب، نقشه میانگین روزانه ارتفاع ژئوپتانسیل، مؤلفه مداری و نصف‌النهاری باد و بارش آن‌ها ترسیم و تأثیر جابه‌جایی مکانی و اچرخند عربستان بر موقعیت مکانی بارش ایران واکاوی شده است.

۱. روزهای بارش سبک (۱ تا ۱۰ میلی‌متر)

در این بخش محدوده‌های دارای بیشینه فراوانی استقرار مراکز و اچرخند عربستان هم‌زمان با بارش‌های سبک در ایران ارائه شده است. جدول ۲ فراوانی و نیز درصد فراوانی نسبی مراکز در محدوده‌های منتخب را نشان می‌دهد.

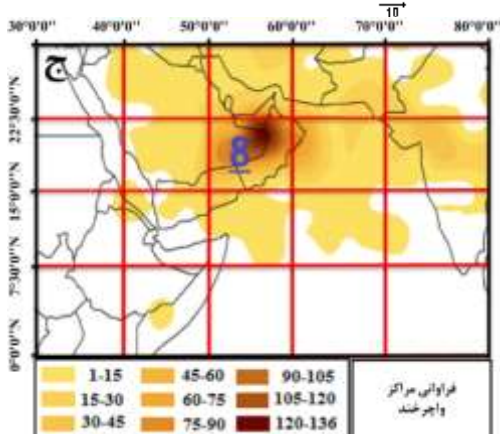
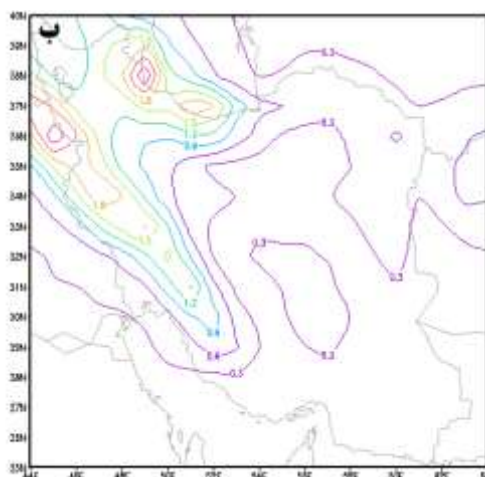
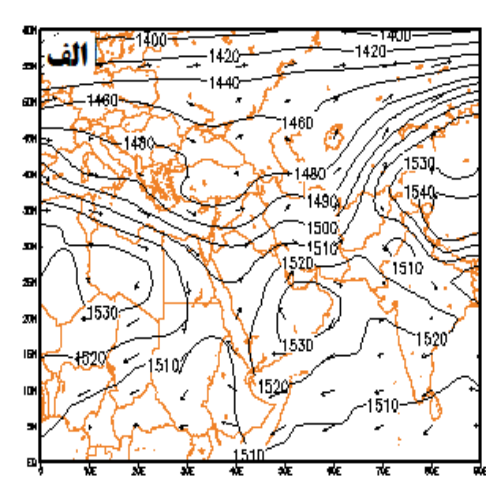
جدول ۲. مقادیر فراوانی محدوده‌های منتخب دسته بارشی سبک (۱ تا ۱۰ میلی‌متر)

محدوده	فراوانی (تعداد)	فراوانی نسبی (درصد)*
۸	۶۷۵	۳۳٫۳۷
۹	۲۱۳	۱۰٫۵۳
۱۰	۱۹۷	۹٫۷۴
۳	۱۷۲	۸٫۵
۴	۹۹	۴٫۹

*درصد فراوانی نسبی با توجه به تعداد کل مرکز در ۲۰ محدوده شکل ۲ محاسبه شده است.

الف) محدوده شماره ۸ با فراوانی ۶۷۵ مرکز (روز)

محدوده شماره ۸ در قسمت جنوب شرق شبه‌جزیره عربستان دارای فراوانی ۶۷۵ مرکز است (شکل ۳-ج). نقشه میانگین روزانه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۸۵۰ هپ برای این روزها نشان می‌دهد که و اچرخند عربستان با ارتفاع مرکزی ۱۵۳۰ ژئوپتانسیل متر (ژ.پ.م) بر روی کشور عمان مستقر شده که پشته حاصل از آن با محور شمالی-جنوبی بر روی نیمه غربی ایران گسترش یافته است. شارش‌های جنوب غربی حاوی رطوبت فرارفتی از و اچرخند در غالب بخش شرقی ناوه مستقر در غرب ایران و عراق بر روی مناطق غربی کشور گسترش یافته است. در مناطق شرقی و مرکزی، با توجه به چیرگی شارش‌های مداری، با فرونشینی دینامیکی هوا و پایداری جو همراه است (شکل ۳-الف). جریان‌های جلوی ناوه سبب تزریق تاوایی مثبت و فرارفت گرم بر روی نیمه غربی ایران شده است که با توجه به نقشه بارش (شکل ۳-ب) دیده می‌شود که پهنه دریافت بارش در نیمه غرب، شمال شرق، شرق، و بخشی در مرکز است. عمده بارش‌ها مربوط به غرب و شمال غرب است.

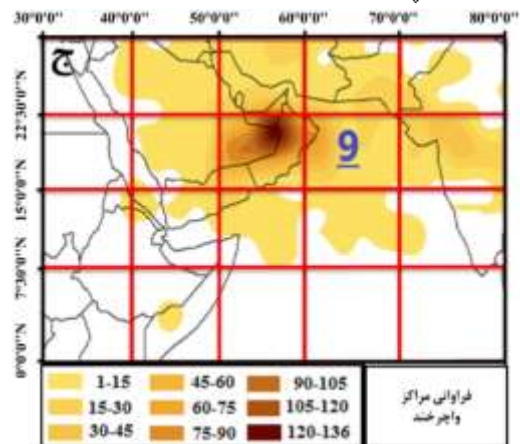
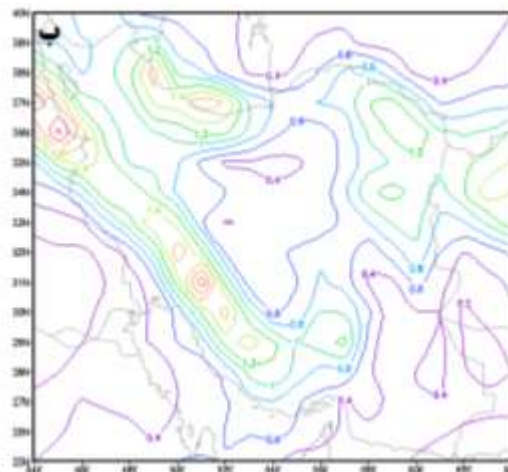
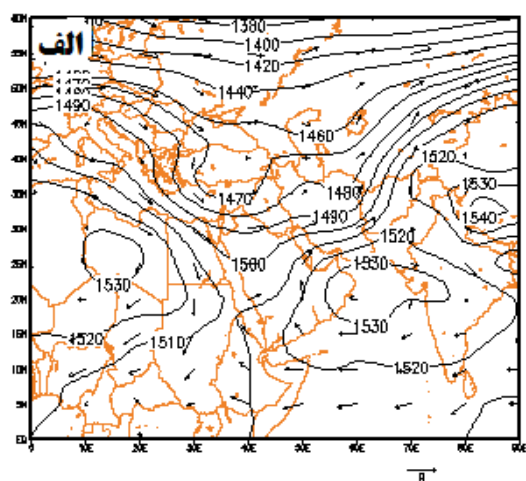


شکل ۳. نقشه میانگین روزانه ارتفاع ژئوپتانسیل و باد در تراز ۸۵۰ هپ (الف)، توزیع مکانی میانگین روزانه بارش سبک (۱ تا ۱۰ میلی‌متر) هم‌زمان با استقرار مراکز و اچرخند عربستان در محدوده شماره ۸ (ب)، و پهنه‌بندی پراکنش مراکز و اچرخند عربستان در محدوده پژوهش (ج)

ب) محدوده شماره ۹ با فراوانی ۲۱۳ مرکز (روز)

محدوده شماره ۹ در قسمت شمالی دریای عرب دارای فراوانی ۲۱۳ مرکز است (شکل ۴-ج). مطابق شکل (۴-الف) و اچرخند عربستان با ارتفاع مرکزی ۱۵۳۰ ژ.پ.م با جابه‌جایی شرق‌سو بر روی قسمت شمالی دریای عرب مستقر شده است. محدوده گسترش آن منطقه وسیعی از شرق شبه‌جزیره عربستان تا شبه‌قاره هند است. این سازوکار استقرار و اچرخند عربستان از دو منظر شرایط بسیار مناسب گردشی در مقیاس همدید را برای سامانه‌های بارشی ورودی به ایران

فراهم می‌آورد. از سویی، با انتقال به مناطق شرقی شرایط ورودی سامانه‌های بارشی به ایران را بهبود می‌بخشد و از سویی دیگر با استقرار بر روی آب‌های گرم جنوبی انتقال بیشتر رطوبت به سامانه‌ها را از طریق الگوی جریان حاکم در گردش جو مهیا می‌کند. بر اساس این الگو، دو ناوه متوالی یکی بر روی سوریه تا عربستان و دیگری در شمال شرق ایران وجود دارد. نیمه غربی از ناوه سوریه و بخش شمال شرقی از ناوه موجود در همان منطقه متأثر شده و دارای بارش بیشتری بودند. بر اساس نقشه میانگین روزانه بارش، کل ایران بارش دریافت کرده است، اما تمرکز مکانی بارش در نیمه غربی تا جنوب و شمال شرق ایران بوده است (شکل ۴-ب).

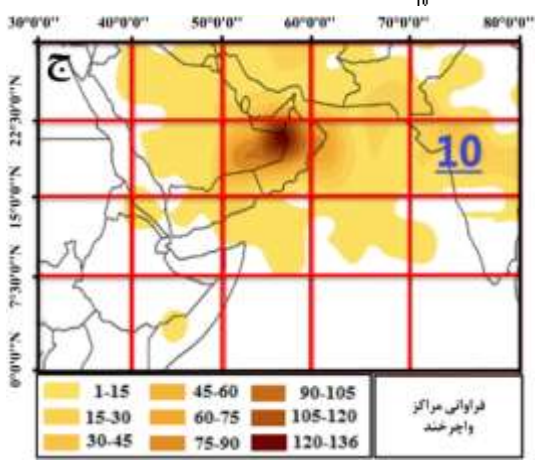
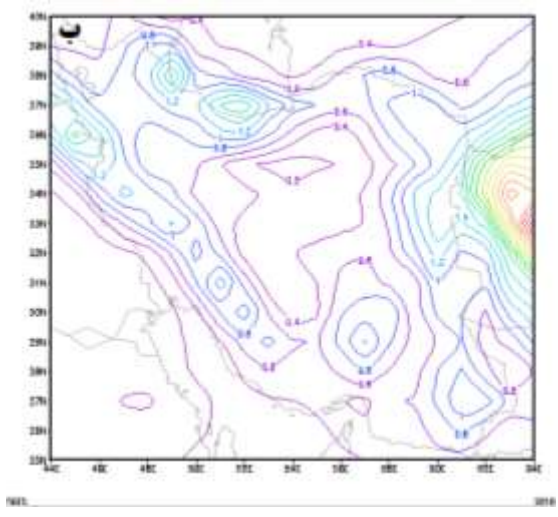
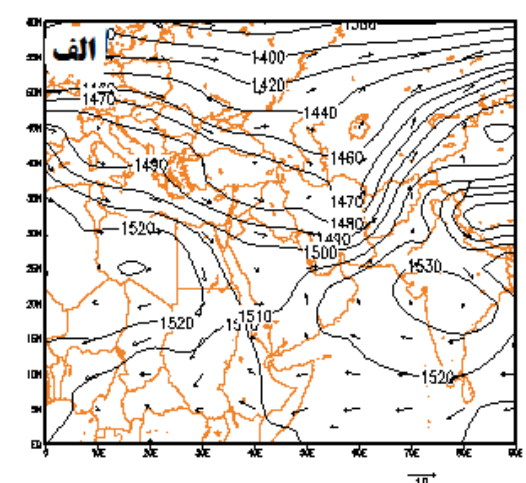


شکل ۴. نقشه میانگین روزانه ارتفاع ژئوپتانسیل و باد در تراز ۸۵۰ هپ (الف)، توزیع مکانی میانگین روزانه بارش (۱ تا ۱۰ میلی‌متر) هم‌زمان با استقرار مراکز و اچرخند عربستان در محدوده شماره ۹ (ب)، و پهنه‌بندی پراکنش مراکز و اچرخند عربستان در محدوده پژوهش (ج)

ج) محدوده شماره ۱۰ با فراوانی ۱۹۷ مرکز (روز)

محدوده شماره ۱۰ در بخش شبه‌قاره هند و سواحل شرقی دریای عرب دارای فراوانی ۱۹۷ مرکز است (شکل ۵-ج). با توجه به شکل (۵-الف) زبانه و اچرخندی تبت بر روی پاکستان و هندوستان و سپس بر روی دریای عرب گسترش یافته است. سلول و اچرخندی با ارتفاع مرکزی ۱۵۳۰ ژ.پ.م بر روی شبه‌قاره هند و سواحل شرقی دریای عرب با جهت شرقی- غربی گسترش یافته است. سامانه ناوه کم‌ارتفاع نسبت به الگوهای قبلی به سمت شرق حرکت کرده و جنوب، جنوب شرق، و شرق ایران در بخش شرقی ناوه یادشده و در بستر شارش‌های ناپایدار قرار گرفته است. همگرایی دو جریان هوای سرد عرض‌های بالا با رطوبت دریای مدیترانه و هوای گرم و مرطوب عرض‌های پایین توسط زبانه‌های و اچرخندی بر تقویت سامانه بارشی می‌افزاید و فرایند ناپایداری هوا را تشدید می‌کند. با توجه به نقشه

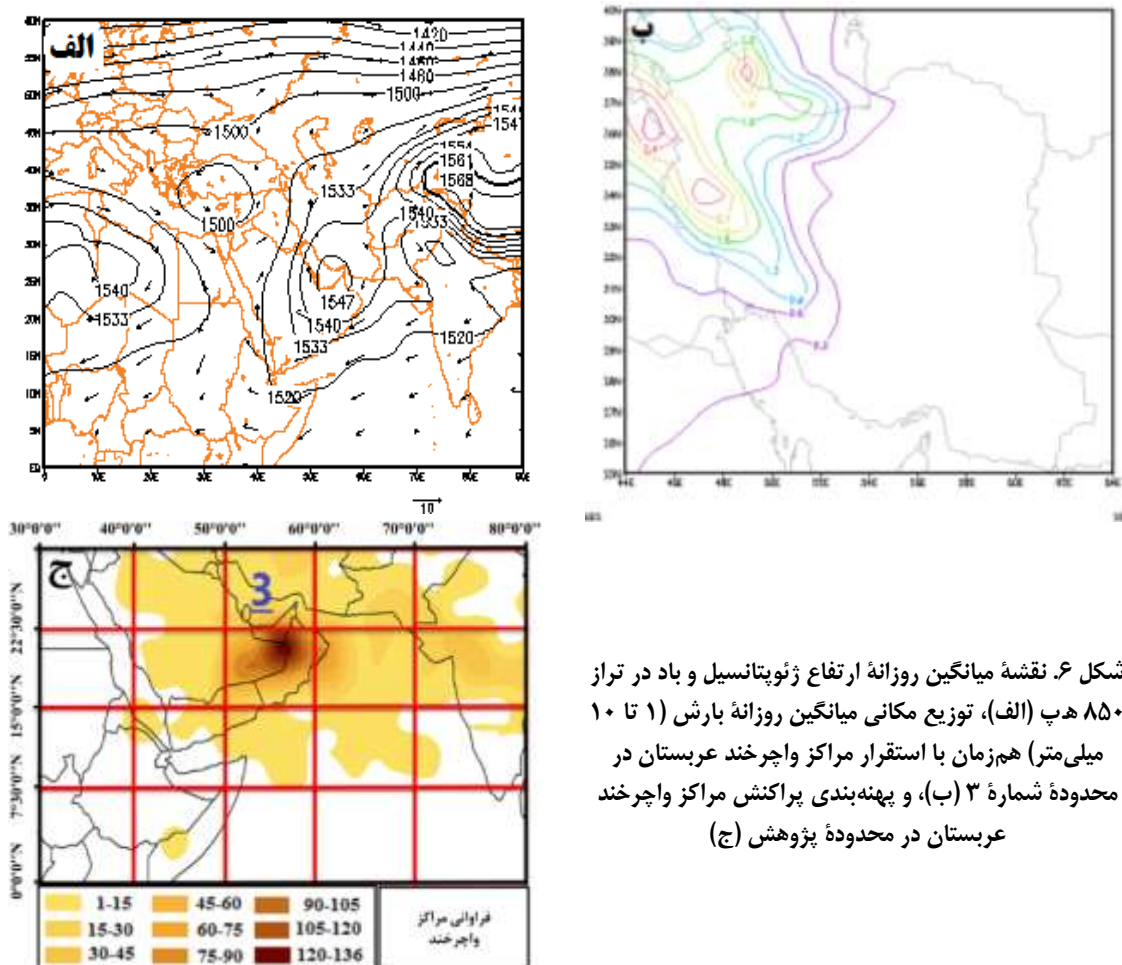
میانگین روزانه بارش، هرچند مقادیر بارش اندک است، پهنه دریافت بارش تقریباً در سراسر ایران مشاهده می‌شود (شکل ۵-ب).



شکل ۵. نقشه میانگین روزانه ارتفاع ژئوپتانسیل و باد در تراز ۸۵۰ هپ (الف)، توزیع مکانی میانگین روزانه بارش (ب) و محدوده شماره ۱۰ (ب)، و پهنه‌بندی پراکنش مراکز و اچرخند عربستان در محدوده پژوهش (ج)

د) محدوده شماره ۳ با فراوانی ۱۷۲ مرکز (روز)

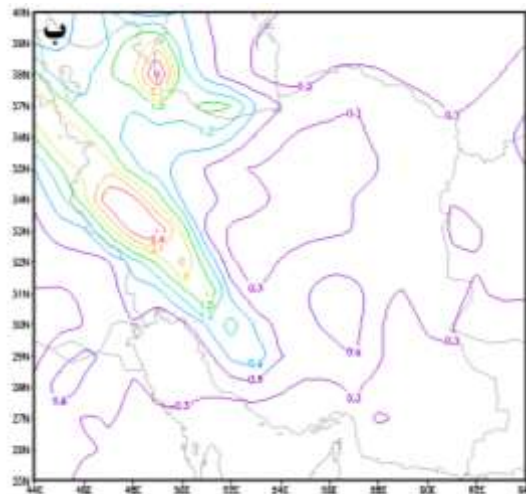
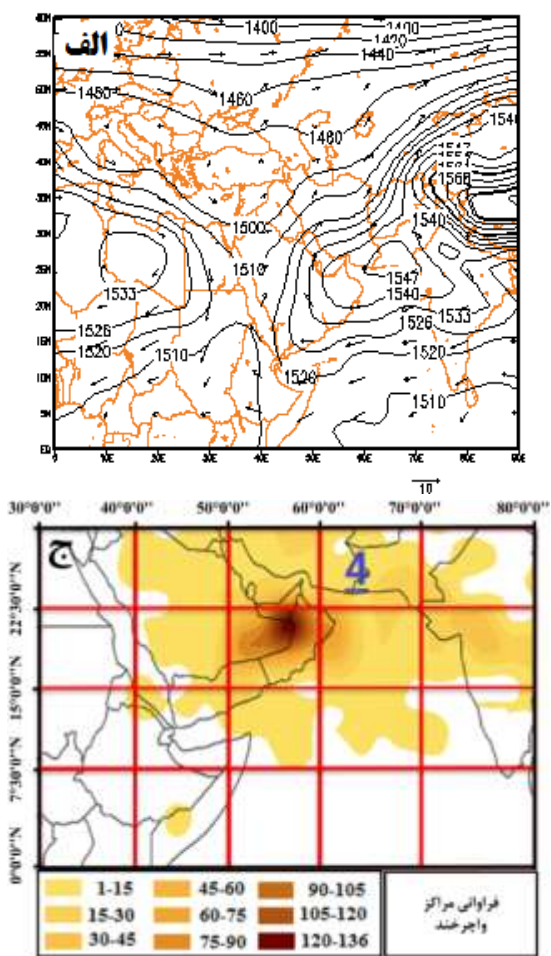
محدوده شماره ۳ در جنوب ایران و خلیج فارس با فراوانی ۱۷۲ مرکز است (شکل ۶-ج). مطابق نقشه میانگین روزانه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۸۵۰ هپ (شکل ۶-الف)، و اچرخند عربستان با ارتفاع مرکزی ۱۵۴۷ ژ.پ.م بر روی تنگه هرمز و شرق خلیج فارس دیده می‌شود و همچنین هسته مرکزی کم‌ارتفاع به شکل سردچال بر روی ترکیه و شرق مدیترانه ایجاد شده است. زبانه و اچرخندی سیبری و تبت بر روی ایران، عربستان، هند، و دریای عرب گسترش یافته و با یاخته و اچرخندی عربستان ادغام شده است. شارش‌های مرطوب یال شرقی و اچرخند پیش‌گفته به صورت فرارفت‌های گرم و مرطوب جنوب غربی در سراسر نیمه غربی ایران گسترش یافته است. بنابراین، مناطق شمال غرب، غرب، و جنوب غرب ایران در بستر شارش‌های ناپایدار قرار گرفته و بارش دریافت کرده‌اند. تمرکز مکانی بارش در غرب و شمال غرب کشور است (شکل ۶-ب).



شکل ۶. نقشه میانگین روزانه ارتفاع ژئوپتانسیل و باد در تراز ۸۵۰ هپ (الف)، توزیع مکانی میانگین روزانه بارش (۱ تا ۱۰ میلی‌متر) هم‌زمان با استقرار مراکز واجر خند عربستان در محدوده شماره ۳ (ب)، و پهنه‌بندی پراکنش مراکز واجر خند عربستان در محدوده پژوهش (ج)

ه) محدوده شماره ۴ با فراوانی ۹۹ مرکز (روز)

محدوده شماره ۴، در پاکستان و جنوب شرق ایران دارای فراوانی ۹۹ مرکز است (شکل ۷-ج). سلول مرکزی ۱۵۴۷ ژ.پ.م بر روی جنوب پاکستان قرار دارد که گستره آن به صورت ادغام‌شده با زبانه‌های واجر خند تبت و سیبری، جنوب و جنوب شرق ایران، جنوب شبه‌جزیره عربستان، دریای عرب، و شبه‌قاره هند را دربر گرفته است. حد فاصل این مرکز واجر خندی و مرکز مستقر بر روی شمال افریقا ناوهای با راستای شمالی- جنوبی بر روی شرق مدیترانه تا شمال عربستان شکل گرفته است (شکل ۷-الف). تحت تأثیر ناوه یادشده و جریان‌های روی ایران، پهنه دریافت بارش به‌طور نسبی در سراسر ایران پراکنش یافته، ولی تمرکز مکانی بارش در مناطق غرب بوده است (شکل ۷-ب).



شکل ۷. نقشه میانگین روزانه ارتفاع ژئوپتانسیل و باد در تراز ۸۵۰ هپ (الف)، توزیع مکانی میانگین روزانه بارش (۱ تا ۱۰ میلی‌متر) هم‌زمان با استقرار مراکز و اچرخند عربستان در محدوده شماره ۴ (ب)، و پهنه‌بندی پراکنش مراکز و اچرخند عربستان در محدوده پژوهش (ج)

۲. روزهای بارشی ۱۰ تا ۳۰ میلی‌متر

محدوده‌های دارای بیشینه فراوانی استقرار مراکز و اچرخند عربستان هم‌زمان با بارش‌های متوسط در ایران در این بخش ارائه شده است. جدول ۳ فراوانی و نیز درصد فراوانی نسبی مراکز در محدوده‌های منتخب را نشان می‌دهد.

جدول ۳. مقادیر فراوانی محدوده‌های منتخب دسته بارشی متوسط (۱۰ تا ۳۰ میلی‌متر)

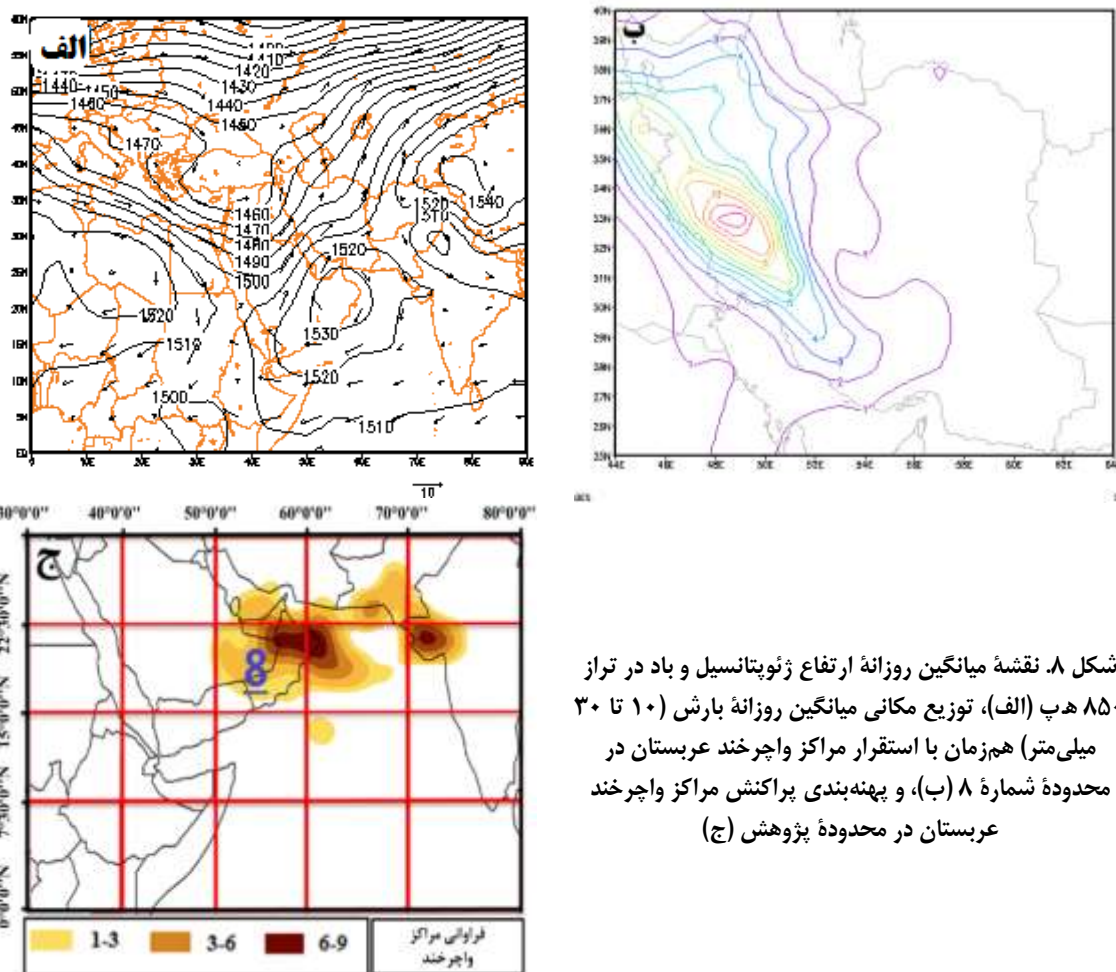
محدوده	فراوانی (تعداد)	فراوانی نسبی (درصد)
۸	۳۵	۲۰٫۹۶
۹	۲۵	۱۴٫۹۷
۱۰	۱۷	۱۰٫۱۸

*درصد فراوانی نسبی با توجه به تعداد کل مرکز در ۲۰ محدوده شکل ۲ محاسبه شده است.

الف) محدوده شماره ۸ با فراوانی ۳۵ مرکز (روز)

محدوده شماره ۸ در جنوب شرقی شبه‌جزیره عربستان دارای فراوانی ۳۵ مرکز است (شکل ۸-ج). نقشه میانگین روزانه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۸۵۰ هپ نشان می‌دهد که و اچرخند عربستان با ارتفاع مرکزی ۱۵۳۰ ژ.پ.م بر روی کشور عمان

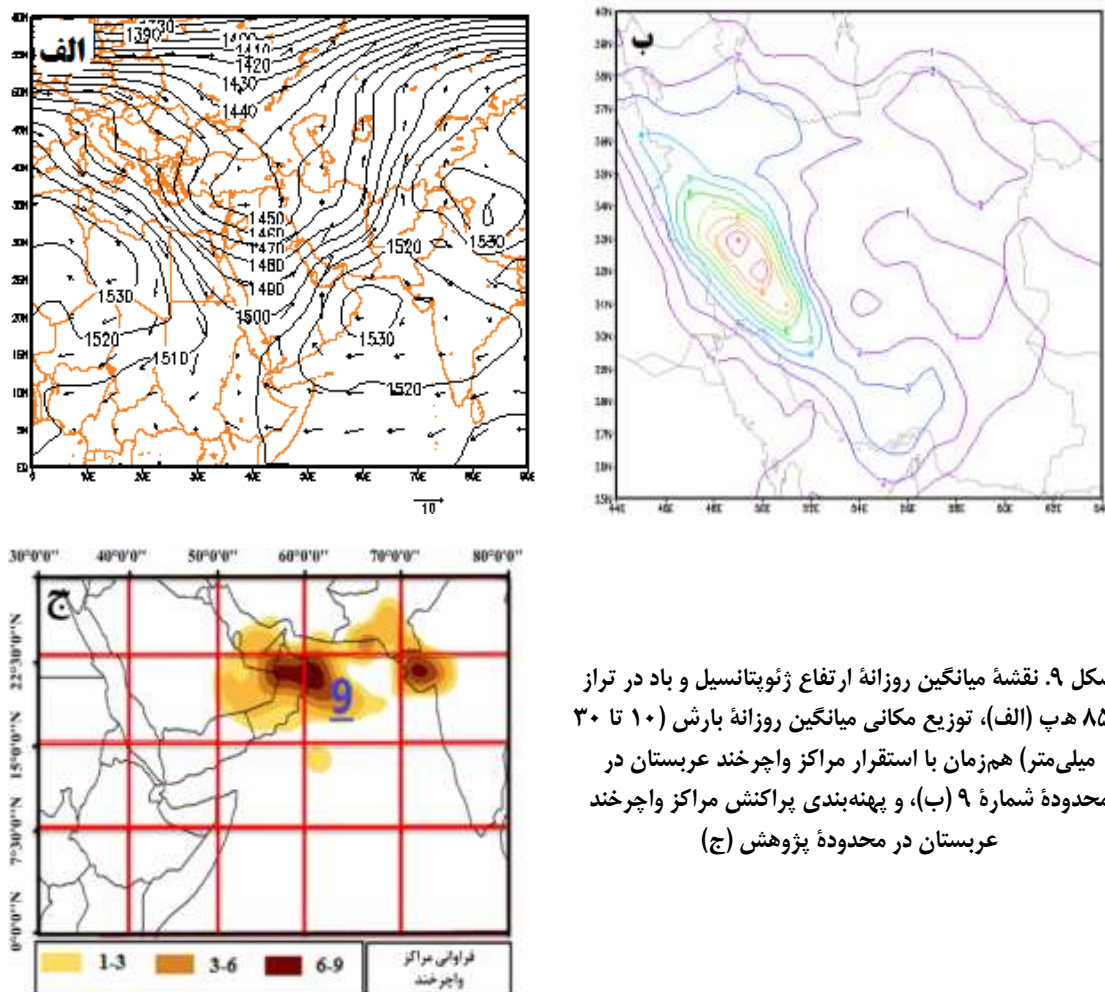
مستقر شده است. حد فاصل این مرکز و مرکز مستقر بر روی شمال آفریقا ناوهای عمیق بر روی عراق و سوریه تا مرکز عربستان شکل گرفته است. افزایش عمق ناوه تا مرکز عربستان سبب تشدید ناپایداری و صعود در جو شده است. واچرخند عربستان در غالب جریان‌های جنوب غربی نقش عمده‌ای در شارش هوای گرم و مرطوب عرض‌های پایین به داخل ناوه، تقویت آن، و افزایش بارش‌های ایران برعهده دارد. دریاهای عرب، سرخ، و خلیج فارس کانون‌های عمده انتقال رطوبت به وسیله این سامانه‌اند. توزیع مکانی بارش در نیمه غربی تا جنوب ایران با تمرکز در غرب و جنوب غرب و ارتفاعات زاگرس به‌وضوح مشاهده می‌شود (شکل ۸-الف). رشته‌کوه‌های زاگرس با صعود کوهساری (اروگرافیک) شارش‌های جنوب غربی به رخدادهای از بارش سامانه‌ها در این مناطق کمک کرده‌اند (شکل ۸-ب).



شکل ۸. نقشه میانگین روزانه ارتفاع ژئوپتانسیل و باد در تراز ۸۵۰ هپ (الف)، توزیع مکانی میانگین روزانه بارش (۱۰ تا ۳۰ میلی‌متر) هم‌زمان با استقرار مراکز واچرخند عربستان در محدوده شماره ۸ (ب)، و پهنه‌بندی پراکنش مراکز واچرخند عربستان در محدوده پژوهش (ج)

ب) محدوده شماره ۹ با فراوانی ۲۵ مرکز (روز)

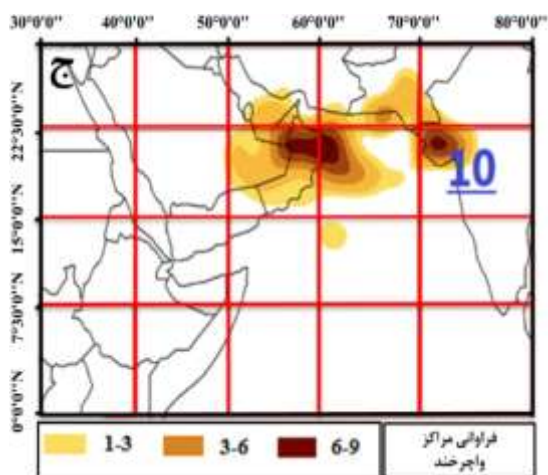
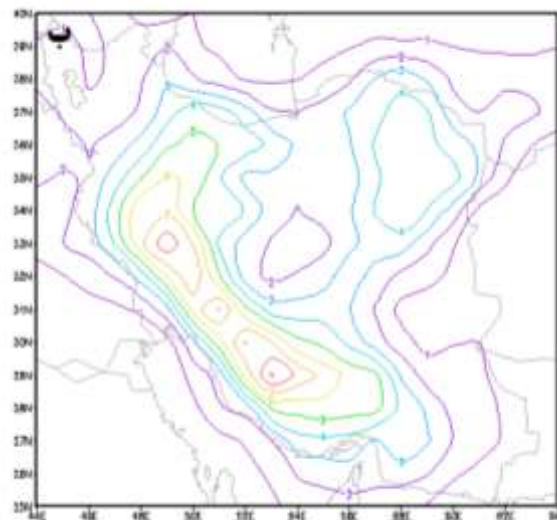
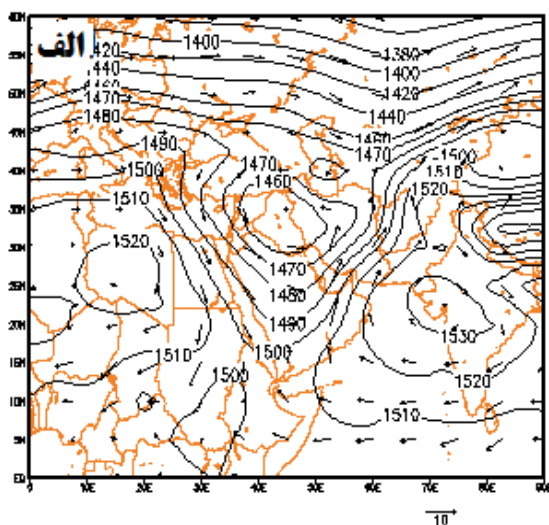
محدوده شماره ۹ در بخش شمالی دریای عرب دارای فراوانی ۲۵ مرکز است (شکل ۹-ج). واچرخند عربستان با ارتفاع مرکزی ۱۵۳۰ ژ.پ.م با جابه‌جایی شرق سو بر روی دریای عربی قرار گرفته است. عمق ناوه کم‌ارتفاع با راستای شمالی-جنوبی از عراق تا حوالی بخش‌های جنوبی عربستان کشیده شده است. گسترش شارش‌های ناپایدار بخش شرقی ناوه بر روی ایران دیده می‌شود (شکل ۹-الف). با توجه به اینکه الگوی گردشی تراز ۸۵۰ هپ بارش در بیشتر مناطق ایران وجود دارد، تمرکز مکانی آن در جنوب غرب است (شکل ۹-ب).



شکل ۹. نقشه میانگین روزانه ارتفاع ژئوپتانسیل و باد در تراز ۸۵۰ هپ (الف)، توزیع مکانی میانگین روزانه بارش (۱۰ تا ۳۰ میلی‌متر) هم‌زمان با استقرار مراکز و اچرخند عربستان در محدوده شماره ۹ (ب)، و پهنه‌بندی پراکنش مراکز و اچرخند عربستان در محدوده پژوهش (ج)

ج) محدوده شماره ۱۰ با فراوانی ۱۷ مرکز (روز)

محدوده شماره ۱۰ در شبه‌قاره هند و سواحل شرقی دریای عرب با فراوانی ۱۷ مرکز است (شکل ۱۰-ج). مطابق شکل (۱۰-الف) زبانه و اچرخندی تبت بر روی پاکستان و شبه‌قاره هند و سپس بر روی دریای عربی و عمان گسترش پیدا کرده است. دو مرکز و اچرخندی یکی با ارتفاع مرکزی ۱۵۳۰ ژ.پ.م بر روی شبه‌قاره هند و سواحل شرقی دریای عربی و دیگری با ۱۴۶۰ ژ.پ.م بر روی عراق شکل گرفته که زبانه‌های آن تا جنوب عربستان گسترش یافته است. شیو (گرادیان) فشار بر روی جنوب غرب، جنوب، و جنوب شرق ایران افزایش یافته است. پهنه دریافت بارش در کل ایران و تمرکز مکانی آن در غرب، جنوب غرب، و جنوب (نقشه میانگین هم‌بارش ۱۷ روز است) در روز است (شکل ۱۰-ب).



شکل ۱۰. نقشه میانگین روزانه ارتفاع ژئوپتانسیل و باد در تراز ۸۵۰ هپ (الف)، توزیع مکانی میانگین روزانه بارش (۱۰ تا ۳۰ میلی‌متر) هم‌زمان با استقرار مراکز و اچرخند عربستان در محدوده شماره ۱۰ (ب)، و پهنه‌بندی پراکنش مراکز و اچرخند عربستان در محدوده پژوهش (ج)

۳. روزهای بارشی بیش از ۳۰ میلی‌متر

جدول ۴ فراوانی و فراوانی نسبی محدوده‌های منتخب در دسته بارشی سنگین را نشان می‌دهد. این محدوده‌ها دارای بیشینه فراوانی استقرار مراکز و اچرخند عربستان هم‌زمان با بارش‌های سنگین در ایران‌اند.

جدول ۴. مقادیر فراوانی محدوده‌های منتخب دسته بارشی سنگین (بیش از ۳۰ میلی‌متر)

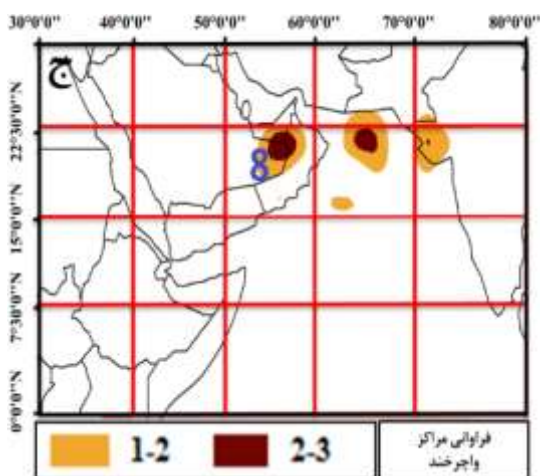
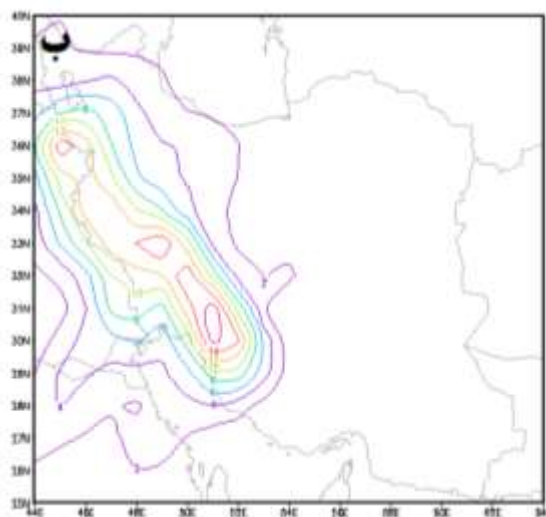
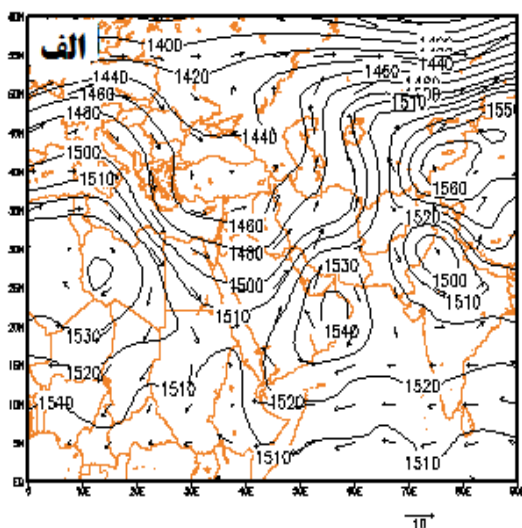
محدوده	فراوانی (تعداد)	فراوانی نسبی (درصد)
۸	۸	۱۴٫۵۵
۹	۷	۱۲٫۷۳

* درصد فراوانی نسبی با توجه به تعداد کل مرکز در ۲۰ محدوده شکل ۲ محاسبه شده است.

الف) محدوده شماره ۸ با فراوانی ۸ مرکز (روز)

محدوده شماره ۸ در بخش جنوب شرق شبه‌جزیره عربستان و کشور عمان دارای فراوانی ۸ مرکز است (شکل ۱۱-ج). و اچرخند عربستان با ارتفاع مرکزی ۱۵۴۰ ژ.پ.م با گسترش شمالی- جنوبی بر روی کشور عمان مستقر شده است.

ناوهای عمیق بر روی عراق و سوریه تا مرکز عربستان شکل گرفته است که سبب فرارفت هوای گرم و مرطوب بر روی ایران می‌شود. و اچرخند عربستان نقش عمده در انتقال رطوبت و افزایش ناپایداری شارش‌های جوی دارد. شیو فشار در جنوب غرب ایران بیش از سایر مناطق است و لذا این نواحی در مسیر شارش‌های ناپایدار قرار گرفته است (شکل ۱۱- الف). پهنه دریافت بارش نیمه غربی ایران است و تمرکز مکانی بارش در جنوب غرب (نقشه هم‌بارش میانگین ۸ روز) به‌وضوح دیده می‌شود (شکل ۱۱- ب).

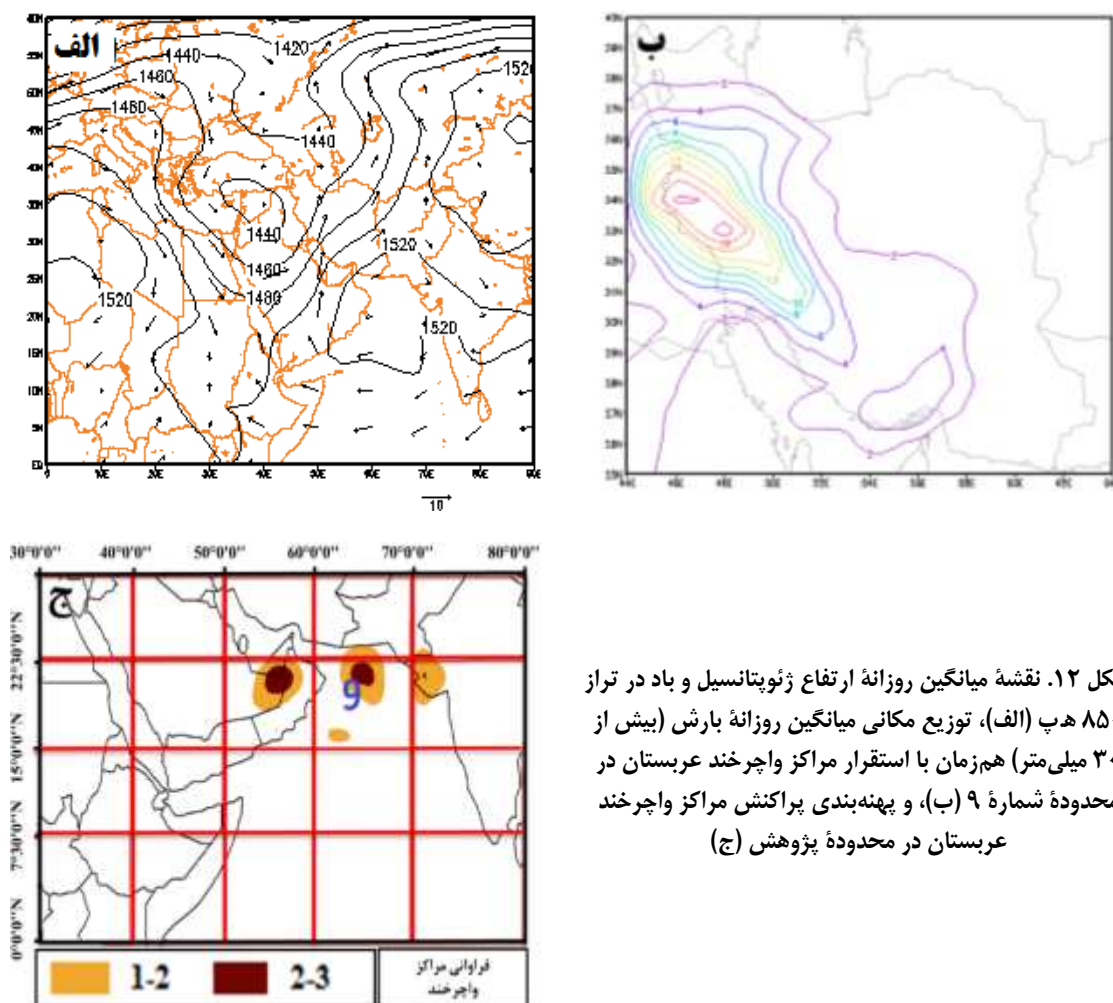


شکل ۱۱. نقشه میانگین روزانه ارتفاع ژئوپتانسیل و باد در تراز ۸۵۰ هپ (الف)، توزیع مکانی میانگین روزانه بارش (بیش از ۳۰ میلی‌متر) هم‌زمان با استقرار مراکز و اچرخند عربستان در محدوده شماره ۸ (ب)، و پهنه‌بندی پراکنش مراکز و اچرخند عربستان در محدوده پژوهش (ج)

ب) محدوده شماره ۹ با فراوانی ۷ مرکز (روز)

محدوده شماره ۹ در بخش دریای عرب دارای فراوانی ۷ مرکز است (شکل ۱۲- ج). با توجه به نقشه میانگین روزانه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۸۵۰ هپ و اچرخند عربستان با ارتفاع مرکزی ۱۵۲۰ ژ.پ.م بر روی دریای عربی مستقر و تا شبه‌قاره هند گسترده شده است. افزایش بسیار زیاد عمق ناوه با راستای شمالی- جنوبی از عراق تا سودان مشاهده می‌شود. مرکز چرخندی با ارتفاع مرکزی ۱۴۴۰ ژ.پ.م بر روی عراق و سوریه مستقر شده است. شیو فشار در نیمه غربی ایران افزایش و در مرکز و نیمه شرقی آن کاهش یافته است (شکل ۱۲- الف). با توجه به الگوی گردشی در تراز ۸۵۰ هپ، مساعدت شارش‌های مرطوب جنوبی، جنوب غربی، و غرب و اچرخند سبب تمرکز مکانی بارش در غرب ایران شده

است. پهنه دریافت بارش به صورت نواری از شمال غرب تا جنوب است (شکل ۱۲-ب).



شکل ۱۲. نقشه میانگین روزانه ارتفاع ژئوپتانسیل و باد در تراز ۸۵۰ هپ (الف)، توزیع مکانی میانگین روزانه بارش (بیش از ۳۰ میلی‌متر) هم‌زمان با استقرار مراکز واچرخند عربستان در محدوده شماره ۹ (ب)، و پهنه‌بندی پراکنش مراکز واچرخند عربستان در محدوده پژوهش (ج)

نتیجه‌گیری

واچرخند عربستان به‌عنوان سلولی از پرفشارهای جنب حاره‌ای شناخته می‌شود که بر روی شبه‌جزیره عربستان شکل می‌گیرد و یکی از مؤلفه‌های گردش جوی مؤثر بر نوسان الگوهای بارش زمستانه ایران است. به همین منظور، هدف از این پژوهش واکاوی نقش توزیع مکانی واچرخند عربستان در میزان و پراکنش بارش در ایران در تراز ۸۵۰ هپ است. نتایج حاصل از پژوهش در ذیل ارائه شده است.

از ۲۰۲۳ روز بارش ۱ تا ۱۰ میلی‌متر، ۱۶۲۲ روز (۸۰/۲ درصد) واچرخند عربستان دارای مرکز بسته مستقل در تراز ۸۵۰ هپ بوده است که از این تعداد بیشترین فراوانی استقرار مراکز واچرخندی به‌ترتیب بر روی جنوب شرق عربستان، دریای عربی، شبه‌قاره هند، و سواحل شرقی دریای عربی در محدوده ۴۰ تا ۸۰ درجه شرقی و ۱۰ تا ۳۰ درجه شمالی مشاهده شده است. بیشترین فراوانی مراکز (زیرمحدوده گسترش) و توزیع مکانی بارش در ایران به‌ترتیب در محدوده‌های ۸ با ۶۷۵ روز در جنوب شرق شبه‌جزیره عربستان با بارش در نیمه غربی، شمال شرق، شرق، و هسته‌ای در مرکز ایران، ۹ با ۲۱۳ روز در بخش شمالی دریای عرب با کل ایران اما تمرکز در نیمه غربی تا جنوب و شمال شرق، ۱۰ با ۱۹۷ روز در شبه‌جزیره هند و

سواحل شرقی دریای عرب با بارش در تقریباً کل ایران، ۳ با ۱۷۲ روز در جنوب ایران و خلیج فارس با بارش در غرب ایران و ۴ با ۹۹ روز در پاکستان و جنوب شرق با بارش تقریباً در کل ایران و تمرکز در غرب مشاهده شده است.

از ۱۶۷ روز بارش ۱۰ تا ۳۰ میلی‌متر، ۶۷/۳ درصد از موارد (۱۰۴ روز) مرکز بسته و اچرخند عربستان و در سایر موارد گسترش زبانه‌ای از اچرخند سیبری و تبت بر روی محدوده پژوهش و تلفیق آن با زبانه و اچرخند عربستان مشاهده شده است. فراوانی مراکز و اچرخندی در این بخش بر روی جنوب شرق شبه‌جزیره عربستان و بخش شمالی دریای عرب و در محدوده ۵۰ تا ۷۵ درجه شرقی و ۱۷ تا ۲۷ درجه شمالی بوده است. بیشترین فراوانی مراکز (زیرمحدوده گسترش) با توزیع مکانی بارش در ایران به ترتیب در محدوده‌های ۸ با ۳۵ روز در جنوب شرق شبه‌جزیره عربستان با بارش نیمه غربی تا جنوب ایران اما تمرکز در غرب، جنوب غرب، و ارتفاعات زاگرس، ۹ با ۲۵ روز در بخش شمالی دریای عرب با بارش در کل ایران اما تمرکز در جنوب غرب، ۱۰ با ۱۷ روز در شبه‌جزیره هند و سواحل شرقی دریای عرب با بارش کل ایران اما تمرکز در غرب، جنوب غرب، جنوب، و مرکز بوده است.

در کل دوره آماری ۵۵ روز همراه با بارش سنگین بوده که از این میان ۲۳ روز (کمتر از ۵۰ درصد) و اچرخند عربستان دارای مرکز بسته و ۳۲ روز همراه با زبانه‌های و اچرخند تبت و سیبری بر روی محدوده مورد مطالعه مشاهده شده است. فراوانی و توزیع مکانی مراکز و اچرخندی پراکنده بوده و از طول جغرافیایی ۵۰ تا ۷۴ درجه شرقی را دربر می‌گیرد که بیشینه تمرکز آن در دو محدوده جنوب شرق شبه‌جزیره عربستان و دریای عربی بوده است. بیشترین فراوانی مراکز (زیرمحدوده گسترش) با توزیع مکانی بارش در ایران به ترتیب در محدوده‌های ۸ با ۸ روز در جنوب شرق شبه‌جزیره عربستان و عمان با بارش نیمه غربی ایران اما تمرکز بر روی جنوب غرب، ۹ با ۷ روز در دریای عرب با بارش شمال غرب تا جنوب ایران اما تمرکز در غرب، ۱۰ با ۱۷ روز در شبه‌جزیره هند و سواحل شرقی دریای عرب با بارش کل ایران اما تمرکز در غرب، جنوب غرب، مرکز، و جنوب مشاهده شده است.

به‌طور کلی، میان موقعیت قرارگیری و استقرار مراکز و اچرخندی در تراز ۸۵۰ هپ و توزیع و مقادیر بارش ایران ارتباط بسیاری برقرار است. به‌طوری که هم‌زمان با رخداد بارش در ایران، فراوانی مراکز و اچرخندی در بخش جنوب شرقی شبه‌جزیره عربستان و دریای عربی متمرکز شده است. اما بیشینه دریافت بارش (بارش سنگین) در ایران منطبق با زمانی است که و اچرخند در محدوده دریای عربی استقرار داشته است. با توجه به نتایج تحقیقات گذشته (لشکری و محمدی، ۱۳۹۴: ۷۳؛ لشکری و همکاران، ۱۳۹۵: ۵۹؛ ۱۳۹۶: ۱۴۱؛ لشکری و محمدی، ۲۰۱۸: ۲۰۶۹؛ کریمی و همکاران، ۱۳۹۵: ۵۶۹؛ کریمی و همکاران، ۱۳۹۸: ۲۳۳؛ جعفری و لشکری، ۱۴۰۰: ۵۵)، مادامی که و اچرخند دارای حرکت و جابه‌جایی شرق‌سو است و بر روی آب‌های دریاهای جنوبی استقرار می‌یابد، با توجه به مکانیسم گردش جوی حاکم، مناسب‌ترین الگو برای انتقال و تزریق رطوبت به سامانه‌های بارشی ورودی به ایران است. از سویی دیگر، هم‌زمان با جابه‌جایی و اچرخند به سمت شرق، بارش ایران نیز به سمت شرق و جنوب تغییر موقعیت می‌دهد. بنابراین، می‌توان گفت موقعیت و اچرخند عربستان در تراز ۸۵۰ هپ، علاوه بر نقش مؤثر در میزان بارش، به وسیله انتقال رطوبت، با موقعیت پهنه بارشی در ایران ارتباط مستقیمی دارد و با جابه‌جایی آن پهنه‌های بارش بر روی ایران نیز تغییر موقعیت می‌دهند.

منابع

اکبری، م. (۱۳۹۱). تعیین شاخص‌های دینامیک و ترمودینامیک بارش‌های سیل‌آسا در جنوب غرب ایران (مطالعه موردی: حوضه آبریز کارون بزرگ)، رساله دکتری در رشته اقلیم‌شناسی، استاد راهنما دکتر حسن محمدی، دانشگاه تهران.

- ایزدی قهفرخی، ا. (۱۳۹۲). تحلیل هم‌دید و دینامیکی بارش‌های شدید جنوب غرب ایران با استفاده از مدل عددی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد در رشته اقلیم‌شناسی، دانشگاه یزد.
- جعفری، م. و لشکری، ح. (۱۴۰۰). الگوهای هم‌دید تعیین‌کننده مسیر حرکت سامانه‌های بارشی با منشأ سودانی، تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، دوره ۸، شماره ۱، صص ۵۵-۷۸.
- جهان‌بخش، س. و کرمی، ف. (۱۳۷۸). تحلیل هم‌دید تأثیر پُرفشار سیبری بر بارش سواحل جنوبی دریای خزر، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، دوره ۱۴، شماره ۳-۴، صص ۱۰۷-۱۳۱.
- حجازی‌زاده، ز. (۱۳۷۲). بررسی هم‌دید پُرفشار جنب حاره در تغییر فصل ایران، رساله دکتری در رشته جغرافیای طبیعی، استاد راهنما دکتر هوشنگ قائمی، دانشگاه تربیت مدرس.
- حلبیان، ا.ح. و شبانکاری، م. (۱۳۹۰). نقش پُرفشار جنب حاره در توزیع مکانی بارش‌های روزانه ایران، پژوهش‌نامه جغرافیایی، شماره ۱، صص ۱-۲۱.
- خوش‌اخلاق، ف. (۱۳۷۶). بررسی الگوهای ماهانه خشک‌سالی و ترسالی در ایران، مجله تحقیقات جغرافیایی، شماره ۴۵، صص ۱۳۶-۱۵۴.
- خوش‌اخلاق، ف. (۱۳۷۷). تحقیق در خشک‌سالی‌های فراگیر ایران با استفاده از تحلیل‌های سینوپتیکی، رساله دکتری در رشته جغرافیای طبیعی، استاد راهنما دکتر مجید زاهدی، دانشگاه تبریز.
- خوش‌اخلاق، ف.؛ عزیزی، ق. و رحیمی، م. (۱۳۹۱). الگوهای هم‌دید خشک‌سالی و ترسالی زمستانه در جنوب غرب ایران، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال دوازدهم، شماره ۲۵، صص ۵۷-۷۷.
- خوشحال، ج.؛ خسروی، م. و نظری‌پور، ح. (۱۳۸۸). شناسایی منشأ و مسیر رطوبت بارش‌های فوق سنگین استان بوشهر، جغرافیا و توسعه، دوره ۷، شماره پیاپی ۱۶، صص ۷-۲۸.
- ستوده، ف. و علیجانی، ب. (۱۳۹۴). رابطه پراکندگی فضایی بارش‌های سنگین و الگوهای فشار در گیلان، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال ۲، شماره ۱، صص ۶۳-۷۳.
- سلیقه، م. و صادقی‌نیا، ع. (۱۳۸۸). بررسی تغییرات مکانی پُرفشار جنب حاره در بارش‌های تابستانه نیمه جنوبی ایران، جغرافیا و توسعه، شماره ۱۷، صص ۸۳-۹۸.
- صادقی‌نیا، ع. (۱۳۸۶). بررسی تغییرات مکانی پُرفشار جنب حاره‌ای آزرورز در بارش‌های تابستانه نیمه جنوبی ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد در رشته اقلیم‌شناسی، دانشگاه تربیت معلم تهران.
- فاخری، ت. (۱۳۹۰). نگرشی بر الگوهای هم‌دید مولد باران‌های سنگین در استان مازندران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد در رشته اقلیم‌شناسی، دانشگاه محقق اردبیلی.
- فرامرزی، ب.؛ عظیمی، ف.؛ برنا، ر. و سعدی، ت. (۱۳۹۲). تحلیل هم‌دید عوامل ایجاد بارش‌های سنگین سوم تا پنجم آذرماه ۱۳۹۱ در استان بوشهر، اولین همایش ملی جغرافیا، شهرسازی، و توسعه پایدار، انجمن محیط زیست کومش.
- کویانی، م.؛ مسعودیان، ا. و شبانکاری، م. (۱۳۸۶). شناسایی رفتار زمانی- مکانی پُرفشار سیبری در تراز دریا، تحقیقات جغرافیایی، دوره ۲۲، شماره ۴، صص ۲۷-۴۸.

- کریمی، م. (۱۳۸۶). *تحلیل منابع رطوبتی بارش‌های ایران*، رساله دکتری اقلیم‌شناسی، استاد راهنما دکتر منوچهر فرج‌زاده، دانشگاه تربیت مدرس.
- کریمی، م. و فرج‌زاده م. (۱۳۹۰). شار رطوبت و الگوهای فضایی- زمانی منابع تأمین رطوبت بارش‌های ایران، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، جلد ۱۹، شماره ۲۲، صص ۱۰۹-۱۲۷.
- کریمی، م.؛ خوش‌اخلاق، ف.؛ بازگیر، س. و جعفری، م. (۱۳۹۵). نقش گردش و ردسپهر زیرین پرفشار عربستان در بارش ایران، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، دوره ۴۸، شماره ۴، صص ۵۶۹-۵۸۷.
- کریمی، م.؛ خوش‌اخلاق، ف.؛ شمسی‌پور، ع.ا. و نوروزی، ف. (۱۳۹۸). الگوهای گردشی پُراتفاح جنب حاره‌ای عربستان در تراز میانی و ارتباط آن با بارش ایران، نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی، دوره ۲۳، شماره ۶۹، صص ۲۳۳-۲۵۵.
- لشکری، ح. (۱۳۸۱). مسیریابی سامانه‌های کم‌فشار سودانی ورودی به ایران، مجله مدرس علوم انسانی، دوره ۶، شماره ۲، صص ۱۳۳-۱۵۶.
- لشکری، ح. (۱۳۸۲). مکانیسم تکوین، تقویت، و توسعه مرکز کم‌فشار سودان و نقش آن بر روی بارش‌های جنوب و جنوب غرب ایران، فصل‌نامه پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۶، صص ۱-۱۸.
- لشکری، ح. و محمدی، ز. (۱۳۹۴). اثر موقعیت استقرار پرفشار جنب‌حاره‌ای عربستان بر سامانه‌های بارشی در جنوب و جنوب غرب ایران، فصل‌نامه پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، دوره ۴۷، شماره ۱، صص ۷۳-۹۰.
- لشکری، ح.؛ متکان، ع.ا.؛ آزادی، م. و محمدی، ز. (۱۳۹۵). تحلیل همدیدی نقش پرفشار جنب‌حاره‌ای عربستان و رودباد جنب‌حاره‌ای در کوتاه‌ترین طول دوره بارشی جنوب و جنوب غرب ایران، فصل‌نامه علوم محیطی، شماره ۴، صص ۵۹-۷۴.
- لشکری، ح.؛ متکان، ع.ا.؛ آزادی، م.؛ محمدی، ز. (۱۳۹۶). تحلیل همدیدی نقش پرفشار جنب‌حاره‌ای عربستان و رودباد جنب‌حاره‌ای در خشک‌سالی‌های شدید جنوب و جنوب غرب ایران. پژوهش‌های دانش زمین، شماره ۳۰، صص ۱۶۳-۱۴۱.
- محمدی، ح.؛ فتاحی، ا.؛ شمسی‌پور، ع.ا. و اکبری، م. (۱۳۹۱). تحلیل دینامیکی سامانه‌های سودانی و رخداد بارش سنگین در جنوب غرب ایران، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال ۱۲، شماره ۲۴، صص ۷-۲۴.
- محمدی، ز. و لشکری، ح. (۱۳۹۷). نقش جابه‌جایی مکانی پرفشار عربستان و رودباد جنب‌حاره‌ای در الگوهای همدیدی و ترمودینامیکی ترسالی‌های شدید جنوب و جنوب غرب ایران، فصل‌نامه پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، دوره ۵۰، شماره ۳، صص ۴۹۱-۵۰۹.
- مرادی، ح.ر. (۱۳۸۳). نقش دریای خزر در شرایط بارشی سواحل شمال کشور، مجله علوم و فنون دریایی ایران، دوره ۲، شماره ۲-۳، صص ۷۷-۸۸.
- مفیدی، ع. و زرین، آ. (۱۳۸۴). تحلیل سینوپتیکی ماهیت سامانه‌های کم‌فشار سودانی (مطالعه موردی: طوفان دسامبر ۲۰۰۱)، فصل‌نامه جغرافیایی سرزمین، سال ۲، شماره ۶، صص ۲۴-۴۸.
- مفیدی، ع.؛ زرین، آ. و جانباز قبادی، غ.ر. (۱۳۸۶). تبیین علل کاهش یافتن مقدار و شدت بارش‌های زمستانه در قیاس با بارش‌های پاییزه در سواحل جنوبی دریای خزر، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۸، شماره ۱، صص ۱۷۷-۲۰۳.

موقری، ع.ر. و خسروی، م. (۱۳۹۳). بررسی رابطه سامانه کم‌فشار سودانی و بارش دهم اردیبهشت‌ماه ۱۳۸۳ در استان کرمانشاه، *مجله مخاطرات محیطی*، سال ۳، شماره ۴، صص ۶۱-۸۰.

هوژی، ن. (۱۳۸۹). *تحلیل آماری و همدیدی بارش‌های پاییزه در شمال شرق کشور (خراسان رضوی و شمالی)*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد در رشته اقلیم‌شناسی، دانشگاه تربیت معلم سبزوار.

Akbari, M. (2012). *Determining the dynamics and thermodynamics of floods in southwestern Iran (Case study: Karun Large catchment)*, PhD thesis in Climatology, Supervisor Dr. Hosien Mohamadi, University of Tehran.

Davis, R.E.; Hayden, B.P.; Gay, D.A.; Phillips, W.L. and Jones, G.V. (1997). The North Atlantic Subtropical Anticyclone, *Journal of Climate*, Vol. 10, PP. 728-744.

Fakhri, T. (2011). *An Attitude Towards Heavy Rainfall Synoptic Patterns in Mazandaran Province*, M.Sc. Thesis in Climatology, Mohaghegh Ardabili University.

Faramarzi, B.; Azimi, F.; Borna, R. and Saadi T. (2013). Synoptic analysis of the causes of heavy rainfall from December 3 to 5, 2012 in Bushehr province, *the first national conference on geography, urban planning and sustainable development*, Koomesh Environmental Association.

Halabian, A.H. and Shabankari, M. (2011). The role of subtropical high pressure in the spatial distribution of daily precipitation in Iran, *Geographical Research Journal*, No. 1, PP. 1-21.

Hejazizadeh, Z. (1993). *Investigation of subtropical high pressure in changing the season of Iran*, PhD thesis in natural geography, Supervisor Dr. Houshang Ghaemi, Tarbiat Modarres University.

Houzi, N. (2010). *Statistical and Synoptic Analysis of Autumn Precipitation in the Northeast of the Country (Razavi and North Khorasan)*, M.Sc. Thesis in Climatology, Sabzevar Tarbiat Moallem University.

Izadi Qahfarkhi, A. (2013). *Synoptic and dynamic analysis of heavy rainfall in southwestern Iran using numerical model*, M.Sc. Thesis in Climatology, Yazd University.

Jafari, M. and Lashkari, H. (2021). Synoptic Patterns that Determine the Trajectory of Precipitation Systems of Sudanese Origin, *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, Vol. 8, No. 1, PP. 55-78.

Jahanbakhsh S., Karami F. (1999). Synoptic analysis of the effect of Siberian high pressure on precipitation on the southern shores of the Caspian Sea, *Geographical Research*, Vol. 14, No. 3-4, PP. 107-131.

Karimi, M. (2007). *Analysis of sources of moisture supply in Iranian rainfall*, PhD thesis in climatology, Supervisor Dr. Manochehr Farajzadeh, Tarbiat Modarres University.

Karimi, M. and Farajzadeh, M. (2011). Moisture Flux and Spatial Temporal Patterns of Moisture Supply Resources in Precipitation of Iran, *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*, Vol. 19, No. 22, PP. 109-127.

Karimi, M.; Khoshakhlagh, F.; Bazgir, S. and Jafari, M. (2017). The influence of lower tropospheric circulation of Arabian high pressure on Iran precipitation, *Physical Geography Research*, Vol. 48, No. 4, PP. 569-587.

Karimi, M.; Khoshakhlagh, F.; Shamsipur, A.A. and Norouzi, F. (2019). Circulation patterns of the Arabian subtropical high pressure in the middle level and its relationship with Iranian

- rainfall, *Journal of Geography and Planning*, Vol. 23, No. 69, PP. 233-255.
- Kaviani, M.; Masoudian, A. and Shabankari, M. (2007). Identification of spatial-temporal behavior of Siberian high pressure at sea level, *Geographical Research*, Vol. 22, No. 4, PP. 27-48.
- Khoshakhlagh, F. (1997). A Study of Monthly Drought and Wet Patterns in Iran, *Journal of Geographical Research*, No. 45, PP. 136-154.
- Khoshakhlagh, F. (1998). *A research in widespread droughts of Iran using synoptic analyses*, PhD Thesis in physical Geography, Supervisor: Dr. Majid Zahedi, University of Tabriz.
- Khoshakhlagh, F.; Azizi, Q. and Rahimi, M. (2012). Synoptic patterns of winter drought and wet season in southwestern Iran, *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*, Vol. 12, No. 25, PP. 57-77.
- Khoshhal, J.; Khosravi, M. and Nazaripour, H. (2009). Identification of the source and path of moisture of super heavy rainfall in Bushehr province, *Geography and Development*, Vol. 7, No. 16, PP. 7-28.
- Lashkari, H. (2002). Tracking Sudanese Low Systems Entering Iran, *Modarres Human Sciences*, Vol. 6, No. 2, PP. 133-156.
- Lashkari, H. (2004). The Mechanism of Forming, Deepening and Development of Sudan Low and Its Effect in Precipitation South and South Western of Iran, *Physical Geography Research*, Vol. 35, No. 46, PP. 1-18.
- Lashkari, H. and Jafari, M. (2021). The role of spatial displacement of Arabian subtropical high pressure in the annual displacement of the ITCZ in East Africa, *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 143, PP. 1543-1555.
- Lashkari, H. and Mohammadi, Z. (2015). The Role of Saudi Arabian Sub-Tropical High Pressure on the Rainfall Systems on South and Southwest Iran, *Physical Geography Research*, Vol. 1, PP. 71-90.
- Lashkari, H. and Mohammadi, Z. (2018). Study on the role of annual movements of Arabian subtropical high pressure in the late start of precipitation in southern and southwestern Iran, *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 137, PP. 2069-2076.
- Lashkari, H.; Matkan, A.A; Azadi, M. and Mohammadi, Z. (2017). Synoptic analysis of the role of Saudi Arabia subtropical high pressure subtropical and polar jet streams and severe droughts in South and South West of Iran, *Researches in Earth Sciences*, Vol. 8, No. 30, PP. 141-163.
- Lashkari, H.; Matkan, A.A; Azadi, M. and Mohammadi, Z. (2017). Synoptic Analysis of Arabian Subtropical High Pressure and Subtropical Jet Stream in Shortest Period of Precipitation in South and South West of Iran, *Environmental Sciences*, Vol. 14, No. 4, PP. 59-74.
- Mofidi, A. and Zarrin, A. (2005). Synoptic Analysis of the Nature of Sudanese Low Pressure Systems (Case Study: Hurricane December 2001), *Territory*, Vol. 2, No. 6, PP. 24-48.
- Mofidi, A.; Zarrin, A. and Janbaz Ghobadi, G.R. (2007). Explaining the reasons for the decrease in the amount and intensity of winter rainfall in comparison with autumn rainfall on the southern shores of the Caspian Sea, *Journal of Earth and Space Physics*, Vol. 38, No. 1, PP. 177-203.
- Moghari, A.R. and Khosravi, M. (2014). Investigating the relationship between Sudanese low pressure system and precipitation on May 10, 2004 in Kermanshah province, *Journal of*

- Environmental Hazards*, Vol. 3, No. 4, PP. 61-80.
- Mohammadi, H.; Fattahi, E.; Shamsipour, A.A. and Akbari, M. (2012). Dynamic Analysis of Sudan Low- Pressure Systems and Torrents in Southwest of Iran, *Journal of Geographical Sciences*, Vol. 12, No. 24, PP. 7-24.
- Mohammadi, Z. and Lashkari, H. (2018). Effects of Spatial Movement of Arabia Subtropical High Pressure and Subtropical Jet on Synoptic and Thermodynamic Patterns of Intense Wet Years in the South and South West Iran, *Physical Geography Research*, Vol. 50, No. 3, PP. 491-509.
- Moradi, H.R. (2004). The role of the Caspian Sea in the rainy conditions of the northern coasts of the country, *Iranian Journal of Marine Science and Technology*, Vol. 2, No. 3-2, PP. 77-88.
- Sadeghi Nia, A. (2007). *Investigation of high-pressure subtropical changes in the summer rainfall of the southern half of Iran*, M.Sc. Thesis in Climatology, Tarbiat Moallem University, Tehran.
- Saligheh, M. and Sadeghi Nia, A. (2009). Investigation of subtropical high pressure spatial changes in summer rainfall in the southern half of Iran, *Geography and Development*, No. 17, PP. 83-98.
- Santos, J.A.; Corte-Real, J. and Leite, S.M. (2005). Weather Regimes and Their Connection to the Winter Rainfall in Portugal, *International Journal of Climatology*, Vol. 25, PP. 33-50.
- Sotoudeh, F. and Alijani, B. (2015). Relationship between Spatial Distribution of Heavy Rainfall and Pressure Patterns in Gilan, *Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards*, Vol. 2, No. 1, PP. 63-73.
- Zarrin, A.; Ghaemi, H.; Azadi, M. and Farajzadeh, M. (2010). The Spatial Pattern of Summertime Subtropical Anticyclones over Asia and Africa: A Climatology Review, *International Journal of Climatology*, Vol. 30, PP.159-173.