

## Synoptic-Dynamic Analysis of Moisture Flux Associated with Heavy Rainfall Events in Iran via IDV Software Utilization

(A case study: heavy rains during 25 to 30 February 2016 over Iran)

Azar Jalilian<sup>1</sup>  | Hasan Zolfaghari<sup>2</sup> 

1- Graduated PhD Climatology, Razi University, Kermanshah, Iran

2- Associate Professor Climatology, Razi University, Kermanshah, Iran

### Article Info:

#### Article type:

Research Article

#### history:

**Received:**

2024/2/27

**Received:**

2024/4/8

**Accepted:**

2024/6/6

**Published:**

2024/8/5

### Keywords:

Heavy rainfall, Synoptic-dynamic interpretation, Horizontal atmospheric convergence, Vertical atmospheric velocities, Moisture influx, Integrated Data Viewer (IDV) software

**A**bstract: Heavy precipitation events stand as a crucial climatic threat with the potential to instigate flooding and other related natural calamities. This study endeavors to elucidate the synoptic and dynamic mechanisms driving such rainfall by assessing the interactions and coherence across the entirety of the atmospheric column. The research utilizes data pertaining to geopotential height (in meters), zonal and meridional wind components (m/s), divergence ( $s^{-1}$ ), specific humidity (g/kg), and vertical velocity ( $s^{-1}$ ), spanning from the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) across a geographic expanse of  $0^{\circ}$  to  $80^{\circ}$ E longitude and  $10^{\circ}$  to  $70^{\circ}$ N latitude. Employing the Integrated Data Viewer (IDV) software as an analytical tool, the study visualizes the continuity and interconnection of these atmospheric factors. Analyses indicated that during the period of heavy rains from February 25 to February 30, 2015, an intensified meridional configuration at the 500 hPa level and the cyclonic segment of the subtropical zone played pivotal roles in augmenting atmospheric instability. Concurrently, these conditions fostered an increase in vertical velocities and horizontal convergence between the 500 hPa to 1000 hPa strata. Such a synoptic pattern, by reinforcing atmospheric horizontal convergence and intensifying moisture influx convergence from various bodies of water—including the Mediterranean, Red Sea, Persian Gulf, and Oman Sea—culminated in substantial and widespread precipitation, impacting 68 synoptic stations across Iran.

**Cite this article:** Jalilian, A. Zolfaghari, H. (2024). Synoptic-Dynamic Analysis of Moisture Flux Associated with Heavy Rainfall Events in Iran via IDV Software Utilization. *Climate Change and Climate Disasters*, 3(5), 229-254.

© The Author(s).

**Homepage:** [cccd.znu.ac.ir](http://cccd.znu.ac.ir)

**Publisher:** University of Zanjan





## کاربرد نرم افزار IDV در تحلیل های همدید- دینامیک شار رطوبت بارش های سنگین (مطالعه موردی: بارش سنگین ۲۵ تا ۳۰ بهمن ماه ۱۳۹۵ در ایران)

آذر جلیلیان <sup>۱</sup> | حسن ذوالفقاری <sup>۲</sup>

۱.. دانش آموخته دکتری اقلیم شناسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

۲.. دانشیار اقلیم شناسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

### اطلاعات مقاله:

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ ها:

دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۲۸

بازنگری: ۱۴۰۳/۱/۲۰

پذیرش: ۱۴۰۳/۳/۱۷

انتشار: ۱۴۰۳/۵/۱۵

### واژگان کلیدی:

بارش سنگین، همگرایی افقی، سرعت  
قائم، شار رطوبت، نرم افزار IDV

**چکیده:** بارش سنگین منجر به سیلاب، از جمله بلایای طبیعی است که به عنوان یک مخاطره اقلیمی نیز مطرح می‌باشد. در این پژوهش سعی شده است با تفسیر هم دیدی-دینامیکی این بارش‌ها، ارتباط و پیوستگی مؤلفه‌های جوی در کل ستون قائم اتمسفر نشان داده شود. بنابراین پس از اخذ داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل (بر حسب متر)، مؤلفه های مداری و نصف النهاری باد (متر بر ثانیه)، واگرایی (S-I)، نم و یژه (گرم بر کیلوگرم) و تاوایی (S-I) از مرکز مطالعات میان مدت اروپا (در بازه فضایی ۰ تا ۸۰ درجه طول شرقی و ۱۰ تا ۷۰ درجه عرض شمالی)، تأثیر الگوی سینوپتیکی جو بر دینامیک، پیوستگی و ارتباط این مؤلفه‌ها با استفاده از نرم افزار IDV نمایش داده شده است. نتایج حاصل از ترسیم و تحلیل مؤلفه‌های جوی مؤثر بر بارش نشان می‌دهد که در موج بارش سنگین ۲۵ تا ۳۰ بهمن ماه ۱۳۹۵، الگوی نصف النهاری قوی ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و فعالیت گردش سیکلونی رودباد جنب حاره در منطقه، عوامل مؤثری در تشدید ناپایداری جو بوده‌اند. به نحوی که حاکمیت همزمان آنها منجر به تشدید سرعت-های قائم صعودی و همگرایی افقی در ترازهای ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ هکتوپاسکال شده است. این الگو در نهایت با تقویت همگرایی افقی جو و تشدید همگرایی شار درونسوی رطوبت از منابع متعددی مانند مدیترانه، دریای سرخ، خلیج فارس، دریای عمان و ...، منجر به رخداد بارش سنگین و فراگیر در ۶۸ ایستگاه سینوپتیک در ایران شده است.

**استناد:** جلیلیان، آذر. ذوالفقاری، حسن (۱۴۰۳). کاربرد نرم‌افزار IDV در تحلیل‌های همدید- دینامیک شار رطوبت بارش‌های سنگین. دگرگونی ها و مخاطرات آب و هوا، ۳(۵)، ۲۲۹-۲۵۴.

© نویسندگان .

ناشر: دانشگاه زنجان.

Homepage: [cccd.znu.ac.ir](http://cccd.znu.ac.ir)



## مقدمه

مؤثر می‌باشند. به عبارت دیگر ارزشمندی این مطالعات به دلیل مطالعه تأثیر و ارتباط مستقیم و غیر مستقیم این پدیده بر روی زندگی و فعالیت‌های انسانی است که خود لزوم توجه به این پدیده اقلیمی را توجیه می‌کند (غیور و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۲). از اینرو با توجه به هدف این شاخه از اقلیم‌شناسی در زمینه شناسایی حالت‌های فرین ویژگی‌های محیطی مانند طوفان‌های شدید و بویژه بارش‌های منجر به سیلاب (احمدی و جعفری، ۱۳۹۷: ۸۴)، در این مطالعات به منظور بررسی و شناسایی نحوه رخداد بارش‌های سنگین و سیلاب‌آسا، نه تنها بررسی الگوی گردشی در روز رخداد، بلکه در نظر گرفتن الگوهای گردشی چند روز پیش از رویداد سیلاب نیز الزامی است. این موضوع از یک سو نشان می‌دهد که الگوهای گردشی پیش از رخداد سیلاب به سبب تعیین و فراهم نمودن رطوبت پیشین، نقش مهمی در تعیین شرایط و محتوای رطوبتی و ضریب جریان منطقه ایفا می‌کنند. از سوی دیگر، مبین این نکته است که بررسی سیلاب‌ها و عوامل هواشناختی موجد آن‌ها از طریق ردیابی سامانه‌های همدید باران‌زا از سرچشمه

تغییر بارش‌های حدی و سنگین و افزایش فراوانی رویدادهای حدی مرتبط با آن مانند سیل و خشکسالی، از جمله نتایج گرمایش جهانی است. بر طبق گزارش اخیر برنامه محیطی سازمان ملل، فراوانی وقوع سیل و دیگر وقایع فرین اقلیمی هرساله دو برابر می‌شود و خسارات ناشی از آن در سطح جهان سالیانه ۱۵۰ میلیون دلار افزایش می‌یابد (رحیم‌زاده، ۱۳۸۴: ۸). در واقع بارش‌های سنگین یکی از پدیده‌های خسارت‌بار محیط می‌باشد که در بیشتر مکان‌ها بویژه در مناطق کم‌باران اتفاق می‌افتد (غیور و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۲). علیرغم اینکه این بارش‌ها سهم کمی در تعداد روزهای بارشی ایران دارند، اما منبع اصلی آب کشور محسوب می‌شوند (احمدی و جعفری، ۱۳۹۷: ۸۷). در هر مکانی بارش زمانی اتفاق می‌افتد که هوای مرطوب و عامل صعود وجود داشته باشد که هر دو این شرایط نیز به وسیله الگوهای گردشی جو فراهم می‌شوند (علیجانی، ۱۳۸۵: ۲۰۳). اهمیت مطالعات همدید سامانه‌های بارش‌زا در این است که برای پیش‌یابی و آمادگی برای رویارویی با این بارش‌ها

تا محل پایان فعالیت الزامی است. به عبارت دیگر، شناسایی الگوهای پدید-آورنده سیلاب نه تنها سازوکار پیدایش آنها را آشکار می‌سازد، بلکه برای پیش‌آگاهی و آمادگی رویاروشدن با آنها نیز مفید است (غیور و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۲۲). در حالیکه در آب‌وهواشناسی پویشی (دینامیکی) توجیه و تفسیر ساختار حرکات اتمسفری با استفاده از قوانین فیزیکی حاکم بر حرکت، مد نظر است. زیرا در این شاخه از اقلیم‌شناسی، تغییر در اندازه نیروهای گرادیان فشار، گرانش و همچنین نیروی تنشی منجر به تشکیل سامانه‌های همدیدی متفاوت و در نتیجه رخداد پدیده‌ها، بی‌نظمی و بی‌هنجاری اقلیمی می‌گردد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۱: ۸). بنابراین هدف غایی مطالعات همدیدی-دینامیکی، تبیین اندرکنش‌های کلیدی میان جو و محیط سطحی به منظور کشف نحوه فعالیت الگوهای جویِ موجد بارش‌های سنگین است، از اینرو تا کنون مطالعات متعددی در زمینه بارش‌های سنگین با روش‌های مختلف آماری، سینوپتیکی و دینامیکی در سطح جهان و ایران انجام گرفته است.

جانسا و همکاران (۲۰۰۱) با مطالعه تأثیر چرخندهای غرب مدیترانه بر روی ۹۴۸ رخداد بارش سنگین بیش از ۶۰ میلی‌متر و ۲۵۹ بارش ابرسنگین بیش از ۱۰۰ میلی‌متر (۱۹۹۲ تا ۱۹۹۶) در غرب مدیترانه با رویکرد آماری به این نتیجه رسیده‌اند که در ۹۰ درصد موارد، مراکز چرخندی در مجاورت و همسایگی محل وقوع بارش‌های سنگین غرب مدیترانه واق شده است. در واقع در این بارش‌ها، مراکز چرخندی در موقعیتی قرار داشته‌اند که با برقراری جریان هوای مدیترانه به سوی محل وقوع بارش سنگین باعث تقویت آنها شده‌اند. لانا (۲۰۰۷) با بررسی الگوهای جوی به وجود آورنده بارش‌های سنگین جزایر بالریک واقع در شرق اسپانیا در مجموع ۱۵۷ روز بارش بیش از ۶۰ میلی‌متر را بررسی نمودند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که تقریباً ۸۷ درصد بارش‌های سنگین زمانی رخ داده است که یک مرکز چرخندی در شعاع ۶۰۰ کیلومتری جزیره فعال بوده است. بارش در ایران یکی از متغیرهای اساسی برای ارزیابی مهبیایی بالقوه منابع آب است؛ اما توزیع

زمانی و مکانی آن بسیار ناموزون بوده که از یک سو به طبیعت رفتار مکانی بارش و از سوی دیگر به تنوع منشأ بارش در نقاط مختلف این سرزمین باز می گردد (مسعودیان، ۱۳۹۰: ۱۲۱). از اینرو مطالعات متعددی در زمینه بارش- های سنگین در ایران نیز انجام گرفته است. لشکری (۱۳۸۲) با بررسی کم- فشار سودانی و نقش آن در بارش های جنوب و جنوب غرب ایران مشخص نمود که این سامانه به عنوان یکی از عناصر سازنده گردش عمومی جو در شمال آفریقا است و در بیشتر ایام سال در غرب اسیوی و کشور سودان تشکیل می شود. همچنین چهار الگوی کلی ناشی از نحوه آرایش سامانه های سیبری، و اچرخند شمال آفریقا و شبه- جزیره عربستان و ناوه شمال آفریقا و کم فشار سودان در ترازهای زیرین و میانی جو، منجر به رخداد بارش های سنگین در جنوب و جنوب غرب ایران می شوند. مفیدی (۱۳۸۴) با بررسی نقش اصلی تأثیر سامانه های کم فشار سودانی در وقوع بارش های سنگین و سیل آسا در ایران را از نظر هم دیدی، گسترش تاوه قطبی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را منبع اصلی تاوایی برای

پیدایش الگوی گردش ناهنجار و تقویت سلول هدلی یا رودباد جنب حاره در مدیترانه و شمال آفریقا می داند. عساکره (۱۳۹۱) با بررسی رفتار زمانی بارش با استفاده از ۲۶ نمایه فرین از بارش های روزانه شهر زنجان طی دوره آماری ۱۹۶۱-۲۰۰۶ با استفاده از تکنیک های آماری چند متغیره و تکنیک تحلیل مؤلفه مبناء، به این نتیجه رسید که ۶ مؤلفه از ۲۶ نمایه، حدود ۸۶/۴ درصد تغییرات بارشی را تبیین می کنند. نتایج مطالعه مشکواتی و همکاران (۱۳۹۳) در زمینه ساختار گردش جو در طی رخداد بارش سنگین ۲۱ دسامبر ۱۹۹۲ در ایستگاه شیراز، نشان می دهد که نفوذ سامانه کم فشار از منطقه دریای سرخ و عربستان در سطوح میانی جو و فعالیت همزمان ناوه و رودباد جنب حاره با ایجاد واگرایی نقش مهمی در توسعه ناپایداری های جوی داشته اند. نتایج مطالعه احمدی و جعفری (۱۳۹۴) نشان می دهد که گسترش کم فشار پاکستان- خلیج فارس از روی سرزمین عربستان، ناوه عمیق شرق مدیترانه و استقرار دو رودباد ادغام شده جنب حاره- جبهه قطبی در نیمه شرقی این ناوه، موجب واگرایی جریان هوای

ناپایدار و بروز بارش سیل‌آسای ۲۳ فروردین ۱۳۹۴ در استان قزوین شده است. بطور کلی درک قانونمندی‌های زمین‌نیازمند شناخت مؤلفه‌های مؤثر بر این سامانه است (مفیدی و زرین، ۲۰۰۵) و یکی از مؤلفه‌های مؤثر بر اقلیم زمین، حرکات اتمسفری آن می‌باشد. زیرا بر اساس اصل پیوستگی، تمام تغییرات آب‌وهوایی سطح زمین از طریق حرکات عمودی اتمسفر کنترل می‌شود و از اینرو بررسی این حرکات از طریق بررسی الگوهای همدید جو امکان‌پذیر است (عساکره و همکاران، ۱۳۹۴: ۵۷). همچنین سعید آبادی و همکاران (۱۳۹۴) با بررسی تأثیر رودباد جبهه قطبی بر شار رطوبت، استقرار ناحیه چپ خروجی هسته رودبادها (منطقه واگرایی بالایی) در منطقه را عامل مؤثری بر تشدید صعود هوا در ترازهای ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ هکتوپاسکال و تقویت همگرایی شار رطوبت و رخداد بارش سنگین می‌دانند. علیرغم اینکه در پژوهش‌های فوق وضعیت مؤلفه‌های جو در هنگام رخداد بارش سنگین بررسی شده است، اما تغییرات این مؤلفه‌ها در ترازهای مختلف و به‌صورت نقشه‌های دو بعدی نمایش داده شده است. از اینرو

در پژوهش حاضر سعی بر این است که علاوه بر تفسیر همدیدی-دینامیکی موج بارش سنگین ۱۳ تا ۱۸ فوریه ۲۰۱۷، با کاربرد نرم افزار IDV تأثیر الگوهای سینوپتیک جو بر دینامیک و پویایی مؤلفه‌های جوی (تغییرات مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری باد بیش از ۳۰ متر بر ثانیه (رودبادها)، واگرایی افقی، سرعت قائم جو و مخصوصاً شار رطوبت) بصورت سه‌بعدی (طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ترازهای مختلف جو) با تأکید بر روز اوج بارش در این سامانه (۱۷ فوریه ۲۰۱۷) نمایش داده شود

## ۱. داده‌ها و روش‌ها

### ۱.۱. داده‌ها

هدف پژوهش حاضر بررسی تأثیر الگوهای سینوپتیکی جو بر دینامیک مؤلفه‌های جوی منجر به رخداد موج بارش سنگین ۲۵ تا ۳۰ بهمن ماه ۱۳۹۵ (۱۳ تا ۱۸ فوریه ۲۰۱۷) است. به همین جهت با استفاده از اقلیم‌شناسی پویایی - همدیدی (بررسی رابطه میان گردش‌های جوی با محیط سطحی در یک منطقه) از دو دسته داده جهت تحلیل الگوهای

نصف النهاری ۳ باد (متر بر ثانیه)، واگرایی<sup>۴</sup>(S-1)، نم ویژه ۵ (گرم بر کیلوگرم) و تاوایی<sup>۶</sup> (S-1) از مرکز مطالعات میان مدت اروپا ECMWF در ساعت ۰۰:۰۰ گرینویچ در بازه فضایی ۰ تا ۸۰ درجه شرقی و ۱۰ تا ۷۰ درجه شمالی به منظور ردیابی الگوهای گردشی مؤثر بر این موج بارشی با تفکیک مکانی ۲\*۲ درجه قوسی اخذ شده است. پس از ترسیم نقشه های فشار تراز دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل، الگوی جریان رودباد و فرارفت رطوب در نرم افزار Grads، به منظور تبیین رابطه میان الگوهای گردشی مؤثر بر بارش ها از روش محیطی به گردشی برای نگاشت و تحلیل همدید این موج بارشی استفاده شده است. به همین جهت پس از بررسی الگوهای گردشی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال به عنوان تراز میانی جو که علاوه بر تأثیر بر آرایش فشار سطحی، نقش تعیین کننده ای در تغییرات نهاده های اصلی اقلیمی (دما و بارش) ایفا می کند (حلبیان و همکاران، ۱۳۹۴)، الگوی سینوپتیکی مؤثر بر رخداد این بارش سنگین و فراگیر نیز

گردشی مؤثر بر رخداد این بارش ها استفاده شده است که شامل داده های بارش روزانه ایستگاه های سینوپتیک و داده های سطوح فوقانی جو می باشند.

## ۲-۱. روش ها

به این منظور بارش سنگین با استفاده از شاخص پایه "صدک" (یکی از روش های رایج در تعیین بارش سنگین) تعیین شده است. این شاخص عمدتاً برای تعیین تعداد روزهای بارش شدید، خیلی شدید و حدی کاربرد دارد و بر اساس چندک های یک توزیع (دهک یا صدک) یک تقسیم بندی کلی در زمینه یک عنصر اقلیمی خاص ارائه می دهد. برای مثال در یک مجموعه مشاهدات می توان خشکسالی ها، ترسالی ها، بارش های سیلابی، سال سرد، سال گرم و ... را با استفاده از این شاخص برآورد نمود (خورشید دوست و همکاران، ۱۳۹۵: ۶۰). در این پژوهش نیز به منظور شناسایی روزهای بارش سنگین از صدک ۹۵ام استفاده شده است. در مرحله بعد داده های ارتفاع ژئوپتانسیل ۱ (بر حسب متر)، مؤلفه های مداری ۲ و

4. Con
5. Shum
6. Vor

1. Hgt
2. Uwnd
3. Vwnd

بسیاری برخوردار است (قویدل رحیمی، ۱۳۸۹، ۱۷۷-۱۷۸). بنابراین در پژوهش حاضر تأثیر الگوهای سینوپتیک بر دینامیک مؤلفه‌های جو با تأکید بر شار رطوبت مورد بررسی قرار گرفته است.

بطور کلی معادله تابع همگرایی جریان رطوبت بر اساس اصل تداوم بخار آب در سیستم مختصات فشار (رابطه ۱) نوشته می‌شود (باناکوس و شولتز، ۲۰۰۵: ۳۲۵).

$$1) \left( S = \frac{dq}{dt} \right)$$

در اینجا:

$$\frac{d}{dt} = \frac{\sigma}{\sigma t} + u \frac{\sigma}{\sigma x} + v \frac{\sigma}{\sigma y} + \omega \frac{\sigma}{\sigma p} q$$

معرف مؤلفه‌های سه بعدی  $u, v, \omega$  استاندارد باد برداری در سیستم  $S$  رطوبت (نم) ویژه،  $Q$  مختصات فشار، ذخیره بخار آب (تفاوت میان منابع موجود و فقدان بخار آب بسته هوای در به‌طور  $S$  حال سیلان) هستند. در اینجا، محاسبه می‌شود که در  $E-C$  ویژه از را می‌توان نسبت تبخیر درون  $E$  آن را نسبت چگالیدگی  $C$  بسته هوا و (تراکم) بسته هوا فرض نمود. در مطالعاتی که از معادله فوق استفاده شده است، فرض بر این بوده است که آب

شناسایی شده است. در واقع پس از استخراج تاریخ‌های وقوع بارش سنگین در منطقه و مطابقت آنها با الگوهای گردشی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، تأثیر این الگوها بر رخداد بارش سنگین تعیین شده است. در مرحله بعد، پس از انجام تحلیل‌های دینامیکی با استفاده از محاسبه ضخامت جو، توابع جبهه‌زایی و همگرایی شار رطوبت در ترازهای ۵۰۰-۱۰۰۰ هکتوپاسکال (با استفاده از داده‌های ECMWF) و ترسیم الگوهای حاکم بر بارش، شرایط همدید بارش سنگین در منطقه مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس عملکرد نظام‌مند جو، تأثیر الگوهای سینوپتیک بر تغییر مؤلفه‌های جو (واگرایی، سرعت قائم و ...) (عساکره و همکاران، ۱۳۹۴: ۶۵) ممکن است باعث افزایش میزان شار رطوبت مورد نیاز برای رخداد بارش سنگین شود (وینترز و مارتین، ۲۰۱۴: ۹۷۱). از اینرو معادلات مربوط به شار رطوبت در تحلیل‌های دینامیک و سینوپتیک و همچنین مطالعات هیدروکلیماتولوژیک (بارش‌های سنگین و فوق‌سنگین)، بویژه شناخت منابع تأمین رطوبت این بارش‌ها از اهمیت

هوای در حال حرکت محاسبه می شود. در معادله اخیر  $(\sigma/\sigma_x)+jz$  و  $\nabla=i(\sigma/\sigma_y)$  و  $Vh=(u,v)$  هستند و بیلان رطوبتی بسته هوا که مشتمل بر مقدار محلی تغییر  $q$ ، واگرایی افقی جریان رطوبت جو، واگرایی عمودی جریان رطوبت جو و تغییرات ذخیره بخار آب می شود را به وضوح نشان می دهند. معادله مذکور را می توان به صورت معادله برداری و تحت عنوان همگرایی افقی جریان رطوبت جو (که غالباً در واحدهای پیش بینی از آن تحت عنوان ساده شده همگرایی رطوبت جو یاد می شود) به صورت معادله زیر (رابطه ۵) تبدیل نمود:

$$MFC = -\nabla \cdot (qvh) = -vh \cdot \nabla q - q \nabla \cdot vh \quad (5)$$

جمله همگرایی -  
جمله فرارفت =  
به عبارت دیگر در اینجا می توان نوشت  
(رابطه ۶):

$$MFC = -u \frac{\partial q}{\partial x} - v \frac{\partial q}{\partial y} - q \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) \quad (6)$$

که در معادله فوق، جمله  
- $u \frac{\partial q}{\partial x} - v \frac{\partial q}{\partial y}$  - معرف جمله فرارفت یا

حاصل از چگالش در همان لحظه به فرو خواهد ریخت.  $P$  صورت بارش یا لذا بر اساس رابطه ۲ خواهیم داشت:  
 $(2) S = E - p$

علاوه بر این، استفاده از معادله پیوستگی جرم به ما اجازه می دهد که معادله ۳ را:

$$\sigma u / \sigma_x + \sigma v / \sigma_y + \sigma w / \sigma_p = 0 \quad (3)$$

تحت عنوان معادله جریانی که پیوستگی کل رطوبت موجود در جرم جو را با تأثیر اضافه کردن صفر به دو طرف معادله تضمین می کند، بسط داده و باز نویسی نماییم (رابطه ۴) که به شرح زیر خواهد بود:

$$\frac{\partial q}{\partial t} + u \frac{\partial q}{\partial x} + v \frac{\partial q}{\partial y} + w \frac{\partial q}{\partial p} + q \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial p} \right) = E - P \cdot \frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (qu) + \frac{\partial}{\partial y} (qv) + \frac{\partial}{\partial p} (qw) = E - P \cdot (4)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \nabla \cdot (qvh) + \frac{\partial}{\partial p} (qw) = E - P \cdot$$

در این عبارت از مقدار محلی تغییر  $q$ ،  $\nabla \cdot (qvh)$  همگرایی افقی جریان رطوبت،  $\sigma/\sigma_p(qw)$  همگرایی عمودی جریان رطوبت جو و  $E-P$  ذخیره بخار آب است که از تفاوت بین منابع موجود و فقدان بخار بسته

آرشیو جوی را فراهم می‌آورد. همچنین دارای ویژگی‌هایی است که کاربران را قادر می‌سازد تا به راحتی محصولات تجزیه و تحلیل خود را با دیگران به اشتراک بگذارند. این نرم افزار قابلیت نصب بر روی پلتفرم‌های ویندوز، مکینتاش و لینوکس را دارد و مهم‌ترین ویژگی‌های آن عبارتند از:

- نمایش مؤلفه‌های جوی به صورت ۲ بُعدی و ۳ بُعدی
- کاوش در مجموعه داده‌های علوم جوی
- بازخوانی پارامترهای اتمسفر
- تهیه و ترسیم پروفایل‌های قائم جو به منظور ارائه درک بهتر در زمینه نحوه ارتباط آنها با یکدیگر در کل ستون قائم اتمسفر
- دارای مجموعه‌ای غنی از قابلیت‌های تجزیه و تحلیل داده‌ها
- تولید تعاملی و مبتنی بر اسکریپت‌نویسی محصولات متعدد جوی
- دسترسی به داده‌های متعدد جو و ذخیره آنها.

## ۲. یافته و نتایج

انتقال افقی رطوبت ویژه جو و جمله -  $q(\frac{\sigma_u}{\sigma_x} + \frac{\sigma_v}{\sigma_y})$  نشانگر همگرایی رطوبت ویژه جو بوده و حاصل ضرب رطوبت ویژه در همگرایی حجم جرم را بیان می‌کند (باناکوس و شولتز، ۲۰۰۵: ۳۲۵).

در نهایت به منظور نمایش ۳ بُعدی مؤلفه‌های جوی مؤثر بر رخداد بارش سنگین منجر به سیلاب، از نرم‌افزار IDV ۱ استفاده شده است. IDV یک ابزار تجسم و تجزیه و تحلیل سه بُعدی علوم زمین است که امکان مشاهده مجموعه‌ای غنی از داده‌های علوم زمین را به صورت یکپارچه برای کاربران فراهم می‌کند. این نرم‌افزار همچنین توانایی نمایش و تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های شبکه‌بندی شده (مانند خروجی‌های مدل پیش‌بینی عددی آب‌وهوا)، مشاهدات سطحی (METARs)، داده‌های رادار NWS NEXRAD در سطوح مختلف و ... را دارد.

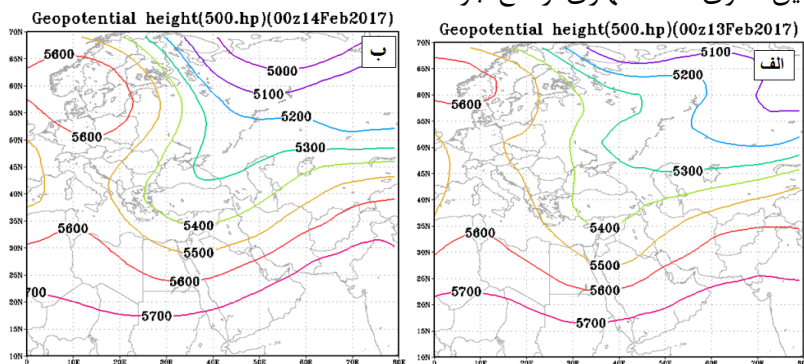
بطور کلی IDV از طریق ادغام با سرورهای داده‌های علمی رایج مانند TDS Unidata، قابلیت دسترسی آسان به بسیاری از مجموعه داده‌های

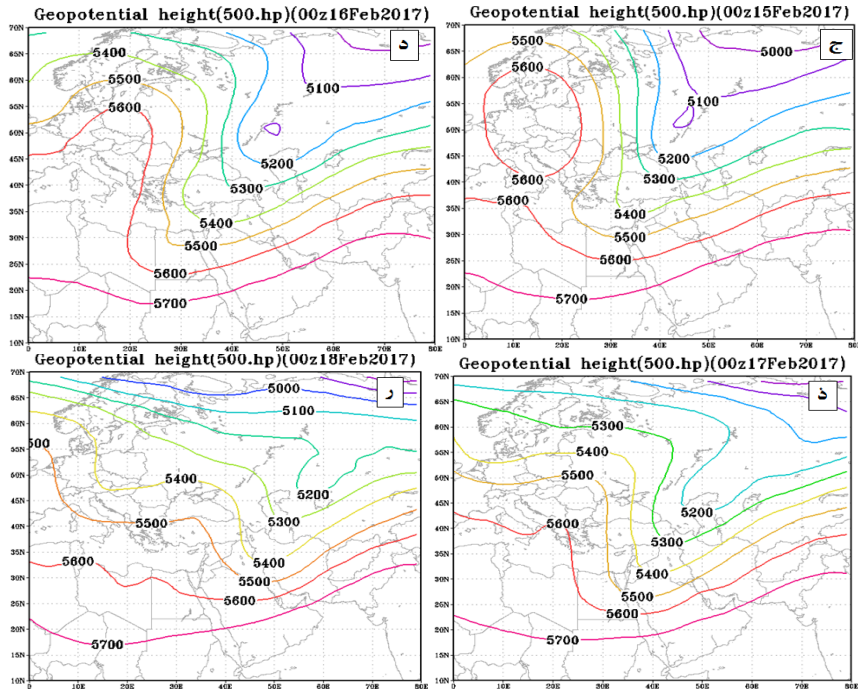
### الگوی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

جو

نتایج حاصل از بررسی الگوی ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در روز آغاز موج بارش سنگین (۲۵ بهمن ۱۳۹۵: ۱۳ فوریه ۲۰۱۷، شکل ۱-الف) حاکمیت ناوۀ قوی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و استقرار محور شمالی-جنوبی این ناوه را در دریای سرخ نشان می‌دهد که قرارگیری نیمۀ غربی ایران در مجاورت بخش شرقی این ناوه، شرایط صعود و ناپایداری جو را فراهم نموده است. آرایش این الگو در روز ۲۶ بهمن (۱۴ فوریه) نیز (شکل ۱.ب) در جو تداوم داشته است. اما در ۲۷ بهمن (۱۵ فوریه (شکل ۱.ج) عمق ناوۀ این تراز و همچنین الگوی نصف‌النهاری ارتفاع جو

تقویت شده است که این امر به علت تشکیل هستۀ پر ارتفاع ۵۶۰۰ متری در شمال اروپا (۵۰ تا ۶۵ درجه عرض شمالی) رخ داده است. بطوریکه در این روز ایران بطور کامل در جلوی بخش شرقی محور این ناوۀ عمیق قرار گرفته است. نکته قابل توجه در این موج بارش پیشروی شرق سوی ناوۀ تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و جهت‌گیری شمال-شرقی- جنوب‌غربی محور این ناوه در ۲۸ و ۲۹ بهمن (۱۶ و ۱۷ فوریه) است که بارخداد اوج بارش در ۲۹ بهمن (۱۷ فوریه) مطابقت دارد (شکل‌های ۱.د،ذ). اما در ۳۰ بهمن (۱۸ فوریه) (شکل ۱.ر) همزمان با تضعیف الگوی نصف‌النهاری ارتفاع جو، موج بارش نیز کاملاً تضعیف شده است.





شکل ۱: ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در موج بارش سنگین ۱۳ تا ۱۸ فوریه ۲۰۱۷ بطور کلی الگوهای گردشی جو در این موج بارشی تأثیر ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را بر ناپایداری و صعود جو نشان می‌دهند. علاوه بر این حداکثر عمق محور ناوه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در ۱۷ فوریه نیز تأثیر تشدید عمق ناوه این تراز را بر رخداد بارش سنگین و

فراگیر در این روز (۶۸ ایستگاه، جدول ۱) را نشان می‌دهد. از اینرو شرایط گردشی جو در روز بارش سنگین و فراگیر در ۱۷ فوریه ۲۰۱۷ به منظور ارائه تحلیل‌های دینامیکی و سینوپتیکی بررسی می‌شود.

جدول ۱: ایستگاه‌های رخداد بارش سنگین در ۲۹ بهمن ۱۳۹۵ (۱۷ فوریه ۲۰۱۷)

ردیف ایستگاه	بارش بر حسب میلی‌متر	حسب ردیف ایستگاه	بارش بر حسب میلی‌متر
۱ آباده	۲/۱	۳۵ خرم آباد	۰/۲
۲ جزیره ابوموسی	۲	۳۶ خور و بیابانک	۱۰/۰۱
۳ اهر	۳/۴۱	۳۷ جزیره کیش	۱۶
۴ اهواز	۰/۲	۳۸ کوهرنگ	۷/۸

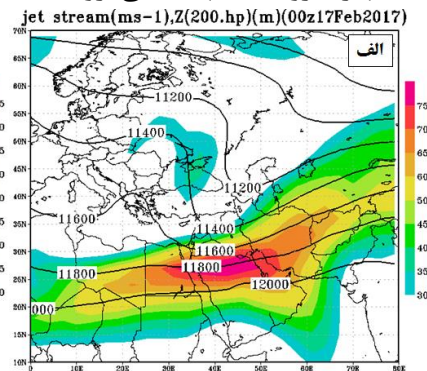
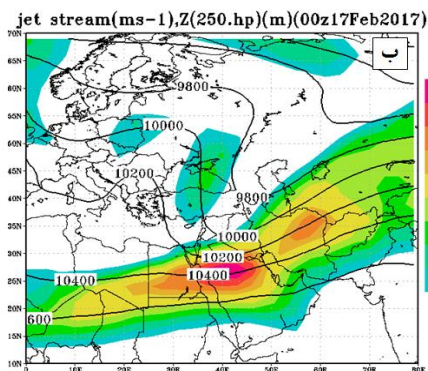
۵	الیگودرز	۰/۶۱	۳۹	لار	۵۳
۶	انار	۱۱	۴۰	مهاباد	۸
۷	اردبیل	۱۰	۴۱	مراغه	۴/۳۱
۸	آستارا	۲۶/۱	۴۲	مشهد	۴۷/۲
۹	بابلسر	۸/۵	۴۳	مسجد سلیمان	۴
۱۰	بافت	۲۴	۴۴	میناب	۸/۸۱
۱۱	بندرعباس	۱۱/۴	۴۵	نوشهر	۱۹/۰۱
۱۲	بندر انزلی	۳۹	۴۶	ارومیه	۰/۵۱
۱۳	بندر لنگه	۲۱/۱	۴۷	پارس آباد	۳
۱۴	بیجار	۰/۴۱	۴۸	پیرانشهر	۱۰/۴
۱۵	بیرجند	۶	۴۹	قائن	۳۱/۸
۱۶	بجنورد	۲/۰۱	۵۰	قوچان	۳۱
۱۷	بروجن	۱	۵۱	رامهرمز	۰/۱
۱۸	بوشهر (فرودگاه)	۲۷	۵۲	رامسر	۵/۰۱
۱۹	بوشهر (ایستگاه ساحلی)	۱۸	۵۳	رشت	۷۲
۲۰	درودزن	۷۶	۵۴	روانسر	۲/۲
۲۱	اسلام آباد غرب	۵/۴	۵۵	سبزوار	۹/۶
۲۲	فسا	۷۳	۵۶	سنندج	۰/۲۲
۲۳	فردوس	۱۲	۵۷	سقز	۴/۲
۲۴	گناباد	۵/۴	۵۸	سراب	۰/۶۱
۲۵	گرگان	۱/۲	۵۹	سرخس	۲۷
۲۶	همدان (فرودگاه)	۰/۹	۶۰	سردشت	۹
۲۷	ایلام	۲/۹	۶۱	سرپل ذهاب	۴/۷
۲۸	جام	۱۸۶	۶۲	شهریابک	۳۱
۲۹	جاسک	۰/۱	۶۳	شهر کرد	۱/۳۱
۳۰	کهنوج	۱۹	۶۴	شیراز	۶۹/۲
۳۱	کاشان	۰/۸	۶۵	سیرجان	۲۳/۴
۳۲	کرمان	۲/۹	۶۶	طبس	۱/۲
۳۳	کرمانشاه	۰/۳	۶۷	تبریز	۰/۸۱
۳۴	خلخال	۲/۲	۶۸	تکاب	۰/۶

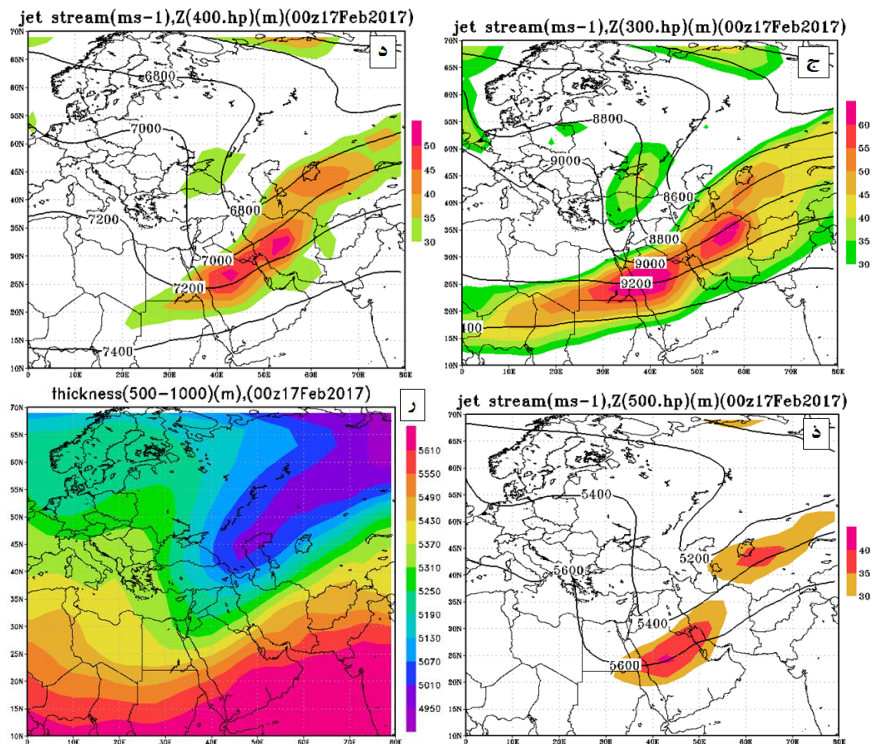
الگوی رودبادهای جنب‌حاره (STJ) و جبهه قطبی (PJF) ( ترازهای ۲۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال)

تحلیل سینوپتیکی-دینامیکی رخداد بارش سنگین و فراگیر در ۱۷ فوریه ۲۰۱۷

بررسی الگوی ارتفاع ژئوپتانسیل و موقعیت رودبادها در این روز تأثیر الگوی ارتفاع جو در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال بر حرکت جنوبسوی هسته رودباد جبهه قطبی و همچنین استقرار هسته قوی رودباد جنب‌حاره با الگوی تقریباً مداری در شمال دریای سرخ و خلیج فارس را نشان می‌دهد (شکل ۲. الف). در این الگو علاوه بر استقرار کم‌ارتفاع عمیق این تراز در شرق مدیترانه و شمال‌غرب ایران، حاکمیت پشته‌ای قوی در ۴۰ تا ۸۰ درجه شرقی نیز دیده می‌شود که شرق ایران را متأثر نموده است. بطوریکه در ترازهای ۲۵۰ و ۳۰۰ هکتوپاسکال، همزمان با عمیق شدن محور ناوه این ترازها، علاوه بر تشدید الگوی نصف‌النهاری رودباد جبهه قطبی، رودباد

جنب‌حاره نیز با الگوی نصف‌النهاری در جنوب‌غرب ایران مستقر شده است (شکل ۲. ب، ج). نکته جالب توجه در این الگوها گسترش هسته رودباد جنب‌حاره تا تراز ۴۰۰ هکتوپاسکال است (شکل ۲. د، ذ) که این امر به علت حضور پشته قوی جنب‌حاره و رودباد مرتبط با آن در حوالی ۲۰ تا ۲۵ درجه شمالی در ماه فوریه منطقی به نظر می‌رسد. این شرایط باعث فرارفت دمای سرد از عرض‌های شمالی و فرارفت هوای گرم عرض‌های جنوبی و تقابل این دماهای سرد و گرم در نقشه ضخامت این روز (شکل ۲. ر) شده است که نشان دهنده تأثیر الگوی نصف‌النهاری قوی جو بر تشدید شرایط کژ فشار و ناپایداری شدید جو است.



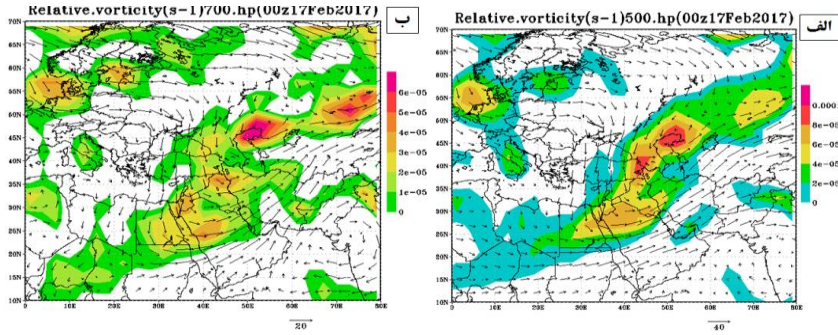


شکل ۲: الگوی ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل جو و موقعیت رودبادهای جنب‌حاره و جبهه قطبی؛ تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال، (ب) تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال، (ج) تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال، (د) تراز ۴۰۰ هکتوپاسکال، (ز) تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال؛ (ر) ضخامت جو (ترازهای ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ هکتوپاسکال)، (۲۹ بهمن ۱۳۹۵: ۱۷ فوریه ۲۰۱۷).

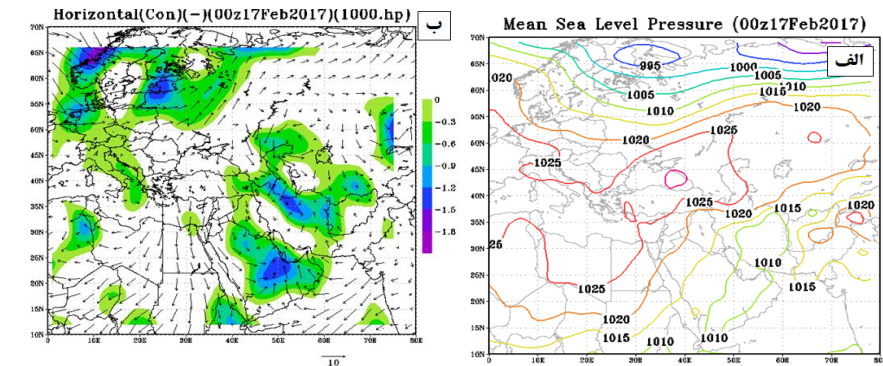
۵۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال در شرق محور ناوه‌های عمیق جو در این ترازها استقرار یافته است (شکل ۳. الف و ب). در واقع گسترش فرارفت تاوایی مثبت در این روز تأثیر آرایش توپوگرافی ارتفاع ژئوپتانسیل جو را در جریان باد و فرارفت تاوایی نشان می‌دهد که بطور کلی حاکی از شرایط مساعد جوی برای رخداد بارش سنگین است.

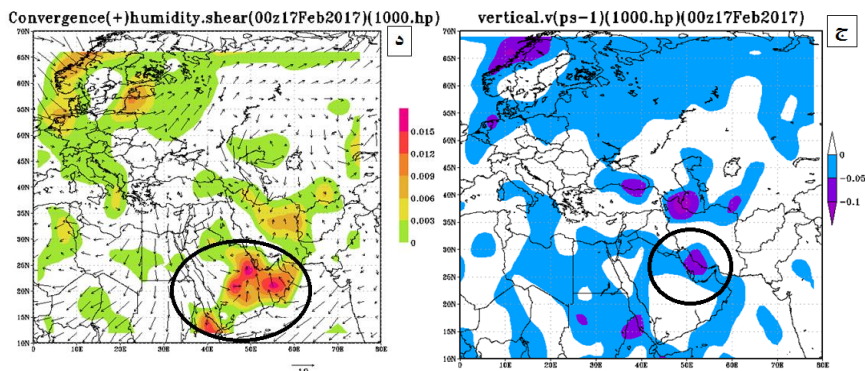
### فرارفت تاوایی نسبی

نتایج حاصل از بررسی ناوه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در ۱۷ فوریه، نشان دهنده تأثیر الگوی شدید نصف‌النهاری این تراز بر حداکثر فرارفت مثبت تاوایی نسبی در منطقه رخداد بارش سنگین است. بطوریکه حداکثر فرارفت تاوایی نسبی به تبعیت از محور ناوه ترازهای



شکل ۳. فرارفت تاوایی نسبی، الف) تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، ب) تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (۲۹ بهمن ۱۳۹۵: ۱۷ فوریه ۲۰۱۷). میانگین فشار تراز دریا، همگرایی افقی، سرعت قائم جو و همگرایی شار رطوبت (۱۷ فوریه ۲۰۱۷) در این روز مطابق با استقرار بخش شرقی ناوهای ترازهای ۲۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال در مجاورت ایران (شکل ۲ : الف، ب، ج، د، ذ)، هسته کم فشار ۱۰۱۰ میلی بار نیز بخش های گسترده- ای از جنوب غرب تا شمال شرق کشور را تحت نفوذ خود درآورده است (شکل ۴، الف). فعالیت این هسته کم فشار در تراز دریا باعث تشدید همگرایی افقی جو





شکل ۴: الف) میانگین فشار تراز دریا، ب) همگرایی افقی جو، ج) سرعت قائم جو، د) همگرایی شار رطوبت (۱۷ فوریه ۲۰۱۷، تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال)، (۲۹ بهمن ۱۳۹۵: ۱۷ فوریه ۲۰۱۷).

برون حاره را در رخداد پدیده‌های مختلف اقلیمی و بارش‌های سنگین فراهم نموده است. علیرغم اینکه رودباد جبهه قطبی به علت نزدیک‌تر بودن به سطح زمین نقش مهم‌تری در تشکیل هدایت سیکلون‌های برون حاره و ایجاد ناپایداری، صعود هوا و رخداد بارش سنگین دارد، اما در این الگوی بارشی، استقرار گردش سیکلونی رودباد جنب-حاره (STJ) در منطقه مورد مطالعه توانسته است با تشدید مؤلفه‌های جو (همگرایی و واگرایی افقی، سرعت‌های قائم و ...) بر همگرایی شار رطوبت و رخداد موج بارش سنگین ۲۵ تا ۳۰ بهمن‌ماه ۱۳۹۵ تأثیر گذار باشد. به منظور آشکارسازی پیوستگی و ارتباط مؤلفه‌های جوی در ترازهای مختلف، ارتباط این مؤلفه‌ها با یکدیگر در کل ستون قائم اتمسفر ترسیم شده است.

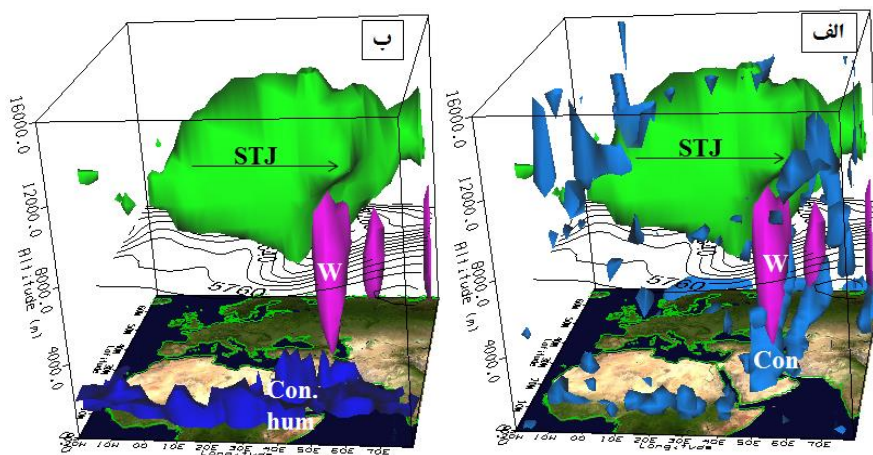
بطور کلی در این الگو نحوه استقرار و فعالیت منطقه گردش سیکلونی و همگرایی پایینی رودباد جنب‌حاره در جنوب‌غرب ایران (شکل ۲: ج، د، ذ) باعث تقویت همگرایی افقی (شکل ۴: ب) و تشدید سرعت قائم بالاسوی جو (شکل ۴: ج) در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال شده است. در این الگو، تشدید حرکات قائم بالاسو و همگرایی افقی جو تا تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز امتداد یافته است که در نهایت موجب تقویت ناپایداری شدید در جو شده است.

ترسیم و بررسی مؤلفه‌های جو با استفاده از نرم‌افزار IDV در ۱۷ فوریه ۲۰۱۷

بطور کلی استقرار کشور ایران در عرض‌های متوسط جغرافیایی، زمینه تأثیر الگوهای گردشی مناطق حاره و

نتایج حاصل از محاسبه مقادیر این مؤلفه‌ها در ترازهای ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ هکتوپاسکال در نرم افزار IDV نشان دهنده تأثیر الگوی نصف‌النهاری ارتفاع ژئوپتانسیل جو (تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال) بر حاکمیت منطقه گردش سیکلونی رودباد قوی جنب‌حاره در جنوب‌غرب ایران است. همانطور که در این الگوی شبیه‌سازی شده دیده می‌شود، استقرار ناوه فوقانی اتمسفر با محور شمال‌شرقی - جنوب‌غربی شرایط مناسبی را برای حاکمیت منطقه گردش سیکلونی این رودباد و گسترش و نفوذ آن تا تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در ۲۹ بهمن ۱۳۹۵ فراهم نموده است. با توجه به اینکه هوایی که در درون یک ناوه ۱، جریان دارد به گردش سیکلونی (پاد ساعتگرد) تمایل دارد، تاوایی نسبی نیز افزایش یافته است (آرنس، ۲۰۱۹: ۴۱۹) و در مجموع، این شرایط منجر به تقویت همگرایی پایینی این رودباد و تشدید سرعت قائم صعودی (مناطق

بنفش‌رنگ در شکل ۵: الف و ب) از ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال و تقویت همگرایی افقی جو (مناطق آبی‌رنگ در شکل ۵: الف) و در نهایت تقویت، گستردگی و تشدید فرارفت درونسوی رطوبت یا همگرایی شار رطوبت از منابع متعدد رطوبتی (مدیترانه، دریای سرخ، خلیج فارس و دریای عمان و ... (مناطق آبی‌رنگ در شکل ۵: ب)) شده است. در واقع، حاکمیت و فعالیت محور شمال‌شرقی - جنوب‌غربی ناوه عمیق تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و منطقه گردش سیکلونی رودباد جنب‌حاره منجر به فراهم آمدن شرایط مناسبی جهت ناپایداری و صعود قوی در جو (W) و همگرایی شار رطوبت (Con hum) در ترازهای ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ هکتوپاسکال شده است. بنابراین می‌توان گفت که تأثیر الگوی گردش جو در فعال شدن همزمان این مؤلفه‌ها شرایط مناسبی را جهت رخداد بارش سنگین و سیل آسا در ۲۹ بهمن ۱۳۹۵ فراهم نموده است.



شکل ۵: الگوی شبیه سازی شده متغیرهای جوی مؤثر در بارش سنگین ۲۹ بهمن ۱۳۹۵ (۱۷ فوریه ۲۰۱۷)، STJ (رودباد جنب حاره)، W (سرعت قائم جو)، Con (همگرایی افقی)، Con.hum (همگرایی شار رطوبت).

۱۰۰۰ هکتوپاسکال) با استفاده از نرم افزار IDV، نشان دهنده ارتباط و پیوستگی این مؤلفه ها در چندین تراز جوی است. بطوریکه بر طبق نتایج حاصل از ترسیم موقعیت رودبادهای حاکم در منطقه، فعالیت منطقه گردش سیکلونی رودباد پر قدرت جنب حاره (STJ) در ترازهای ۲۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان دهنده گسترش قائم آن و حاکمیت ربع های همگرایی پایینی و واگرایی بالایی آن بر غرب و جنوب غرب ایران است که به علت الگوی نصف النهاری قوی ارتفاع ژئوپتانسیل جو (تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال) در منطقه تسلط یافته است. ارتفاع ژئوپتانسیل این تراز همچنین عامل مؤثری در فرارفت

### نتیجه گیری

نتایج حاصل از بررسی داده های موج بارش سنگین ۲۵ تا ۳۰ بهمن ۱۳۹۵ (۱۳ تا ۱۸ فوریه ۲۰۱۷) نشان می دهد که در روز اوج بارش سنگین و فراگیر (۲۹ بهمن: ۱۷ فوریه)، حضور فرود عمیق تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال با جهت گیری شمال شرقی - جنوب غربی، عامل اصلی تشکیل شرایط کژ فشار بسیار شدیدی در غرب، جنوب غرب و شمال غرب ایران بوده است. همچنین نتایج حاصل از محاسبه مؤلفه های مداری و نصف النهاری باد بیش از ۳۰ متر بر ثانیه (رودباد)، سرعت قائم جو، همگرایی افقی، تاوایی و همگرایی شار رطوبت در کل ستون قائم جو (ترازهای ۱۰ تا

تاوایی نسبی و تمرکز آن در بخش شرقی ناوه قوی حاکم بر منطقه بوده است. همچنین نتایج شبیه‌سازی شده مؤلفه‌های مختلف جو با این نرم افزار IDV، امتداد و گسترش سرعت‌های قائم صعودی جو از تراز ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال، بیشینه تمرکز همگرایی افقی جو در منطقه تحت نفوذ و حاکمیت گردش سیکلونی رودباد جنب‌حاره در جنوب‌غرب ایران و پیوستگی و تمرکز حداکثر این همگرایی در ترازهای ۱۰۰۰ تا ۷۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۵.الف) را نشان می‌دهد. در این الگو، تأثیرات تشدید کننده افزایش حرکات قائم صعودی بر تشدید مؤلفه همگرایی افقی جو، زمینه ناپایداری و

صعود بیشتر در جو را فراهم کرده است. بطوریکه در این روز حداکثر تاوایی نسبی نیز در شرق محور ناوه ترازهای ۵۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال متمرکز شده است که علاوه بر تسلط گردش سیکلونی رودباد جنب‌حاره و تأثیر آن در ناپایداری، صعود و تقویت همگرایی افقی جو، عامل بسیار مهمی در گستردگی فرارفت درونسوی همگرایی شار رطوبت از منابع رطوبتی متعدد (مدیترانه، دریای سرخ، خلیج فارس، دریای عمان) بوده است. این شرایط در مجموع رخداد بارش سنگین و فراگیر در ۶۸ ایستگاه سینوپتیک در ۲۹ بهمن ۱۳۹۵ را در پی داشته است.

### ملاحظات اخلاقی

**حامی مالی:** این پژوهش هیچ کمک مالی از سازمان‌های تأمین مالی دریافت نکرده است.

**تعارض منافع:** طبق اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

**برگرفته از پایان نامه/رساله:** این مقاله برگرفته از پایان نامه/رساله نبوده است.

## منابع

- وقوع بارش های سنگین بهاره در شمال غرب ایران، مجله مخاطرات محیط طبیعی، سال پنجم، شماره ۸: ۵۳-۸۲.
- رحیم زاده، فاطمه (۱۳۸۴)، بررسی تغییرات مقادیر حدی بارش در ایران، نیوار: ۷-۲۰.
- سعیدآبادی، رشید؛ آب خرابات، شعیب و نجفی، محمد سعید (۱۳۹۴)، موقعیت رودباد جبهه قطبی در ارتباط با بارش های سنگین و شار رطوبت ترازهای پایین غرب ایران، مجله محیط شناسی، سال چهل و یکم، شماره ۴: ۷۸۳-۷۹۸.
- قویدل رحیمی، یوسف (۱۳۹۰)، کاربرد شاخص های ناپایداری جوی برای آشکار سازی و تحلیل دینامیک توفان تندی روز ۵ اردیبهشت ۱۳۸۹ تبریز، فصلنامه علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی، سال یازدهم، شماره ۳۴: ۲۰۸-۱۸۲.
- لشکری، حسن (۱۳۸۲)، مکانیسم تکوین، تقویت و توسعه مرکز کم فشار سودان و نقش آن بر بارش های جنوب و جنوب غرب ایران، پژوهش های جغرافیایی، شماره ۴۶: ۵۲-۸۸.
- محمدی، حسین؛ فتاحی، ابراهیم؛ آرنس، دونالد (۱۳۹۱)، هواشناسی نوین، ترجمه محمدرضا بابایی، تهران، انتشارات آبیژ.
- احمدی، محمود و جعفری، فرزانه (۱۳۹۴)، تحلیل سینوپتیک بارش سنگین ۱۲ آوریل ۲۰۱۵ شهرستان قزوین، مجله انجمن جغرافیایی ایران، سال سیزدهم، شماره ۴۴: ۲۲۱-۲۳۷.
- احمدی، محمود و جعفری همبری، فرزانه (۱۳۹۷)، مسیریابی کامل و تحلیل سینوپتیک یک نمونه مطالعاتی از سامانه های منجر به بارش های سنگین بیش از ۵۰ میلی متر در جنوب ایران، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال پنجم، شماره ۳: ۸۳-۱۰۲.
- حلبیان، امیرحسین و حسینعلی پورجزی، فرشته (۱۳۹۴)، تحلیل سینوپتیک مخاطرات اقلیمی در جنوب غرب ایران، مورد مطالعه: بارش های سنگین سیلزا در آذر ۱۳۹۱، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال دوم، شماره ۴: ۳۱-۴۶.
- خورشید دوست، علی محمد؛ مفیدی، عباس؛ رسولی، علی اکبر و آزر، کامل (۱۳۹۵)، تحلیل هم دیدی سازوکار

۱۸۰۵۲. شمس‌پور، علی اکبر و اکبری، مه‌ری (۱۳۹۱)، تحلیل دینامیکی سامانه‌های سودانی و رخدادهای بارش‌های سنگین در جنوب غرب ایران، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال دوازدهم، شماره ۲۴: ۷-۲۴.
- مسعودیان، ابوالفضل (۱۳۹۰)، آب و هوای ایران، چاپ اول، انتشارات شریعه توس.
- مشکواتی، امیرحسین، شجاعی، محمد و مزرعه فراهانی، مجید (۱۳۹۳)، ساختار گردش جوی در طی بارش سنگین ۲۱ دسامبر ۱۹۹۲ بر روی شیراز، پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، سال پنجم، شماره ۱۷: ۷۳-۹۰.
- محمدی، بختیار (۱۳۸۸)، تحلیل هم‌دید بارش‌های ابرسنگین ایران، رساله دکتری اقلیم‌شناسی، اساتید راهنما: سید ابوالفضل مسعودیان و دکتر محمد رضا کاویانی، دانشگاه اصفهان، دانشکده ادبیات و علوم انسانی.
- عساکره، حسین (۱۳۹۱)، تحلیل تغییرات مؤلفه‌های مبنای نمایه‌های فرین بارش شهر زنجان، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال بیست‌وهفتم، شماره ۲: ۱۸۰-۴۱.
۱۸۰۵۲. عساکره، حسین؛ قائمی، هوشنگ و بیرانوند، آذر (۱۳۹۴)، روند تغییرات فصلی رودباد جنب‌حاره در محدوده اقلیمی ایران طی دهه‌های اخیر، فصلنامه پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، سال چهل‌وهفتم، شماره ۱: ۷۲-۵۷.
- علیجانی، بهلول (۱۳۸۵)، اقلیم‌شناسی سینوپتیک، چاپ دوم، انتشارات سمت.
- علیجانی، بهلول و هوشیار، محمود (۱۳۸۷)، شناسایی الگوهای سینوپتیکی سرماهای شدید شمال غرب ایران، مجله پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، شماره ۶۵: ۱۶-۱.
- غیور، حسنعلی؛ حلییان، امیر حسین؛ صابری، بیژن و حسنعلی پورجزی، فرشته (۱۳۹۱)، بررسی رابطه بارش‌های سنگین با الگوهای گردشی جو بالا (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی)، مجله مخاطرات محیطی، سال اول، شماره ۲: ۱۲۱-۱۳۷.
- Banacos, PC., & Schultz, DM. (2005), The use of moisture flux convergence in forecasting convective initiation: Historical and operational perspectives, Weather Forecasting, (20):

- Department of Atmospheric and Oceanic Sciences, University of Wisconsin-Madison, Madison, Wisconsin, American Meteorological Society, (29): 954-974.
- Ahrens, D, (2012), Modern Meteorology, translated by Mohammad Reza Babaei, Tehran, Aizh Publications.
  - Asakareh, H. (2013), Analysis of changes in the basic components of the precipitation profiles of Zanjan city, Geographical Research Quarterly, 27(2): 18041-18052.
  - Asakere, H., Qaemi, H., & Biranvand, A. (2014), The trend of seasonal changes in the subtropical river in the climatic range of Iran during recent decades, Journal of Natural Geography Research, 47(1): 57-72.
  - Alijani, B. (2006), Synoptic Climatology, second edition, Samt Publications.
  - Alijani, B., & Hoshiar, M. (2007), Identification of synoptic patterns of extreme cold in NorthWest of Iran, Journal of Natural Geography Research, 351-366.
  - Dibajnia, M., Soltanpour, M., Nairn, RB., & Allahyar, M. (2010), Cyclone Gonu: The most intense tropical cyclone on record in the Arabian Sea. Indian Ocean Tropical Cyclones and Climate Change, Springer,(34): 65-52.
  - Jansa, A., Ana, G., Angeles, P.M., Joan, C., Ricardo, R., & Olinda, C.(2001), Western Mediterranean cyclones and heavy rain.Part 2: Statistical approach. Meteorol. Appl. (8):43-56.
  - Lana, A (2007), Atmospheric patterns for heavy rain events in the Balearic Island. International journal of climatology, (12): 27-32.
  - Mofidi, A., & Zarin, A.(2005), Review Synoptic Effect SUDAN'S Low Presser Systems at Occurrence Rainfall in Iran, Journal of Geography Research's, (88): 113-139.
  - Winters, A, C., & Martin, J, E. (2014), The Role of a Polar/Subtropical Jet Superposition In The May 2010 Nashville Flood,

- AH., Saberi, B., & Hasan Ali Pourjazi, F. (2013), investigating the relationship between heavy rains and upper atmospheric circulation patterns (case study: Razavi Khorasan province), *Environmental Hazards Magazine*, 1(2): 121-137.
- Halbian, AH., & Hossein Ali Pourjazi, F. (2014), synoptic analysis of climatic hazards in the south west of Iran, case study: heavy rains causing floods in December 2011, *Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards*, 2(4): 31-46.
  - Jansa, A., Ana, G., Angeles, P.M., Joan, C., Ricardo, R., & Olinda, C.(2001), Western Mediterranean cyclones and heavy rain.Part 2: Statistical approach. *Meteorol. Appl.* (8):43-56.
  - Khurshid Dost, AM., Mofidi, A., Rasouli, AA., & Azram, K. (2015), Collaborative Analysis of the Mechanism of Heavy Spring Rains in North-West Iran, *Journal of Natural Environment Hazards*, 5 (8): 82-53.
  - Lashkari, H.(2003), (65):16-1.
  - Ahmadi, M., & Jafari, F.(2014), Synoptic analysis of heavy rainfall on April 12, 2015, Qazvin city, *Journal of the Geographical Society of Iran*, 13 (44): 221-237.
  - Ahmadi, M., & Jafari Hambari, F. (2017), complete routing and synoptic analysis of a study sample of systems leading to heavy rains of more than 50 mm in southern Iran, *Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards*, 5 (3): 83 -102.
  - Banacos, PC., & Schultz, DM. (2005), The use of moisture flux convergence in forecasting convective initiation: Historical and operational perspectives, *Weather Forecasting*, (20): 351-366.
  - Dibajnia, M., Soltanpour, M., Nairn, RB .,& Allahyar, M. (2010), Cyclone Gonu: The most intense tropical cyclone on record in the Arabian Sea. *Indian Ocean Tropical Cyclones and Climate Change*, Springer,( 34): 65-52.
  - Ghayor, H.A., Halabian,

- atmospheric circulation structure during the heavy rain of December 21, 1992 over Shiraz, *Climatology Research*, 5 (17): 73-90.
- Mohammadi, B. (2008), Synoptic Analysis of Heavy Rains in Iran, Doctoral Climatology Dissertation, Supervisors: Masoudian, SA., Kaviani, MR, University of Isfahan, Faculty of Literature and Human Sciences.
  - Qavidel Rahimi, Y. (2018), The use of atmospheric instability indicators to reveal and analyze the dynamics of the thunderstorm on May 5, 2019, Tabriz, *Scientific-Research Quarterly of Geographical Space*, 11(34): 182-208.
  - Rahimzadeh, F. (1384), Investigation of the changes in the limit values of precipitation in Iran, *Newar*: 20-7.
  - Saeed Abadi, R., Abkharabat, S., & Najafi, MS. (2014), the location of the Arctic Front river in relation to heavy rains and moisture flux in the low levels of western Iran, Mechanism of Formation, Strengthening and Development of Sudan's Low Pressure Center and Its Role on Rains in South and Southwest of Iran, *Geographical Researches*, (46): 52-88.
  - Lana, A. (2007), Atmospheric patterns for heavy rain events in the Balearic Island. *International journal of climatology*, (12): 27-32.
  - Mofidi, A., & Zarin, A. (2005), Review Synoptic Effect SUDAN'S Low Presser Systems at Occurrence Rainfall in Iran, *Journal of Geography Research's*, (88): 113-139.
  - Mohammadi, H., Fatahi, I., Shamsipour, AA., & Akbari, M. (2012), Dynamic analysis of Sudanese systems and the occurrence of heavy rains in southwest Iran, *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*, 12(24): 7-24.
  - Masoudian, A. (2010), *Climate of Iran*, first edition, Tos Sharia Publications.
  - Meshkvati, AH, Shojaei, M., & Farahani, M. (2013),

Environmental Journal, 41  
(4): 798-783.

- Winters, A, C., & Martin, J, E. (2014), The Role of a Polar/Subtropical Jet Superposition In The May 2010 Nashville Flood, Department of Atmospheric and Oceanic Sciences, University of Wisconsin-Madison, Madison, Wisconsin, American Meteorological Society, (29): 954-974.