

واکاوی بسامد رخداد رودبادها هنگام بارش‌های سیل‌آسای استان کردستان

محمد دارند^۱ - استادیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۲/۲۳ تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۹/۳

چکیده

برای انجام این پژوهش، داده‌های بارش روزانه ۸ ایستگاه همدید بر روی استان کردستان طی بازه زمانی ۱۳۳۹/۱۰/۱۱ تا ۱۳۸۹/۱۰/۱۲ (روز) از سازمان هواشناسی کشور اخذ شد. برای شناسایی رخداد بارش‌های سنگین منجر به سیلاب بزرگ در سطح استان دو شرط گذاشته شد: حداقل نیمی از ایستگاه‌ها بارش دریافت کرده باشند و میانگین بارش ایستگاه‌ها بیش از میانگین صدک ۹۸ ام بارش طی دوره مورد پژوهش باشد. به کمک دو آستانه یاد شده ۱۰۷ رویداد بارشی برگزیده شد. برای شناخت بارش‌های سیل‌آسای فصل گرم (خرداد تا مهر) میانگین بارش برای استان در هر کدام از روزها محاسبه شد و برحسب صدک ۹۹ ام بارش ۳۲ روز نخستین که استان کردستان شدیدترین بارش را دریافت کرده بود، برگزیده شد. در روزهای انتخاب شده طی فصل مرطوب و خشک (گرم) بر روی کرنل ۱۰ تا ۱۰۰ درجه طول شرقی و ۰ تا ۷۰ درجه عرض شمالی برای هر کدام از یاخته‌ها (۱۰۷۳) جداگانه فراوانی رخ نمود و سرعت رودبادها در چهار دیده‌بانی ۰،۰۶، ۱۲ و ۱۸ به وقت گرینویچ محاسبه شد. فراوانی رخداد رودبادها نشان داد که به هنگام رخداد بارش‌های سنگین استان در فصل مرطوب رودبادها تا تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال کشیده شده‌اند. هسته بیشینه فراوانی رخداد رودباد بر روی شمال و شمال شرق عربستان قرار دارد. در بین ۴ دیده‌بانی روزانه، بیشترین فراوانی رخداد و بیشترین سرعت رودباد مربوط به دیده‌بانی ساعت ۱۸ است. در تمام دیده‌بانی‌ها استان کردستان در قطاع چپ خروجی رودباد، جایی که واگرایی و ناپایداری در جو رخ می‌دهد، قرار دارد و محور خروجی به صورت مایل به سمت نیمه غربی کشور کشیده شده است. شرایط و مکان شکل‌گیری هسته‌های بیشینه بسامد رخداد رودبادها طی بارش‌های سنگین فصل خشک و مرطوب مشابه است، ولی در مقایسه با رخ نمود آن‌ها در فصل مرطوب، از شدت و بسامد کمتری برخوردارند و در ترازهای زیر ۵۰۰ هکتوپاسکال مشاهده نمی‌شوند.

کلیدواژه‌ها: بارش سنگین، سیل، رودباد، استان کردستان.

۱. مقدمه

بر پایه تعریف سازمان هواشناسی جهانی هرگاه سرعت باد بیش از ۶۰ گره یا حدود ۳۰ متر بر ثانیه باشد، رودباد شکل می‌گیرد. رودبادها جریان باریک بسیار قوی هستند که همراه با چینش شدید باد در راستای عمودی و جانبی هستند (واستها^۱ و همکاران، ۲۰۰۲). اگرچه طی جنگ جهانی دوم نیز برای آگاهی از شرایط جوی هنگام رخداد رودبادها برای حملات هوایی کشور آمریکا به ژاپن مطالعاتی صورت گرفته بود (باری^۲، ۲۰۰۱) ولی رودبادها به‌عنوان مهم‌ترین بخش از گردش عمومی جو که همراه با انرژی جنبشی بسیار قوی هستند، برای اولین بار توسط گروهی از هواشناسان دانشگاه شیکاگو شناسایی و معرفی شدند (رُزبای^۳ و همکاران، ۱۹۴۷). از آن زمان به بعد پژوهش‌های بسیار زیادی در مورد رودبادها و ویژگی‌های آن‌ها انجام شده است. یافته‌های این پژوهش‌ها نشان می‌دهند که در ورسپهر سه رودباد عمده وجود دارد: (۱) رودباد جبهه قطبی در نیمکره‌های زمستانی و تابستانی؛ (۲) رودباد جنب قطبی در نیمکره‌های زمستانی و تابستانی؛ (۳) رودباد شرقی جنب حاره‌ای نیمکره تابستانی (کریشنامورتی^۴، ۱۹۶۱). شکست و پیوسته نبودن تروپوپاوز، شیوع دمای شدید در زیر هسته رودباد و رخداد جبهه را می‌توان از دلایل شکل‌گیری رودبادها ذکر کرد (ایندلیچ^۵ و همکاران، ۱۹۹۵). نیوتن و پیرسون^۶ (۱۹۶۲) ویژگی‌های رودباد جنب حاره و جریان باد در بخش‌های پایینی لایه پوش سپهر را بررسی کردند. موقعیت مکانی رخداد رودبادها و نحوه شکل‌گیری رودبادها را بر روی کره زمین به صورت شماتیک نشان دادند. پژوهش‌ها نشان می‌دهند که افزایش دمای ورسپهر (فیو و همکاران، ۲۰۰۶)، افزایش حجم گاز اُزون (هیودسون^۷ و همکاران، ۲۰۰۶)، افزایش تابش طول موج بلند (هیو و فیو، ۲۰۰۷) و افزایش ارتفاع وردیست در جنب حاره (سیدل^۸ و همکاران، ۲۰۰۸) و جابه‌جایی قطب سوی سلول هدلی را در پی خواهد داشت. برآوردها نشان می‌دهند که سلول هدلی حدود ۲ الی ۵ درجه به سمت قطب جابه‌جا شده است. جابه‌جایی مکانی سلول هدلی، جابه‌جایی مکانی شکل‌گیری رودباد جنب حاره را به دنبال خواهد داشت. فیو و لین^۹ (۲۰۱۱) بر پایه داده‌های دمای بخش پایینی لایه پوش سپهر نشان دادند که در نیمکره جنوبی رودباد جنب حاره ۰/۶ و در نیمکره جنوبی ۱ درجه به سمت قطب جابه‌جا شده است. ریهل^{۱۰} و همکاران (۱۹۵۴) بر این باورند که رودبادها و گسترش آن‌ها به سمت ترازهای پایین‌تر جو در اثر مکش هوای ترازهای زیرین به

1 Vasantha

2 Bary

3 Rossby

4 Krishnamurti

5 Endlich

6 Newton and Persson

7 Hudson

8 Seidel

9 Fu and Lin

10 Riehl

سمت ترازهای بالاتر منجر به کاهش فشار، تغییر در چرخش هوا، افزایش ناپایداری و در صورت مهیایی رطوبت، منجر به بارش می‌شوند. بادنر و جانسون^۱ (۱۹۵۷) ارتباط بین رودبادهای در تروپوپاوز را با بارش سنگین ایالات متحده آمریکا در روزهای ۴ تا ۹م ماه فوریه سال ۱۹۵۷ را واکاوی کردند. یافته‌های بیانگر آن است که رودبادهای ناپایدار کردن جو و کاهش فشار در منطقه زیرین گردش چرخندی و صعود هوا را به دنبال خواهند داشت. جانسون و دانیلس^۲ (۱۹۵۴) ارتباط بین بارش با رودبادهای را در چهار ایستگاه هواسنجی بریتانیا واکاوی کردند. به طور کلی یافته‌های آن‌ها تئوری و نظریه دینامیکی که در ارتباط با رودبادهای را تأیید می‌کند. در منطقه ورودی رودبادهای جریان و گردش هوا مستقیم است در حالی که در خروجی رودبادهای گردش هوا غیر مستقیم است و نقش متفاوتی بر بارش دریافتی ایستگاه‌های مورد مطالعه دارند. در ایران نیز فرج‌زاده و همکاران (۱۳۸۶) به تحلیل موقعیت مکانی رودبادهای در ارتباط با سامانه‌های بارشی غرب کشور پرداختند. یافته‌های آن‌ها بیانگر آن است که دو روز قبل از رخداد بارش مسیرهای رودبادهای انحنای و اچرخندی دارند، ولی در روزهای آغاز و حداکثر بارش انحنای چرخندی به خود می‌گیرند. اغلب رودبادهای هنگام رخداد بارش در استان‌های ایلام و کرمانشاه در محدوده مکانی عرض‌های ۲۵ تا ۳۰ درجه شمالی و طول ۳۲/۵ تا ۴۲/۵ درجه شرقی (شمال دریای سرخ) و ۳۵ تا ۳۹ درجه شمالی و طول ۴۵ تا ۵۰ درجه شرقی (جنوب غربی دریای خزر) مشاهده می‌شوند. مسعودیان و محمدی (۱۳۹۰) فراوانی رودبادهای مرتبط با رخداد بارش‌های ابرسنگین ایران زمین را واکاوی کردند. نتایج نشان داد که از نظر زمانی به‌جز در تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال که در ساعت ۰۰ فراوانی رودبادهای قابل ملاحظه‌ای است در دیگر ترازهای جوی عمدتاً در ساعت ۱۸ بیشترین فراوانی رخنمود رودبادهای مشاهده می‌شوند. همچنین اگرچه رودبادهای در خلیج فارس و تا حدودی در جنوب غرب ایران دارای فراوانی قابل ملاحظه‌ای بودند ولی بخش‌های شمالی عربستان محل اصلی استقرار و تمرکز رودبادهای در زمان رخداد بارش‌های ابرسنگین و فراگیر ایران بوده است. پروین (۱۳۹۲) ارتباط بین موقعیت مکانی رودبادهای تراز میانی جو با رخداد سیل در حوضه آبریز دریاچه ارومیه را بررسی کرد. یافته‌های وی نشان داد که هنگام وقوع سیل‌های فراگیر موقعیت مکانی رودبادهای بین مدارات ۲۵ تا ۳۵ درجه عرض شمالی بر بالای دریای مدیترانه تا شمال شرقی ایران قرار دارند و حدود ۷۰ درصد رودبادهای در راستای جنوب غربی-شمال شرقی گسترده شده‌اند. حلییان و حسینعلی پورجزی (۱۳۹۳) به تحلیل فراوانی رودبادهای مرتبط با بارش‌های حدی و فراگیر در کرانه‌های غربی خزر پرداختند. یافته‌های آن‌ها نشان داد که رودبادهای به لحاظ زمانی به‌جز در تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال که در ساعت ۰۶ فراوانی بالایی را نشان می‌دهند، در ترازهای ۳۰۰ و ۴۰۰ هکتوپاسکال عمدتاً در ساعت ۱۸ بر روی منطقه مطالعاتی نمودی آشکار دارند. غیور و همکاران (۱۳۹۱) در بررسی رابطه بارش‌های سنگین با الگوهای گردشی جو بالای خراسان جنوبی به این نتیجه دست یافتند که قرارگیری بخش‌های شرقی و شمال‌شرق ایران زمین

1 Badner and Johnson

2 Johnson and Daniels

در قسمت شمالی خروجی رودباد نقش مهمی در ناپایداری‌ها و بارش‌های سنگین ایفا می‌کند. نوری و ایلدرمی (۱۳۹۱) در تحلیل شرایط همدید و دینامیک رویدادهای بارش سنگین سواحل جنوبی خزر به این نتیجه رسیدند که ادغام رودبادهای جنب‌حاره‌ای و جبهه قطبی بر روی شرق عراق می‌تواند از علل ایجاد و تشدید حرکات عمودی هوا در منطقه باشد. هدف از انجام این پژوهش واکاوی بسامد رخداد رودبادهای هنگام رخداد بارش‌های سیل‌آسای استان کردستان است.

۲. منطقه مورد مطالعه

استان کردستان با مساحت حدود ۲۹۶۰۰ کیلومترمربع در غرب ایران بین ۳۴ درجه و ۴۴ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱۶ دقیقه طول شرقی قرار دارد (شکل ۱). اختلاف ارتفاع از سطح دریا بین بلندترین و پست‌ترین نقاط استان حدود ۲۵۰۰ متر است. در برخی نقاط از جمله کوه شاهو و چهل چشمه، ارتفاع از سطح دریا حدود ۳۲۱۹ متر است. در بخش‌هایی از جنوب‌غربی و غرب استان ارتفاع از سطح دریا حدود ۷۱۲ متر است (شکل ۱). تفاوت مکانی ارتفاع و پیکربندی ناهمواری‌ها نقش بسیار زیادی در دریافت بارش دارند. نیمه غربی استان پربارش و نیمه شرقی آن بارش کمتری را دریافت می‌کند. متوسط سهم دریافتی بارش سالانه مربوط به غرب استان بیش از ۹۰۰ میلی‌متر است. کمترین میزان بارش دریافتی مربوط به ایستگاه‌های شرقی استان، بیجار و قروه است که بارشی کمتر از ۳۰۰ میلی‌متر در سال را تجربه می‌کنند.

۳. مواد و روش‌ها

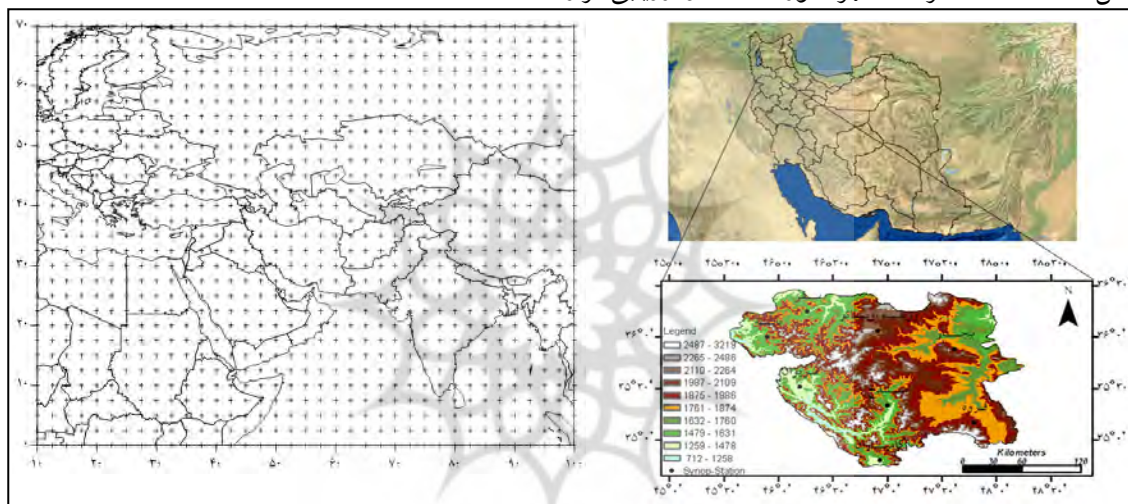
به‌منظور واکاوی بسامد رخداد رودبادهای هنگام بارش‌های سیل‌آسای استان کردستان دو دسته داده نیاز است. دسته اول داده‌های بارش ثبت شده توسط ایستگاه‌های همدید و دسته دوم داده‌های مربوط به مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری باد. در این پژوهش داده‌های مربوط به بارش روزانه ۸ ایستگاه همدید در بازه زمانی ۱۳۳۹/۱۰/۱۱ تا ۱۹۶۱/۱/۱) تا ۱۳۸۹/۱۰/۱۲) (۲۰۱۰/۱۲/۳۱) (۱۸۲۶۳ روز) از سازمان هواشناسی کشور اخذ شد. یک پایگاه داده بارش، با آرایه ۸*۱۸۲۶۳ به دست آمد که بر روی ردیف‌ها روز و بر روی ستون‌ها ایستگاه‌ها قرار داشتند. شکل ۱ موقعیت مکانی ایستگاه‌های همدید مورد مطالعه را نشان می‌دهد. برای شناسایی رخداد بارش‌های سنگین منجر به سیلاب بزرگ در سطح استان دو شرط زیر گذاشته شد:

۱- دست‌کم نیمی از ایستگاه‌ها بارش دریافت کرده باشند

۲- میانگین بارش ایستگاه‌ها بیش از میانگین صدک ۹۸م بارش طی دوره مورد پژوهش باشد.

به کمک دو آستانه یاد شده ۱۰۷ رویداد بارشی از ۱۸۲۶۳ روز برگزیده شد. برای کنترل رخداد بارش و سیل طی روزهای برگزیده شده، تاریخ رخداد ۱۰۷ روز همراه با بارش سنگین و فراگیر با تاریخ بیشینه متوسط دبی در ایستگاه‌های آب‌سنجی استان در همان تاریخ و دو روز بعد مقایسه شد.

اما با گذاشتن دو شرط یاد شده فراگیرترین و شدیدترین بارش‌های سیل‌آسا مشخص خواهند شد. با نگاهی به تاریخ رخداد هر کدام از بارش‌های سنگین استان متوجه می‌شویم که این گونه بارش‌ها از مهرماه تا اردیبهشت رخ نمود دارند؛ اما بارش‌های سیل‌آسایی که به‌ندرت و با بسامد و شدت اندک در فصل گرم سال به‌ویژه فصل تابستان اتفاق می‌افتد در این گزینش انتخاب نخواهند شد. برای مطالعه آن‌ها در ماه‌های خرداد تا مهر میزان میانگین بارش برای استان در هر کدام از روزها محاسبه شد و برحسب بارش دریافتی داده‌ها مرتب شد و ۳۲ روز نخستین که استان کردستان شدیدترین بارش را دریافت کرده بود برگزیده شد. انتخاب ۳۲ روز برحسب صدک بیش از ۹۹ درصد میانگین بارش دریافتی استان در ماه‌های خرداد تا مهرماه بود؛ بنابراین به‌طور کلی می‌توان گفت که در این پژوهش بارش‌های سیل‌آسای استان را در دو طبقه بندی جداگانه بارش‌های سیل‌آسای فصل مرطوب سال (مهر تا خرداد) و فصل خشک سال (خرداد تا مهر) مورد مطالعه و ارزیابی قرار داده شد.



شکل ۱ موقعیت مکانی ایستگاه‌های هم‌دید و توزیع ارتفاع در استان کردستان
شکل ۲ چهارچوب پوش مکانی جهت واکاوی فراوانی رخداد رودبادهای

طبق تعریف سازمان هواشناسی جهانی (WMO) اگر سرعت باد به بیش از ۳۰ متر بر ثانیه برسد رودباد شکل می‌گیرد. در روزهای برگزیده شده داده‌های شبکه‌ای ۶ ساعته مؤلفه مداری (U_{wnd}) و نصف‌النهاری (V_{wnd}) باد با تفکیک مکانی $2/5^\circ \times 2/5^\circ$ درجه قوسی بر روی کرنل ۱۰ تا ۱۰۰ درجه طول شرقی و ۰ تا ۷۰ درجه عرض شمالی از مرکز ملی پیش‌بینی محیطی و مرکز ملی تحقیقات جوی ایالات متحده آمریکا (NCEP/NCAR) استخراج شد. برای هر یاخته (۱۰۷۳) جداگانه فراوانی رخ نمود و سرعت رودبادهای در چهار دیده‌بانی ۰،۶، ۱۲ و ۱۸ به وقت گرینویچ محاسبه شد (شکل ۲)؛ بنابراین دو آرایه با آرایش 107×107 برای فصل مرطوب سال و آرایه دیگری در ابعاد 107×32 برای فصل خشک سال ایجاد شد. بر روی سطرها روز و بر روی ستون‌ها یاخته‌ها قرار داشتند.

جدول ۱ ماتریس نمونه روزهای همراه با بارش سنگین در فصل مرطوب سال

شمسی			میلادی			میانگین استان	سندج	سقز	زرینه	بانه	مریوان	بیجار	قروه	کامیاران
۱۳۷۶	۱۲	۲۶	۱۹۹۸	۳	۱۷	۵۹/۸۳	۷۳	۶۱	۳۹	NaN	۱۰۳	۴۷	۳۶	NaN
۱۳۸۴	۱۱	۱۵	۲۰۰۶	۲	۳	۵۶/۶۳	۴۳/۴	۶۹/۶	۵۷/۲	۱۰۶/۸	۱۲۳/۲	۱۹/۲	۱۷/۶	۱۶/۱
۱۳۷۵	۱	۲۵	۱۹۹۶	۴	۱۳	۴۹/۳۳	۳۶	۱۱	۵۲	NaN	۱۳۱	۴۳	۲۳	NaN
.
۱۳۷۲	۸	۲۰	۱۹۹۳	۱۱	۱۱	۲۲/۸۸	۲۶	۲۸	۹	NaN	۳۶۳	۲۰	۱۸	NaN
۱۳۷۱	۱۲	۱۷	۱۹۹۳	۳	۸	۲۲/۸۶	۷/۲	۵۱	۱۶	NaN	۳۴	۱۵	۱۴	NaN
۱۳۸۳	۱	۱۲	۲۰۰۴	۳	۲۱	۲۲/۸۱	۳۲	۱۱/۴	۲۱	۷/۱	۱۶۲	۱۹	۵۳	NaN
.
۱۳۸۱	۱۲	۱	۲۰۰۳	۲	۲۰	۱۷/۸۴	۹	۲۰	۲۴/۴	۲۵	۴۱	۲/۴	۳/۱	NaN
۱۳۷۵	۱۰	۲۱	۱۹۹۷	۱	۱۰	۱۷/۷۳	۸	۳۳/۷	۲۷	NaN	۳۰/۹	۶	۰/۸	NaN
۱۳۶۷	۱۲	۲۰	۱۹۸۹	۳	۱۱	۱۷/۶۲	۱۷	۱۳/۵	NaN	NaN	NaN	۱۹	۲۱	NaN

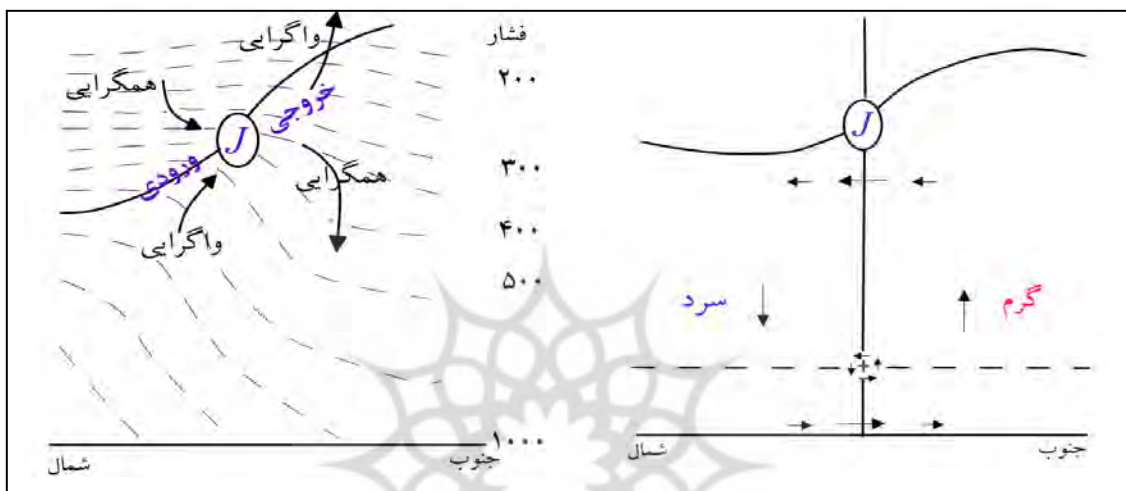
* منظور از NaN آن است که در آن روز داده بارش بر روی ایستگاه مورد نظر ثبت نشده است.

شمسی			میلادی			میانگین استان	سندج	سقز	زرینه	بانه	مریوان	بیجار	قروه	کامیاران
۱۳۷۸	۴	۲۴	۱۹۹۲	۷	۱۵	۸/۵۶	۷	۱۵	۸	NaN	۰/۱	۹	۱۲/۳	NaN
۱۳۸۸	۶	۳۰	۲۰۰۹	۹	۲۰	۶/۳	۵/۸	۰/۶	۵/۵	۷/۴	۴/۶	۳/۳	۷	۱۶/۲
۱۳۸۷	۶	۲۱	۲۰۰۸	۹	۱۰	۵/۵۷	.	۱۸/۸	۵/۸	۹/۴	۲/۳	۵	۲/۲	۱/۱
.
۱۳۸۰	۴	۲۹	۲۰۰۱	۷	۲۰	۲/۷۲	۰/۸	۹	۲	۶	۰/۳	.	۱	NaN
۱۳۷۱	۶	۷	۱۹۹۲	۸	۲۹	۲/۶۶	.	.	۸	NaN	.	۸	.	NaN
۱۳۸۶	۶	۲	۲۰۰۷	۸	۲۳	۲/۶۳	.	.	۳/۵	۱۰/۹	۱/۱	۵/۴	۰/۲	.
.
۱۳۷۳	۶	۱۸	۱۹۹۴	۹	۹	۱/۵۱	۲	۵/۴	.	NaN	۰/۶	۱	۰/۱	NaN
۱۳۷۲	۵	۸	۱۹۹۳	۷	۳۰	۱/۵	.	.	۶	NaN	.	.	۳	NaN
۱۳۷۲	۵	۹	۱۹۹۳	۷	۳۱	۱/۵	.	.	۷	NaN	.	.	۲	NaN

جدول ۲ ماتریس نمونه روزهای همراه با بارش سنگین در فصل خشک سال

برخورد جریان جنوب‌سوی هوای سرد عرض‌های بالا با جریان شمال‌سوی هوای گرم عرض‌های پایین جریان‌های پیچان‌های را شکل می‌دهند که تبدیل به انرژی جنبشی رودبادهای می‌شود (نامیاس^۱ و

همکاران، ۱۹۴۹ و نایبرگ^۱، ۱۹۵۰). گردش و جریان گرمایی در راستای عمودی هنگام رخداد یک رودباد در شکل ۳ نشان داده شده است. رودبادهای بسته به موقعیت قرارگیری بر روی منطقه، پایداری و ناپایداری را به دنبال خواهند داشت. بر پایه تئوری ناپایداری دینامیکی اغلب در جنوب هسته رودبادهای چینش و اچرخندی بسیار قوی ($-\partial u/\partial y > f$) و همگرایی اتفاق می‌افتد که منجر به نشست هوا و حرکت هوا به سمت استوا می‌شود. در شمال هسته رودباد عکس چنین حالتی دیده می‌شود ($-\partial u/\partial y < f$) و واگرایی ناپایداری هوا را به دنبال خواهد داشت (ایندلیچ، ۱۹۵۳) (شکل ۴).



شکل ۳ گردش و جریان گرمایی در راستای عمودی رخداد رودباد (نامیاس و همکاران، ۱۹۴۹، به نقل از ایندلیچ، ۱۹۵۳).
 شکل ۴ نیمرخ عمودی در راستای شمالی-جنوبی گردش هوا در اطراف هسته رودباد. هسته رودباد با نشان داده شده است. خط ممتد پرنرنگ ارتفاع تروپوپاوز و خطوط همچند ترازهای فشار، بریده‌بریده نشان داده شده است (زُزبای و همکاران، ۱۹۷۴ به نقل از ایندلیچ، ۱۹۵۳).

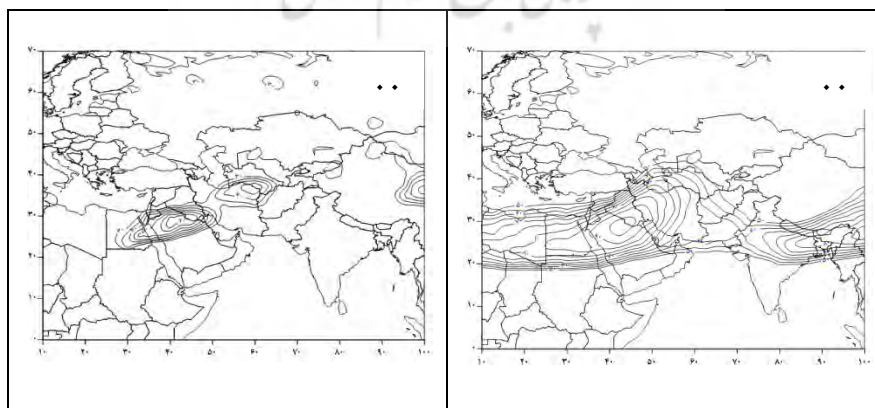
۴. بحث و نتایج

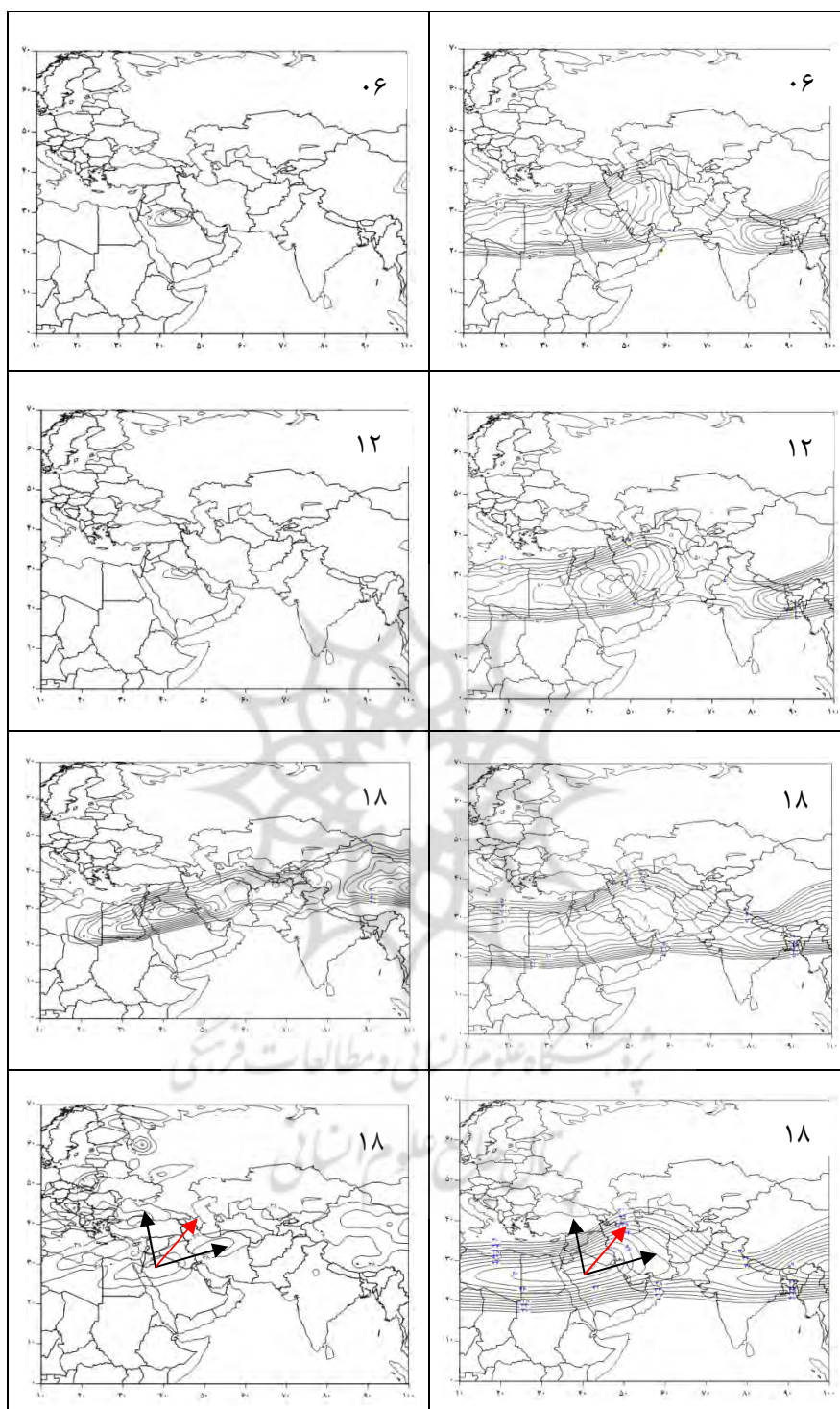
۱,۴. فراوانی رودباد هنگام رخداد بارش‌های سیل آسا در فصل مرطوب و خشک

الف) فراوانی رودباد در تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال

در ساعت ۰۰ به وقت گرینویچ، در تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال بر روی شمال شرق عربستان و جنوب عراق هسته بیشینه فراوانی سرعت رودباد با فراوانی ۹۵ درصد مشاهده می‌شود. به بیانی دیگر در ۹۵ درصد موارد رخنمود بارش‌های سیل آسا بر روی استان کردستان بر روی مناطق یاد شده در تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال رودباد دیده شده است. هسته بیشینه رودباد جهت جنوب غربی-شمال شرقی دارد و به سمت نیمه غربی ایران

کشیده شده است. در ساعت های ۰۶ و ۱۲ نیز همانند ساعت ۰۰ بر روی شمال شرق عربستان هسته بیشینه فراوانی رودباد با فراوانی ۹۵ درصد دیده می شود و به سمت ایران کشیده شده است. استان کردستان در نیمه چپ خروجی رودباد قرار دارد. در ساعت ۱۸ هسته بیشینه فراوانی رودباد با همان فراوانی بیشینه ۹۵ درصد بر روی مناطق یاد شده دیده می شود ولی گستره آن افزایش یافته و تا نیمه غربی ایران را در بر دارد. بر روی شکل پیکان های سیاه محور رودباد را نشان می دهند. قطاعی که پیکان قرمز در آن قرار دارد نیمه چپ خروجی رودباد نام دارد که همراه با واگرایی بالایی و ناپایداری هوا است. به بیانی دیگر هوای گرم و مرطوبی که توسط اندرکنش سامانه های جوی (واچرخند سیبری، اروپایی و کم فشار سودان) به سمت منطقه مورد پژوهش انتقال داده شده است توسط واگرایی ترازهای بالایی ناپایدار شده و صعود می کند. میانگین سرعت رودباد هنگام دیده بانی ساعت ۱۸ در این تراز نشان می دهد که بیشینه هسته سرعت ۵۲ متر بر ثانیه بر روی نیمه شمالی عربستان دیده می شود که محور خروجی آن به سمت نیمه غربی ایران میل پیدا کرده است. به بیانی دیگر می توان گفت که در تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال رودباد شکل گرفته با سرعت ۵۲ متر بر ثانیه هوا را از منطقه دور می کند. هوای ترازهای زیرین جو برای پرشدن خلأ ایجاد شده صعود می کند و ناپایدار می شود. در فصل خشک نیز همانند فصل مرطوب بر روی شمال شرق کشور عربستان و جنوب کشور عراق در ساعت ۰۰ هسته بیشینه فراوانی رودباد ۶۰ درصد مشاهده می شود. هسته دیگری بر روی شمال شرق کشور با مرکز فراوانی ۵۰ درصد دیده می شود. در دیده بانی ساعت ۰۶ هسته بیشینه فراوانی به سمت جنوب جابجا شده است ولی با همان شدت ساعت ۰۰ قابل مشاهده است. در دیده بانی ساعت ۱۲ نیز با همان شدت بر روی شمال کشور عربستان دیده می شود. در دیده بانی ساعت ۱۸ فراوانی رخداد رودباد به بیشینه حالت خود در این تراز می رسد و هسته بیشینه فراوانی به ۸۰ درصد می رسد و به سمت استان کردستان کشیده شده است به طوری که استان در نیمه خروجی سمت چپ رودباد قرار دارد. میانگین سرعت رودباد هنگام رخداد بارش های سیل آسای فصل خشک در ساعت ۱۸ در تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال بیش از ۳۸ متر بر ثانیه است (شکل ۵).

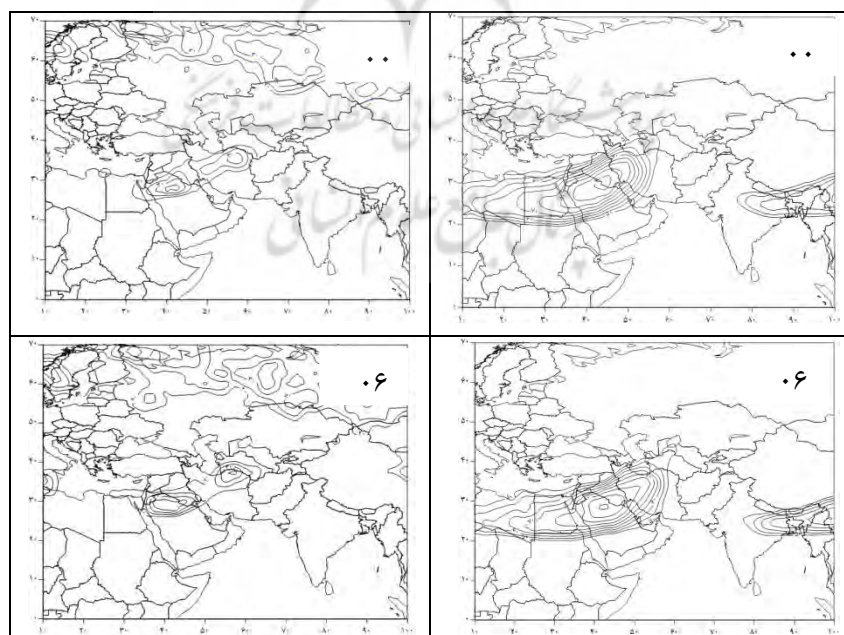


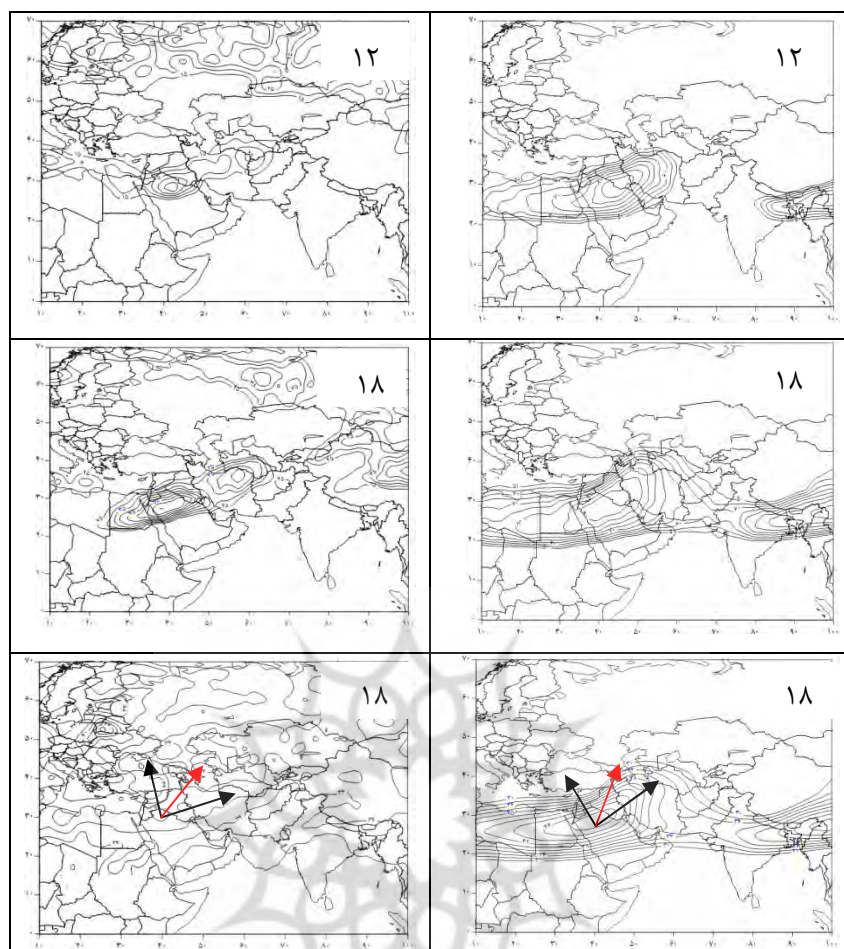


شکل ۵ فراوانی رودباد به ترتیب در ساعت‌های ۰،۶، ۱۲، ۱۸ و میانگین سرعت باد در ساعت ۱۸ برحسب $m.s^{-1}$ به وقت گرینویچ در فصل مرطوب (راست) و خشک (چپ) در تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال

ب) فراوانی رودباد در تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال

در ساعت ۰۰ به وقت گرینویچ در تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال هسته بیشینه فراوانی رودباد با فراوانی ۹۰ درصد بر روی مناطق جنوبی عراق و شمال شرق عربستان دیده می‌شود. نسبت به تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال ۵ درصد فراوانی رودباد کاهش یافته است (شکل ۶). جهت هسته یاد شده جنوب غربی-شمال شرقی است و استان کردستان در نیمه چپ خروجی بر روی قطاعی که در آن واگرایی رخ می‌دهد، قرار دارد. در ساعت ۰۶ و ۱۲ شرایط فراوانی رودباد تفاوت چندانی با ساعت ۰۰ ندارد. در ساعت ۱۸ درصد هسته بیشینه فراوانی رخدادهای رودباد همانند ساعت‌های دیگر بر روی شمال شرق عربستان قرار دارد ولی گستره درصد رخدادهای فراوانی رودباد افزایش یافته است. خطوط همچند فراوانی ۹۰ درصد رخدادهای رودباد طی ۱۰۷ روز همراه با بارش سیل آسای استان تا نیمه غربی ایران گسترش یافته است. هسته بیشینه میانگین سرعت رودباد در ساعت ۱۸ در تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال از دریای سرخ تا نیمه غربی ایران با سرعت ۴۸ متر بر ثانیه مشاهده می‌شود. نسبت به تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال ۴ متر بر ثانیه سرعت رودباد در این تراز کاهش یافته است. در فصل خشک بر روی بخش‌های شمالی کشور عربستان هسته بیشینه فراوانی رخدادهای ۴۰ درصد مشاهده می‌شود که به سمت ایران نیز کشیده شده است و بر روی شمال شرق کشور ایران هسته بیشینه فراوانی ۳۰ متر بر ثانیه مشاهده می‌شود. در دیده بان ساعت ۰۶ نیز دو هسته یاد شده حضور دارند. در دیده بان ساعت ۱۲ چندان تفاوتی با شرایط دیده بان شش ساعت قبل دیده نمی‌شود. ولی بر روی شمال کشور عربستان در دیده بان ساعت ۱۸ فراوانی رخدادهای رودباد به ۶۵ درصد می‌رسد. میانگین سرعت رودباد بر روی شمال کشور عربستان به ۴۰ متر بر ثانیه می‌رسد.





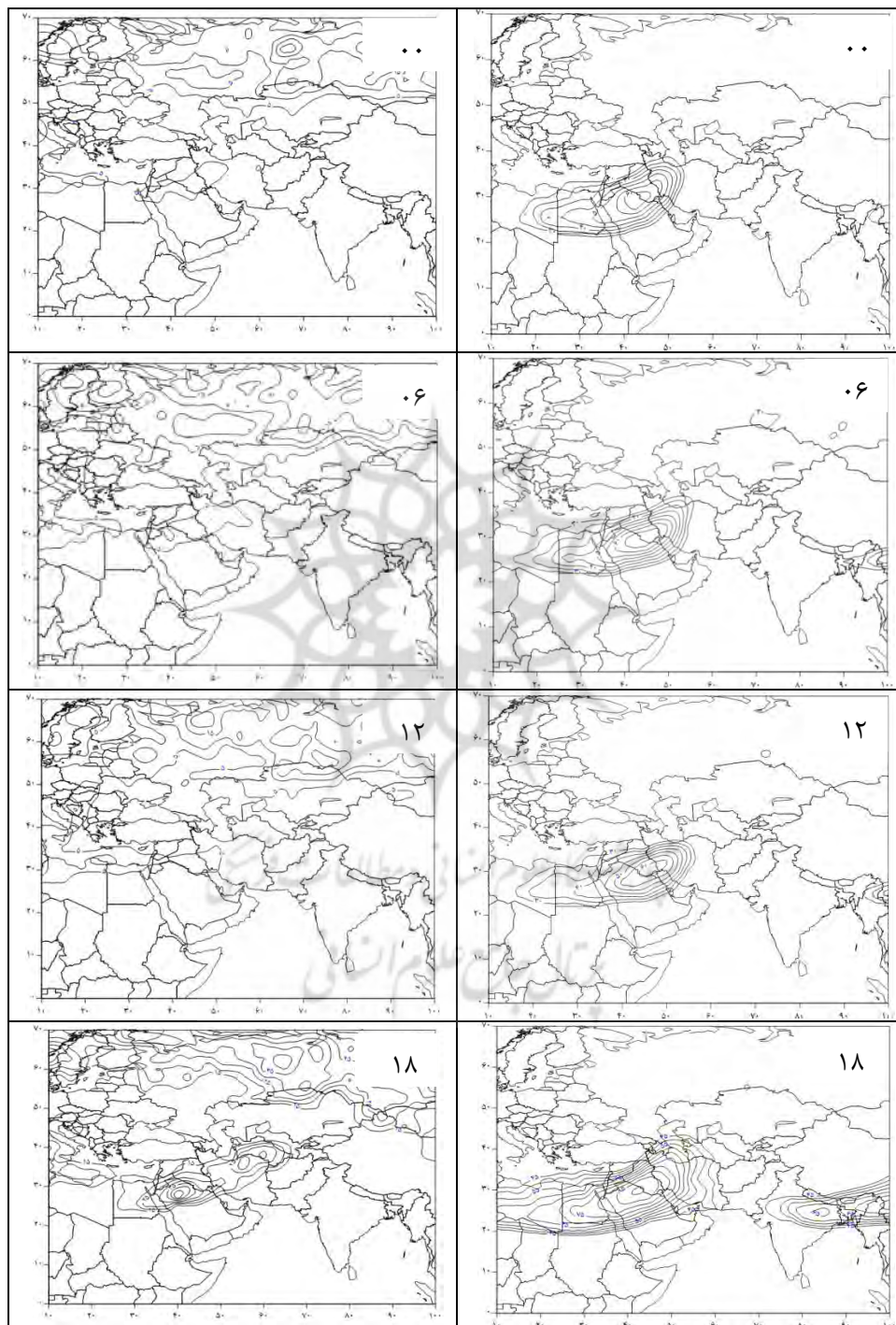
شکل ۶ فراوانی رودباد به ترتیب در ساعت‌های ۰۰، ۰۶، ۱۲، ۱۸ و میانگین سرعت باد در ساعت ۱۸ برحسب

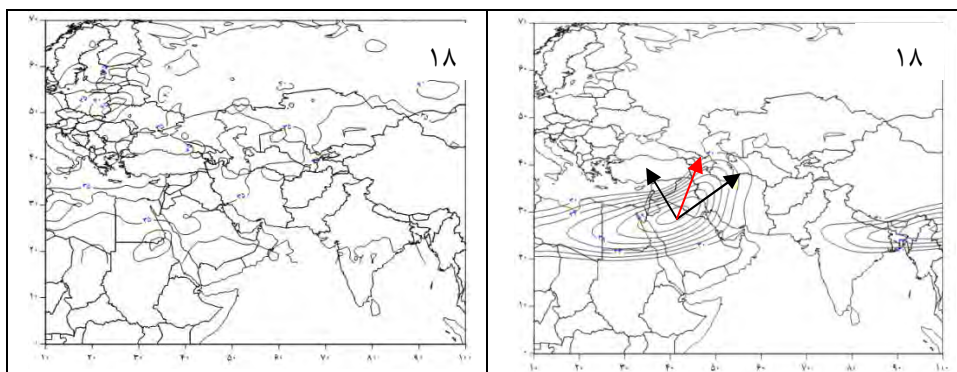
$m.s^{-1}$ به وقت گرینویچ در فصل مرطوب (راست) و خشک (چپ) در تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال

(ج) فراوانی رودباد در تراز ۴۰۰ هکتوپاسکال

همانند ترازهای بالاتر (۲۵۰ و ۳۰۰) در ساعت ۰۰ در تراز ۴۰۰ هکتوپاسکال بیشینه فراوانی رخداد رودباد بر روی شمال شرق عربستان قرار دارد (شکل ۷). درصد فراوانی رخداد رودباد بر روی منطقه یاد شده ۶۰ درصد است که به سمت نیمه غربی ایران کشیده شده است. استان کردستان در قطاع خروجی رودباد؛ جایی که واگرایی اتفاق می‌افتد، قرار دارد. در ساعت‌های ۰۶ و ۱۲ نیز شرایط فراوانی رخداد رودباد شبیه به ساعت ۰۰ است ولی در ساعت ۱۸ فراوانی رخداد رودباد شبیه به ترازهای بالاتر است و گستره بیشتری را در بر دارد. هسته بیشینه فراوانی رخداد رودباد بر روی شمال شرق عربستان به ۸۵ درصد می‌رسد. هسته بیشینه سرعت رودباد در ساعت ۱۸ در تراز ۴۰۰ هکتوپاسکال بر روی شمال غرب عربستان با سرعت ۴۴ متر بر ثانیه قرار دارد. در تراز ۴۰۰ هکتوپاسکال طی رخداد بارش‌های سیل‌آسای فصل خشک فراوانی رخداد رودباد به شدت کاهش می‌یابد. در دیده‌بانی ساعت ۰۰ تا ۱۲ فراوانی رخداد رودباد ۵ درصد است که بر روی شمال عربستان تا مناطق غربی ایران کشیده شده است. در دیده‌بانی

ساعت ۱۸ فراوانی رخداد رودباد به ۴۵ درصد بر روی بخش های شمالی عربستان می رسد که به سمت استان کردستان و مناطق غربی ایران کشیده شده است. استان کردستان در نیمه چپ خروجی رودباد قرار گرفته است. میانگین سرعت رودباد در ساعت ۱۸ به بیش از ۳۵ متر بر ثانیه می رسد.

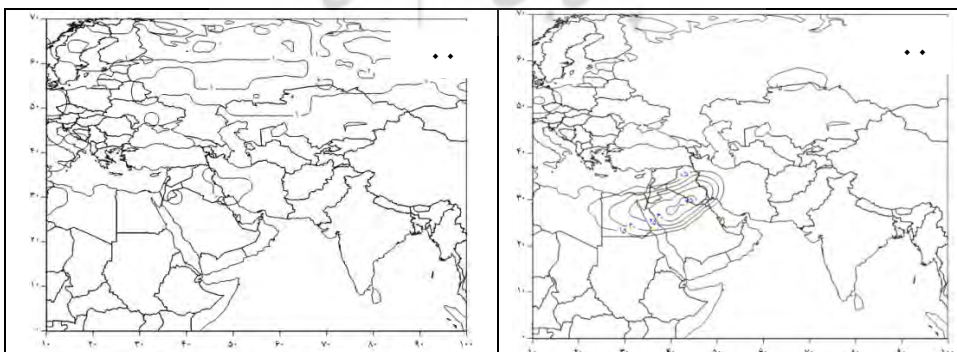


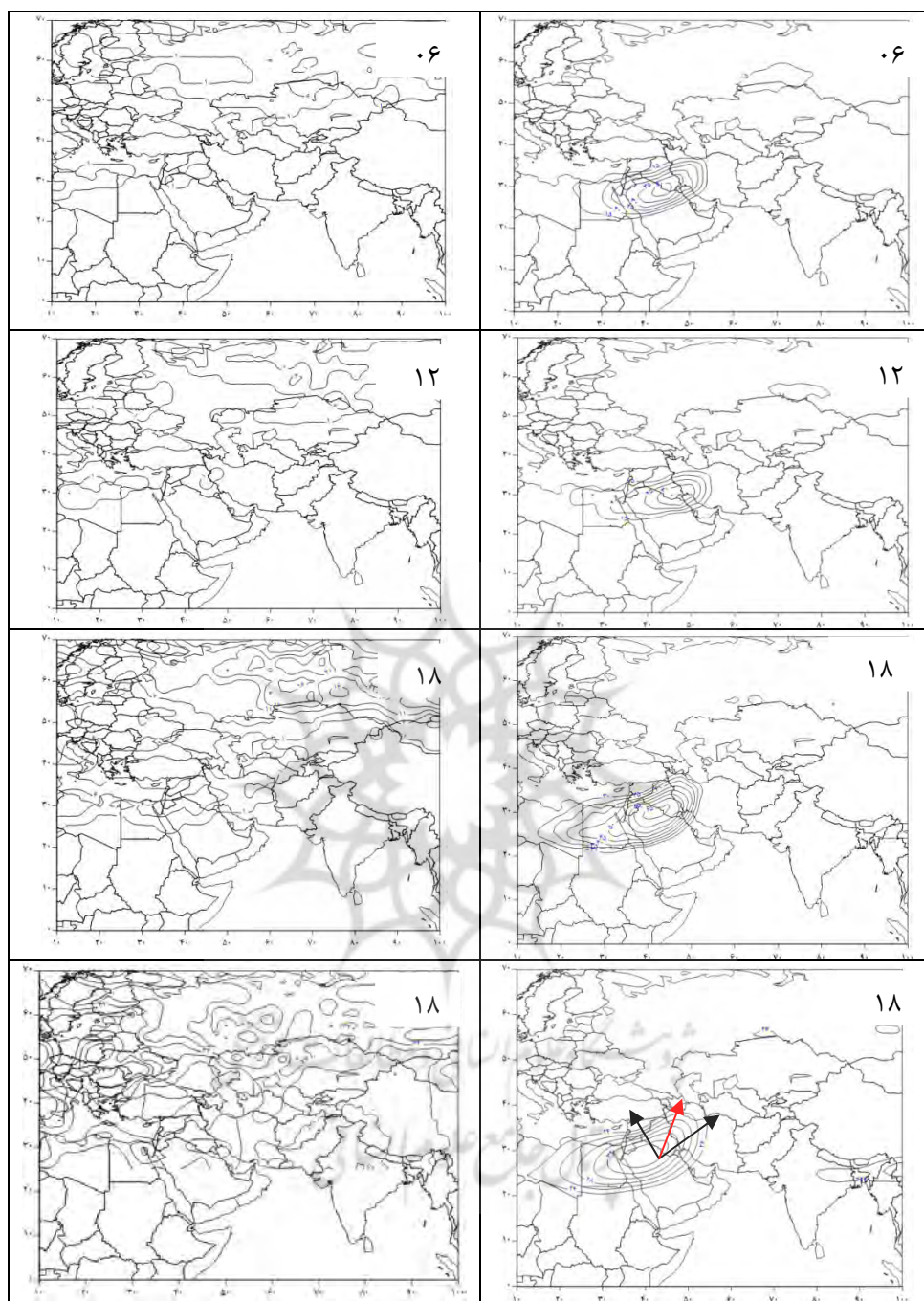


شکل ۷ فراوانی رودباد به ترتیب در ساعت‌های ۰، ۶، ۱۲، ۱۸ و میانگین سرعت باد در ساعت ۱۸ بر حسب $m.s^{-1}$ به وقت گرینویچ در فصل مرطوب (راست) و خشک (چپ) در تراز ۴۰۰ هکتوپاسکال

د) فراوانی رودباد در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز همانند سایر ترازهای جوی بالاتر بر روی شمال شرق عربستان هسته بیشینه فراوانی رخداد رودباد دیده می‌شود (شکل ۸). همان‌طور که ملاحظه می‌شود در ۳۵ درصد موارد بر روی منطقه یاد شده رودباد اتفاق افتاده است. محور خروجی رودباد با جهت جنوب غربی - شمال شرقی از نیمه غربی ایران عبور می‌کند و استان کردستان در قطاع نیمه چپ خروجی رودباد قرار دارد و واگرایی هوا صعود هوا را به دنبال دارد. در ساعت‌های ۰۶ و ۱۲ با اندکی تغییرات در فراوانی رخداد شرایط همانند ساعت ۰۰ است. در ساعت ۱۸ هسته بیشینه فراوانی رخداد رودباد ۶۵ درصد است که بر روی نیمه شمالی عربستان قرار دارد و میانگین هسته بیشینه سرعت رودباد در ساعت ۱۸ در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ۳۴ متر بر ثانیه است. طی بارش‌های سیل‌آسای فصل خشک در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال فراوانی رخداد رودباد در دیده‌بانی‌های ساعت ۰۰، ۰۶ و ۱۲ به یک درصد می‌رسد که بر روی نیمه غربی کشور و استان کردستان قرار دارد. همانند سایر ترازهای دیگر مورد مطالعه در دیده‌بانی ساعت ۱۸ فراوانی رخداد رودباد افزایش می‌یابد به صورتی که در نیمه غربی ایران فراوانی آن به ۶ درصد می‌رسد و میانگین سرعت رودباد به بیش از ۳۰ متر بر ثانیه می‌رسد.





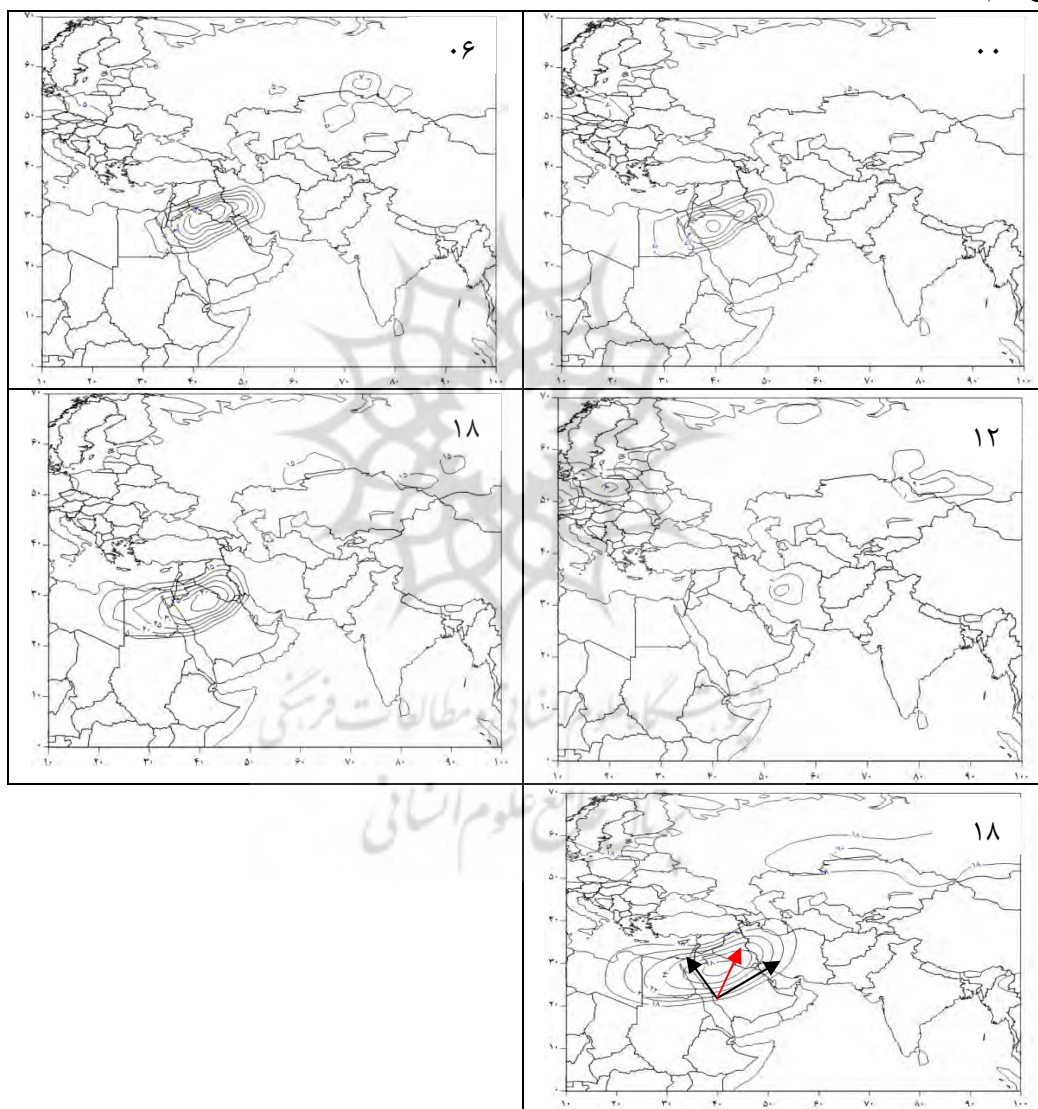
شکل ۸ فراوانی رودباد به ترتیب در ساعت‌های ۰۶، ۱۲، ۱۸ و میانگین سرعت باد در ساعت ۱۸ برحسب

$m.s^{-1}$ به وقت گرینویچ در فصل مرطوب (راست) و خشک (چپ) در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

ک) فراوانی رودباد در تراز ۶۰۰ هکتوپاسکال

در تراز ۶۰۰ هکتوپاسکال در فصل مرطوب نیز نشانه‌هایی از رخداد رودباد هنگام رخنمود بارش‌های سیل‌آسا مشاهده می‌شود (شکل ۹). همان‌طور که در نقشه مربوط به ساعت ۰۰ مشاهده می‌شود در این تراز بر روی نیمه

شمالی عربستان هسته بیشینه فراوانی رودباد مشاهده می‌شود. فراوانی رخداد آن ۱۳ درصد است. در ساعت ۰۶ نیز شرایط رخداد رودباد با اندکی تغییر شبیه به ساعت ۰۰ است. در ساعت ۱۲ هیچ گونه اثری از رخداد رودباد بر روی کرنل مورد پژوهش دیده نمی‌شود اما در ساعت ۱۸ شرایط کاملاً متفاوت است و بیشینه هسته فراوانی رخداد رودباد ۴۰ درصد است که بر روی نیمه شمالی عربستان قرار دارد و محور خروجی آن به سمت نیمه غربی ایران و منطقه مورد پژوهش کشیده شده است. هسته بیشینه میانگین سرعت رودباد طی ۱۰۷ رویداد همراه با بارش سنگین برابر با ۲۸ متر بر ثانیه است. هنگام رخداد بارش‌های سیل‌آسای استان کردستان طی فصل خشک در تراز ۶۰۰ هکتوپاسکال در هیچ‌کدام از دیده‌بانی‌ها اثری از رخداد رودباد مشاهده نشد.

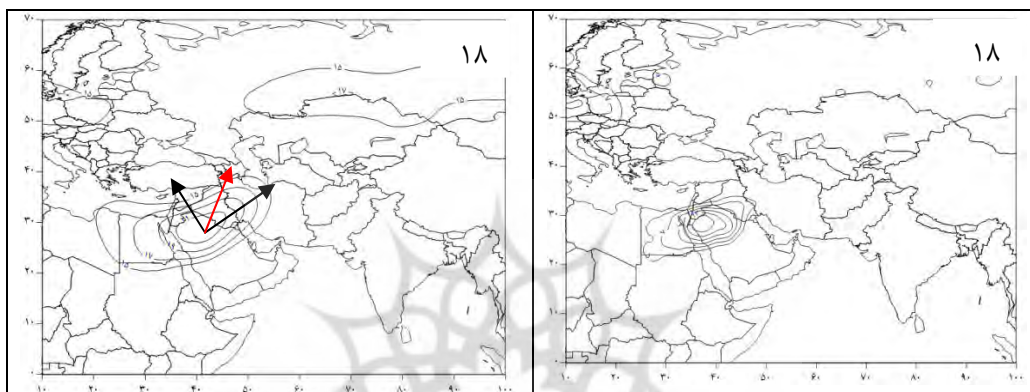


شکل ۹ فراوانی رودباد به ترتیب در ساعت‌های ۰۰ و ۰۶ (بالا)، ۱۲ و ۱۸ (میانی) و میانگین سرعت باد در ساعت

۱۸ (پایین) برحسب $m.s^{-1}$ به وقت گرینویچ در فصل مرطوب در تراز ۶۰۰ هکتوپاسکال

ل) فراوانی رخداد رودباد در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال

طی فصل مرطوب در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال در ساعت‌های ۰۶، ۱۲ و ۱۸ اثری از رخداد رودباد بر روی منطقه مورد پژوهش یافت نشد. تنها در ساعت ۱۸ بر روی شمال عربستان هسته بیشینه فراوانی رخداد رودباد با فراوانی ۱۵ درصد مشاهده شد. میانگین هسته بیشینه میانگین سرعت بردار باد طی رخداد بارش‌های سیل آسای استان کردستان بر روی منطقه یاد شده در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال ۲۱ متر بر ثانیه است و به سرعت رودباد نمی‌رسد. هنگام رخداد بارش‌های سیل آسای فصل خشک همانند تراز ۶۰۰ هکتوپاسکال در هیچ کدام از دیده‌بانی‌ها رودباد مشاهده نشد (شکل ۱۰).



شکل ۱۰ فراوانی رودباد در ساعت ۱۸ (راست) و میانگین سرعت باد در ساعت ۱۸ (چپ) بر حسب $m.s^{-1}$ به وقت گرینویچ در فصل مرطوب در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال

۵. نتیجه‌گیری

هدف از انجام این پژوهش واکاوی بسامد رخداد رودبادها هنگام بارش‌های سیل آسای استان کردستان بود. برای انجام آن، داده‌های بارش روزانه ۸ ایستگاه همدید بر روی استان کردستان طی بازه زمانی ۱۳۳۹/۱۰/۱۱ تا ۱۳۸۹/۱۰/۱۲ (۲۰۱۰/۱۲/۳۱) (۱۸۲۶۳ روز) از سازمان هواشناسی کشور اخذ شد. به کمک دو آستانه فراگیری و شدت روزهای همراه با بارش‌های سیل آسای استان کردستان طی فصل مرطوب و خشک برگزیده شدند. یافته‌های این پژوهش را می‌توان به صورت موارد زیر خلاصه کرد:

- به لحاظ مکانی هسته بیشینه فراوانی رخداد رودبادها در فصل مرطوب و خشک بر روی نیمه شمالی و شمال شرق عربستان قرار دارد. واکاوی فراوانی رخداد رودبادها نشان داد که به هنگام رخداد بارش‌های سنگین استان کردستان طی فصل مرطوب در ترازهای ۲۵۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ هکتوپاسکال فراوانی رخداد رودبادها به صورت هسته‌های بیشینه بر روی مناطق یاد شده به بیش از ۹۰ درصد می‌رسد. در فصل خشک به نسبت فراوانی رخداد رودبادها و گستره مناطق رخنمود آن کاهش می‌یابد.

- در فصل مرطوب رودبادهای تا تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (حدود ۳ کیلومتری بالای جو) کشیده شده‌اند؛ به بیانی دیگر از تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال به بالا رودبادهای هوا را با سرعت بیش از ۳۰ متر بر ثانیه از منطقه دور می‌کنند و منجر به ناپایداری هوای ترازهای زیرین و تقویت آن می‌شوند.
- در بین چهار دیده‌بانی روزانه (۰۶، ۰۰، ۱۲ و ۱۸ به وقت گرینویچ) بیشترین فراوانی رخداد و بیشترین سرعت رودباد مربوط به دیده‌بانی ساعت ۱۸ است. دلیل ایجاد چنین شرایطی نیازمند پژوهش بیشتر است.
- در چهار دیده‌بانی روزانه محور خروجی رودباد به صورت مایل با جهت جنوب غربی-شمال شرقی به سمت نیمه غربی کشور کشیده شده است و استان کردستان در نیمه چپ محور خروجی رودباد جایی که واگرایی و ناپایداری هوا رخ می‌دهد، قرار دارد.
- مکان شکل‌گیری هسته‌های بیشینه بسامد رخداد رودبادهای طی بارش‌های سنگین فصل خشک و مرطوب مشابه است ولی در مقایسه با رخنمود آن‌ها در فصل مرطوب از شدت و بسامد کمتری برخوردارند و در ترازهای زیر ۵۰۰ هکتوپاسکال مشاهده نمی‌شوند.

کتابنامه

- پروین، نادر؛ ۱۳۹۲. بررسی ارتباط موقعیت مکانی رودبادهای تراز میانی جو و وقوع سیل در حوضه آبریز دریاچه ارومیه. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. شماره ۲۹. صص ۲۵۰-۲۳۵.
- حلبیان، امیرحسین؛ حسینعلی پورجزی، فرشته؛ ۱۳۹۳. تحلیل فراوانی رودبادهای مرتبط با بارش‌های حدی و فراگیر در کرانه‌های غربی خزر. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. شماره ۱۱۲. صص ۲۲۰-۲۰۵.
- غیور، حسنعلی؛ حلبیان، امیرحسین؛ صابری، بیژن؛ حسینعلی پورجزی، فرشته؛ ۱۳۹۱. بررسی رابطه بارش‌های سنگین با الگوهای گردشی جو بالا (مطالعه موردی: استان خراسان جنوبی). مجله مخاطرات محیطی. شماره ۲. صص ۲۷-۱۱.
- فرج‌زاده، منوچهر؛ لشکری، حسن؛ خورانی، اسدالله؛ ۱۳۸۶. تحلیل موقعیت رودباد در رابطه با سامانه‌های بارشی غرب کشور (استان‌های ایلام و کرمانشاه). فصلنامه مدرس علوم انسانی. صص ۲۵۶-۲۴۰.
- مسعودیان، سید ابوالفضل؛ محمدی، بختیار؛ ۱۳۹۰. تحلیل فراوانی رودبادهای مرتبط با رخداد بارش‌های ابرسنگین ایران. تحقیقات منابع آب ایران. شماره ۲. صص ۹۱-۸۰.
- نوری، حمید؛ ایلدرمی، علیرضا؛ ۱۳۹۱. تحلیل شرایط همدید و دینامیک رویدادهای بارشی سنگین سواحل جنوبی خزر در مقایسه با ایران زمین. نشریه جغرافیا برنامه‌ریزی. شماره ۴۱. صص ۲۳۶-۱۹۷.
- Badner, J. Johnson, M.A., 1957. Relationship of tropopause and jet streams to rainfall in southeastern United States, February 4-9, 1957, Monthly weather review, Vol.62,pp. 62-28.
- Bary, R ., 2001. Carelton; Synoptic and dynamic climatology, Routledg.

- Endlich, R.M., 1953. A study of vertical velocities in the vicinity of jet streams, *Journal of meteorology*, No.6, pp.407-415.
- Endlich, R.M., Solot, S.B. Thur, H.A., 1955. The mean vertical structure of the jet stream, *Tellus*, 3, pp. 308-313.
- Farajzadeh, M. Lashkari, H. Khorani, A., 2007. Analysis of jet stream location in relation with rainfall systems in west of Iran (Ilam and Kermanshah Province), *Quarterly of Modares humanity sciences*, 240-256.
- Farajzadeh, M., Lashkari, H. and Khorani, A., 2007. Analysis of jet stream location relate to rainfall systems in west of Iran (Ilam and Kermanshah Provinces), *Modarres humanity Quarterly Journal*, 240-256.
- Fu, Q. Johanson, C.M., 2005. Satellite-derived vertical dependence of tropical troposphere temperature trends. *Geophysics Resarch Letter.*, 32,L10703,doi:10.1029/2004GL022266.
- Fu, Q. Lin, P., 2011. Pole ward shift of subtropical jets inferred from satellite observed lower stratospheric temperature, *American meteorological society*, 24,pp. 5597-5603.
- Halabian, A.M. Hosseinali Pourjazi, F., 2014. Analysis of jet stream frequency accompanied with extreme and extensive precipitations in western parts of Caspian Sea, *Quarterly geographic researches*, 112, 205-220.
- Hu, Y. Y. Fu, Q., 2007. Observed pole ward expansion of the Hadley circulation since 1979. *Atmos. Chem. Phys.*, 7, pp. 5229-5236.
- Hudson, R. D. Andrade, M. F. Follette, M. B. Frolov, A. D., 2006. The total ozone field separated into meteorological regimes. Part II: Northern Hemisphere mid-latitude total ozone trends. *Atmos. Chem. Phys.*, 6,pp. 5183-5191.
- Johnson, D. H. Daniels. S. M., 2006. rainfall in relation to the jet stream, *Journal of the Royal meteorological*, Vol 80, Issue 344, pp.212-217.
- Khayour, H.A. Halabian, A.H. Saberi, B. Hosseinali Jazi, F., 2012, Analysis of relation between extreme precipitations with atmospheric high level patterns (Case study: Southern Khorasan Province), *Journal of Environmental Hazards*,2, 11-27.
- Krishnamurti, T.N., 1961. The subtropical jet stream of winter, *journal of meteorology*, Vol.18, pp.172-191.
- Masoodian, S.A. and Mohammadi, B., 2011. Analysis of Jet Stream Frequencies Associated with Super Heavy Rainfalls of Iran, *Iran-Water Resources Research*, 2, 80-91.
- Masoodian, S.A. Mohammadi, B., 2011. Analysis of Jet Stream Frequencies Associated with Super Heavy Rainfalls of Iran, *Iran-Water Resources Research*, 2, 80-91.
- Namias, J. Clapp, P.F., 1949. Confluence theory of the high tropospheric jet stream. *J. Meteor*, Vol.6,pp. 330-336.
- Newton, Ch. W. Persson, A.V., 1962. Structural characteristics of the subtropical jet stream and certain lower-stratospheric wind systems, *Tellus*, Vol. 2,pp. 221-241.
- Nouri, H. Eldermi, A.R., 2012. Synoptic and Dynamic Analysis of Heavy Rainfall Events in the Southern Coastal Caspian Sea In Comparison With Iran, *Journal of geography and palnning*, 41, 197-236.

- Nyberg, A., 1950. A study of vertical motion and formation of fronts and jet streams. Roy. Meteor. Soc. Cent. Proc, pp. 81-88.
- Parvin, N., 2013. Analysis of relationship between spatial location of jet stream in mid-levels and flood in Urmia basin, Journal of applied geographic researches, 29, 235-250.
- Parvin, N., 2013. Analysis relation between jet streams location in mid level and flood occurrence in Uromieh basin, Geographical Sciences and Applied Research, 29, 235-250.
- Riehl, H. Capt, F.A. Berry, U.S. Maynard. N., 1954. Exploration of the jet stream by aircraft during the winter of 1952-1953. Journal of meteorology, Vol.12, pp.26-35.
- Riehl, H. Alaka, A. Jordan, C.L. Renard, R.J., 1954. The Jet Stream, Meteorological Monographs, American Meteorological Society.
- Riehl, H. Yeh, T.C., 1950. the intensity of the net meridional circulation, Quarter J. r. metoro. Soc., 76, pp. 182-189.
- Rossby, C.G et al., 1974a. On general circulation of the atmosphere in the middle latitude, Bulletin of American meteorological society, 28, pp.255-279.
- Rossby, C.G., 1947b. On the distribution of angular velocity in gaseous envelopes under the influence of large-scale mixing processes, Bull. Amer, Meteor. Soc, Vol. 28, pp. 53-68.
- Seidel, D. J., Randel, W.J., 2007. Recent widening of the tropical belt: Evidence from tropopause observations. J. Geophys. Res., 112, D20113, doi:10.1029/2007JD008861.
- Vasanth, B. Ratnam, M.V. Mohan, K. Kamala, S. Rao, D.N., 2002. characteristics of tropical easterly jet over Gadanki: Comparison with radiosonde and rawinsonde, Indian journal of radio and space physics, Vol.31, pp.130-139.