



## Statistical - Synoptic Analysis of the Extreme Precipitation in Western Iran

Mehrdad Kiani<sup>1</sup>, Hasan Lashkari<sup>1\*</sup>, Houshang Ghaemi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Climatology, Faculty of Earth Sciences, University of Shahid Beheshti, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Meteorological Research Center, Tehran, Iran

### ARTICLE INFO

Article Type: Research article

Article history:

Received 23 June 2019

Accepted 02 January 2020

Available online 22 February 2020

Keywords:

Rainfall, Extreme, Synoptic, Pressure, Humidity.

Citation: Kiani, M., Lashkari, H. Ghaemi, H. (2020). Statistical - Synoptic Analysis of the Extreme Precipitation in Western Iran. *Geography and Sustainability of Environment*, 9 (4), 17-38. doi: [10.22126/GES.2020.4144.2041](https://doi.org/10.22126/GES.2020.4144.2041)

### ABSTRACT

Heavy daily rainfall occurs when it exceeds the region's long-term average and becomes an extreme event or climate hazard. The aim of this study is to provide the synoptic and statistical analysis of the most intense daily precipitation in western Iran during a period from 1996 to 2017. To achieve this aim, Precipitation days with a maximum of 70 mm or more were specified and arranged according to the season. Finally, the most intense rainfall events of each season were selected for the analysis. Based on results, the main area of heavy rainfall is located on western slopes of Zagros, including Ilam and Marivan. In winter, the expansion of the Mediterranean system to the western Iran with accompaniment the Red Sea humidity has been recognized as an essential factor for heavy rainfall. In the spring, the formation of a Mediterranean cyclone on the Caspian Sea and the northwest of Iran has caused heavy rainfall. The most intense extreme rainfall of all times have been observed in october and autumn, due to the convergence of the Mediterranean and Sudanese systems and the establishment of a cut-off low over the eastern Mediterranean at the middle level of the atmosphere. The deployment of high-temperature air mass on the Persian Gulf and humidity advection from the southern seas and the Mediterranean have strengthened the system. The Jet stream in the atmosphere's mid-level played an important role in enhancing the convergence of winds and the low-pressure pattern of the Earth's surface. Because, the flow of warm air ascend from the Earth's surface toward the middle of the atmosphere has been out of the area rapidly. Therefore, hot and humid wind currents are absorbed more rapidly towards the low pressure center adjacent to the Earth's surface and with the release of latent heat, the air ascend to higher levels of the atmosphere.

\*. Corresponding author E-mail address:

dr\_lashkari61@tabrizu.ac.ir



## تحلیل آماری - همدیدی رخداد شدیدترین بارش‌های غرب ایران

مهرداد کیانی<sup>۱</sup>، حسن لشکری<sup>۱\*</sup>، هوشنگ قائمی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> گروه جغرافیا طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

<sup>۲</sup> مرکز تحقیقات هواشناسی، تهران، ایران

### چکیده

بارش‌های روزانه شدید زمانی اتفاق می‌افتد که مقدار آن در مقایسه با میانگین بلندمدت از یک حد استانه فراتر رود و به رخداد فرین و مخاطره تبدیل شود. بارش‌های شدید یکی از ویژگی‌های اقلیم غرب ایران است. هدف از نوشتار پیش رو تحلیل همدیدی و آماری شدیدترین بارش‌های روزانه غرب ایران در طول دوره ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۷ است. برای این منظور روزهای بارشی با بیشینه ۷۰ میلی‌متر و بیشتر مشخص و براساس فصل سال مرتب شدند. در نهایت شدیدترین رخداد بارش هر فصل در طول دوره برای انجام تحلیل‌ها انتخاب شدند. نتایج نشان می‌دهد که هسته اصلی بارش‌های شدید در دامنه‌های غربی زاگرس همانند ایلام و مریوان واقع شده است. در فصل زمستان گسترش سامانه مدیترانه‌ای با بهره‌گیری از رطوبت دریای سرخ عامل اصلی رخداد فرین بارشی بوده است. در فصل بهار استقرار چرخند مدیترانه‌ای بر روی دریای خزر و شمال غربی ایران بارش سنگین را سبب شده است. شدیدترین فرین بارش در طول دوره در ماه اکتبر و فصل پاییز مشاهده شده که به دلیل ادغام دو سامانه مدیترانه‌ای و سودانی در تراز دریا و استقرار ناوه بریده بر روی شرق مدیترانه در تراز میانی جو شکل گرفته است. استقرار بسته‌ای از هوا با دمای بالا بر روی خلیج فارس و انتقال رطوبت از دریاهای گرم جنوب و دریای مدیترانه سبب تقویت این سامانه شده است. جریان جت در تراز میانی جو نیز در تقویت همگرایی بادهای و الگوی کم‌فشار سطح زمین نقش مهمی داشته است. زیرا جریان هوای مرطوبی که از سطح زمین به تراز میانی جو صعود کرده با سرعت زیادی از روی منطقه خارج شده است؛ بنابراین جریان بادهای گرم و مرطوب در مجاور سطح زمین با سرعت بیشتری به سمت مرکز کم‌فشار جذب می‌شوند و با آزاد شدن گرمای نهان، هوا به ترازهای بالاتری از جو صعود می‌کند.

### مشخصات مقاله

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخچه مقاله:

دریافت ۲ تیر ۱۳۹۸

پذیرش ۱۲ دی ۱۳۹۸

دسترسی آنلاین ۳ اسفند ۱۳۹۸

کلیدواژه‌ها:

بارش، فرین، همدیدی، فشار، رطوبت.

استناد: کیانی، مهرداد؛ لشکری، حسن؛ قائمی، هوشنگ (۱۳۹۸). تحلیل آماری - همدیدی رخداد شدیدترین بارش‌های غرب ایران. جغرافیا و پایداری محیط، ۳۳ (۴)، ۱۷-۳۸.

doi: [10.22126/GES.2020.4144.2041](https://doi.org/10.22126/GES.2020.4144.2041)

## مقدمه

بارش یکی از مهم‌ترین پارامترهای آب‌وهوایی در هر منطقه جغرافیایی به‌شمار می‌رود. حجم آب حاصل از بارش سبب تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی، افزایش رواناب و جریان‌های سطحی، تأمین‌کننده رطوبت خاک و تداوم چرخه هیدرولوژی می‌شود. مهم‌ترین پارامتر مؤثر بر بارش، رطوبت است. رطوبت از راه تبخیر روی دریاها تأمین می‌شود. هرچه محتوای رطوبتی سامانه‌های بارشی بیشتر باشد در صورت فراهم‌بودن سایر عوامل، مانند وجود یک رشته‌کوه و صعود جریان هوا، تراکم بیشتری از قطرات بخار آب اتفاق می‌افتد و بر میزان ابرناکی و درنهایت شدت بارش‌ها افزوده می‌شود. بارش به‌ویژه در مناطق کوهستانی مانند زاگرس در غرب ایران تغییرات گسترده‌ای دارد.

تنوع ناهمواری یکی از عواملی است که موجب تغییرات بارش می‌شود. ارتفاع، جهت دامنه‌ها، اختلاف در دریافت تابش خورشید، دوری و نزدیکی به منابع آبی مانند دریاها و عرض جغرافیایی از مهم‌ترین عوامل در بروز پیچیدگی در روابط بین ناهمواری و بارش است. در مناطق کوهستانی که بارش عمده آن‌ها در فصل زمستان اتفاق می‌افتد، آب ناشی از ذوب برف روی ارتفاعات از راه گسل‌ها و درز و شکاف‌های موجود به‌صورت سفره‌های آب زیرزمینی ذخیره می‌شود. بخشی از بارش در کوهستان‌ها به‌صورت رواناب در بستر دره‌ها جاری شده و درنهایت به‌وسیله رودخانه‌ها به سمت دریاها، اقیانوس‌ها و سایر پهنه‌های آبی بزرگ جاری می‌شود. بارش در غرب ایران رابطه مستقیمی با فعالیت سامانه‌های بارشی دارد. در کشور ایران در بخش عمده‌ای از سال به‌دلیل نفوذ بادهای غربی در ترازهای بالاتر جو سامانه بارشی مدیترانه‌ای از سمت غرب وارد ایران می‌شود. این سامانه یا چرخند دینامیکی، هوای سرد عرض‌های بالاتر و رطوبت دریای مدیترانه را بر روی ناهمواری‌های زاگرس می‌کشانند. ورود سیستم‌های باران‌زا مدیترانه‌ای به غرب ایران با یک ناوه بسیار عمیق مدیترانه‌ای صورت می‌گیرد. این سیستم با نفوذ به غرب ایران نقش عمده‌ای در وقوع بارش سنگین در غرب ایران دارد (اکبری و همکاران، ۱۳۹۳)؛ از طرفی عمیق‌شدن ناوه مدیترانه در تراز میانی جو سبب فعال‌شدن سامانه کم‌فشار مرطوب روی سودان و دریای سرخ می‌شود. رطوبت سامانه کم‌فشار سودانی با دریای سرخ، دریای عرب و شمال اقیانوس هند تأمین می‌شود. سامانه سودانی به‌واسطه حرکت رو به شمال یا شمال شرق ناوه مدیترانه، بر روی ایران گسترش می‌یابد و سبب رخداد بارندگی می‌شود (لشکری و همکاران، ۱۳۹۲).

سیستم‌های بارشی مدیترانه‌ای و سودانی به‌صورت جداگانه یا ادغامی در وقوع بارش‌های غرب ایران تأثیرگذار هستند. زمانی که سامانه مدیترانه‌ای با جهت شمال غربی با سامانه سودانی با جهت جنوب غربی ادغام می‌شوند، بارش سنگین در نواحی غربی ایران مانند لرستان اتفاق می‌افتد (امینی و همکاران، ۱۳۹۲)؛ زیرا با ادغام دو سامانه، موجودی رطوبت در سطح منطقه نیز افزایش می‌یابد. این سامانه‌ها پیش از نزدیک‌شدن به ایران، با یکدیگر ادغام می‌شوند و سپس نواحی غربی را متأثر می‌سازند. از هر ده موج بارشی در غرب ایران، حدود شش موج آن از نوع ادغامی است (براتی و همکاران، ۱۳۹۱). رطوبت مهم‌ترین نقش را در فعالیت بارشی این سامانه‌ها برعهده دارد. دریای مدیترانه، دریای سیاه و دریای سرخ به‌مثابه منابع آبی دوردست سبب تقویت سامانه‌های مدیترانه‌ای و سودانی در سطح زمین می‌شوند (عزیزی و همکاران، ۱۳۸۸). رطوبت دریای مدیترانه عامل وقوع بارش‌های سیل‌آسا در اطراف دریای مدیترانه (کورتس<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۸) و تعداد زیادی از بارش‌های شدید نیمه غربی ایران است. وجود هسته‌های بیشینه نم‌ویژه در اطراف دریای سرخ رطوبت لازم را برای رخداد بارش‌های سنگین سودانی نواحی غربی ایران، تأمین می‌کند (محمدی و همکاران، ۱۳۹۱).

متناسب با مقدار رطوبتی که روی دریاها به درون سامانه‌های بارشی تزریق شده، شدت بارش‌های حاصل از آن‌ها بر روی غرب ایران می‌تواند متغیر باشد. گاهی انرژی و رطوبت این سامانه‌ها به حدی است که در طول یک روز سبب رخداد بارش خیلی شدید بر روی ناهمواری‌های زاگرس در غرب ایران می‌شود. با بررسی آمار ثبت‌شده این رخدادها در بلندمدت، بارش‌های حدی بیشینه یا فرین بالا مشخص می‌شود. رویداد فرین جوئی، رویدادی نادر و نابهنجار است که مقدار آن در هر محل برای دوره‌ای معین از استانه خاص همان محل فراتر می‌رود؛ به عبارت دیگر، فرین رویدادی است که دنباله و دور از نقطه تمرکز فراوانی (میانگین یا میانه) قرار گرفته باشد. در بررسی فرین‌های اقلیمی باید به مقادیر خیلی کم یا خیلی زیاد در مشاهدات روزانه توجه کرد (عساکره و همکاران، ۱۳۹۱).

بارش‌های فرین بالا نقش مهمی در وقوع مخاطره‌های محیطی و اقلیمی دارد؛ از این رو در بررسی داده‌های بارش روزانه در یک سری مشخص آماری می‌توان مقادیر خیلی زیاد یا همان فرین‌های بالا را برای یک محل مشخص کرد. در سطح جهانی عوامل مختلفی می‌تواند در وقوع رخداد فرین‌های بارشی تأثیرگذار باشد. یکی از این عوامل گرمایش جهانی است که نقش مهمی در وقوع بارش‌های شدید دارد. گرم شدن کره زمین می‌تواند رژیم فرین بارش را در جهان تغییر دهد (پاپالکسیو<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۷)؛ زیرا گرمایش موجب تغییرات در چرخه هیدرولوژی کره زمین می‌شود (کریشنامورتی و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۰۹). به واسطه این تغییرات، بارش‌های سنگین از ۱۹۵۱ به بعد روند افزایشی یافته است؛ به عبارت دیگر، افزایش چنددرجه‌ای گرمایش جهانی موجب افزایش در رخداد فرین‌های بارشی روزانه می‌شود (بارچیکوفسکا<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۸). این روند در مناطق مختلف کره زمین از جمله اروپا و شرق آسیا مشاهده شده است (داس<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۸). تغییرات دما و نقطه شبنم در تغییرات بارش‌های شدید و افزایش آن‌ها در سال‌های اخیر در بسیاری از نقاط دنیا تأثیرگذار بوده است (سیم<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۹).

تغییرات دما و فشار سطح آب اقیانوس‌ها می‌توانند سبب کاهش یا افزایش شدت بارش‌ها شوند. پدیده‌های آب‌وهوایی همانند ال نینو و شاخص‌های نوسانات سطح آب اقیانوس‌ها، تحت تأثیر تغییرات دما و فشار سطح آب اقیانوس‌ها شکل می‌گیرند و روند بارش‌های شدید را تغییر می‌دهند. شاخص تغییرات نوسانات قطب جنوب<sup>۶</sup> (لی<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۰۵) و ال نینو (فنگ<sup>۸</sup>، ۲۰۱۸) از عوامل اصلی کاهش بارش‌های شدید روزانه و کاهش حد فرین‌های بارش روزانه هستند. افزایش دمای آب و جذب بخار آب از سطح دریا با جریان‌های بادها نیز از عوامل اصلی وقوع بارش‌های سنگین است. این مکانیسم می‌تواند به صورت فصلی و یا دوره‌ای سبب رخداد بارش سنگین شود. نمونه‌ای از این نوع بارش‌ها، موسمی‌ها هستند که موجب رخداد بارش سنگین در مناطق تحت سیطره خود می‌شوند (پوتکونن<sup>۹</sup>، ۲۰۰۴). زمانی که بارش‌های شدید به دلایل مختلف حادث شدند، به عنوان مخاطره طبیعی مسئله‌ساز می‌شوند. بارش‌های شدید در بسیاری از مناطق کره زمین به شکل توفان ظاهر شده و مشکلاتی را ایجاد می‌نمایند (لیبیتینو<sup>۱۰</sup> و همکاران، ۲۰۱۸). مهم‌ترین پیامد بارش‌های شدید وقوع سیلاب‌های بزرگ است که می‌تواند خسارت‌های زیادی را در سطح زمین ایجاد می‌کند؛ بنابراین مطالعه بارش‌های سنگین از لحاظ محیط‌زیست و آمایش سرزمین نیز بسیار مهم است.

1- Papalexioy

2- Krishnamurthy

3- Barcikowska

4- Das

5- Sim

6- Arctic Ocean Oscillation (AAO)

7- Li

8- Feng

9- Putkonen

10- Libertino

بارش‌های خیلی شدید و فرین روزانه یکی از مشخصات آب‌وهوایی کشور ایران نیز به‌شمار می‌رود. در ایران این بارش‌ها بیشتر در دورهٔ مرطوب سال اتفاق می‌افتد؛ اما در مناطق شمالی به‌سبب رطوبت زیاد دریای خزر و در مناطق جنوب شرقی به‌دلیل نفوذ موسمی‌ها ممکن است بارش فرین در فصل تابستان نیز مشاهده شود. در ایران به استثنای نواحی شمالی، بیشترین دفعات وقوع فرین‌های بالای بارشی در ماه‌های آوریل، مارس، می و اکتبر اتفاق می‌افتد (عساکره و همکاران، ۱۳۹۱). فرین‌های بارشی شمال کشور در ماه‌های اوت، سپتامبر و اکتبر رخ می‌دهد (منتظری، ۱۳۸۸). در نواحی شمال شرقی ایران، در سال‌های اخیر بارش‌های فرین رو به افزایش بوده است (عسکری‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵).

حدّ بارش‌های فرین در مناطق شمال شرقی ایران با افزایش عرض جغرافیایی شدیدتر بوده است (احمدی و همکاران، ۱۳۹۴). این بارش‌ها در تمامی مساحت کشور دارای روند افزایشی نبوده‌اند و در جاهایی از جمله مناطق شمال غربی همانند زنجان با کاهش روبه‌رو شده‌اند (عساکره، ۱۳۹۱). در نواحی غربی ایران رخداد بارش‌های شدید در طول دهه‌های اخیر رو به افزایش بوده است (مسعودیان و دارند، ۱۳۹۲). افزون بر نقش مهمّ الگوهای همدیدی، سامانه‌های بارشی و منابع رطوبتی، عوامل محلی به‌ویژه ناهمواری‌ها نیز در شکل‌گیری این بارش‌های فرین در نواحی غربی ایران تأثیر زیادی داشته‌اند. تودهٔ کوهستانی زاگرس با قرارگیری در مسیر ورود سامانه‌های بارشی در بین عوامل محلی بیشترین نقش را در تغییرات بارش در غرب ایران برعهده دارد؛ زیرا موقعیت و استقرار کوه‌های زاگرس موجب صعود مکانیکی توده‌های هوای باران‌آور غربی می‌شود (عساکره و سیفی‌پور، ۱۳۹۱). عامل ارتفاع کوه‌های زاگرس به‌مثابهٔ یکی از نموده‌های ناهمواری می‌تواند سبب تغییراتی در مقدار بارش شود. در نواحی رو به باد زاگرس با افزایش ارتفاع از مقدار بارش کاسته می‌شود (مجرد و مرادی‌فر، ۱۳۸۲).

رخداد بارش‌های شدید در غرب ایران به عوامل محلی دیگر از جمله عرض جغرافیایی و طول جغرافیایی نیز بستگی دارد. این دو عامل می‌توانند در تغییرات مکانی بارش‌ها تأثیرگذار باشند. برای نمونه بالاترین درصد تغییرات مکانی بارش‌های پاییزی و سالانهٔ منطقهٔ کردستان در غرب ایران مربوط به نقش ترکیبی دو متغیّر طول و عرض جغرافیایی بوده است (محمودی و علیجانی، ۱۳۹۲). در مجموع رخداد بارش‌های سنگین یکی از مشخصه‌های اقلیمی مهمّ غرب ایران به‌شمار می‌رود. براساس آنچه بیان شد، عناصر مهمّ جوّی و عوامل محلی هرکدام در وقوع این بارش‌ها نقش تأثیرگذاری داشته‌اند. علّت اهمیت این پدیدهٔ اقلیمی به‌عنوان مسئله‌ای محیطی تأثیر مخاطره‌آمیز آن است؛ زیرا تحت تأثیر آرایش الگوهای همدیدی، افت شدید فشار و فرارفت مقادیر بالای رطوبت به منطقه ممکن است صعودهای شدید و ناگهانی هوای مرطوب با آزادسازی مقادیر غیر قابل پیش‌بینی از گرمای نهان به تراکم گستردهٔ بخار آب و همرفت شدید منجر شود. در مدت‌زمانی کمتر از ۲۴ ساعت ممکن است بارش سنگینی فراتر از میانگین بلندمدت یا بیشینه‌های مشاهده‌شدهٔ قبلی بر سطح ایستگاه یا ناحیه‌ای پدید آید و به مخاطرهٔ محیطی‌ای مانند سیلاب‌های بزرگ تبدیل شود.

در پژوهش حاضر تلاش شده است شدیدترین رخدادهای بارش روزانهٔ غرب ایران در دورهٔ ۲۲ ساله براساس یک حد یا ملاک عددی تعیین شود و شدیدترین آن‌ها با عنوان رخدادهای فرین بالا تحلیل شود. بیشتر پژوهش‌های انجام‌شده، روندهای بارش و تغییرات آن‌ها در بلندمدت یا ارتباط بارش‌های شدید با تغییرات نوسان سطح آب اقیانوس‌ها و الگوهای منطقه‌ای فشار را بررسی کرده‌اند؛ اما در این پژوهش به نقش منابع آبی نزدیک به غرب ایران و همچنین الگوی اصلی همدیدی مسبب بارش‌های شدید پرداخته شده است. در این ارتباط حرکت جریان هوا، نحوهٔ انتقال رطوبت، وزش دمایی، آرایش الگوهای فشار تراز دریا و نقش جت تراز میانی جو در تقویت سامانه در زمان رخداد بارش‌های فرین بالا بررسی شده‌اند. بر این اساس، سامانه‌های اصلی مسبب وقوع این بارش‌ها



نوشتار پیش رو به روش آماری و همدیدی انجام شده است. ابتدا داده‌های بارش روزانه دوره آماری ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۷ پردازش شدند. با توجه به حجم بالای داده‌ها، نیاز به تعیین ملاک یا معیاری برای مشخص کردن بارش‌های روزانه فرین بالا بود. دانشمندان حدود یا ملاک‌های کمی معینی را در مطالعات خود برای انتخاب فرین‌های بالای بارشی به کار برده‌اند. این ملاک‌ها برای مناطق جغرافیایی متفاوت بوده است؛ برای نمونه حد انتخاب فرین‌های بالای بارشی در شرق فرانسه بارش روزانه ۲۰ میلی‌متر (میزرهی<sup>۱</sup>، ۲۰۰۰)، برای سوئد ۴۰ میلی‌متر (هلستروم<sup>۲</sup>، ۲۰۰۵) و برای سنول ۷۵ میلی‌متر (وانگ<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۶) در نظر گرفته شده است. در برخی از مطالعات انجام‌شده، دهک‌دهم یا صدک ۹۰٪ بارش‌های روزانه مبنای انتخاب فرین‌های بالای بارشی بوده است (مکیس و هوگ<sup>۴</sup>، ۱۹۹۹). در پژوهش حاضر نیز پس از بررسی روزهای بارشی، بیشینه بارش روزانه ۷۰ میلی‌متر و بیشتر در سطح منطقه به‌عنوان حد و ملاک کمی در نظر گرفته شد؛ بنابراین با هدف تعیین شدیدترین رخداد بارش‌های ثبت‌شده در طول همه ماه‌های سال، بیشترین رکوردهای بارش در بین ۲۲ ایستگاه منطقه مورد مطالعه که رقم‌های ۷۰ میلی‌متر و بیشتر را نشان می‌داد به تعداد ۳۰ مورد انتخاب و براساس فصل سال و به‌ترتیب شدت بارش مرتب شدند. از مجموع ۳۰ رخداد بارش شدید، ۱۶ مورد مربوط به فصل زمستان، ۵ مورد مربوط به بهار و ۹ مورد نیز مربوط به فصل پاییز بود. این بارش‌ها برای هر فصل به‌ترتیب شدت مشخص شدند و شدیدترین آن‌ها به‌عنوان نمونه‌های مطالعاتی بارش‌های فرین بالا تحلیل و بررسی شد. این نمونه‌ها عبارت بودند از رخداد بارش ۳ فوریه ۲۰۰۶ (۱۶۲ میلی‌متر)، رخداد بارش ۱۳ آوریل ۱۹۹۶ (۱۳۱ میلی‌متر) و رخداد بارش ۲۹ اکتبر ۲۰۱۵ (۲۸۲ میلی‌متر).

به‌منظور بررسی توزیع منطقه‌ای بارش در زمان رخداد فرین‌های بارشی بالا، آمار بارش ایستگاه‌ها به‌صورت جدول، نمودار و نقشه درون‌یابی ارائه شده است. درنهایت به‌منظور شناخت الگوهای گردشی همدیدی عامل ایجاد رخداد‌های فرین، ترکیبی از پارامترهای آب‌وهوایی شامل فشار تراز دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل، نم و ویژه، جریان باد مداری و نصف‌النهار و دمای هوا برای ترازهای ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال به‌صورت نقشه ارائه و تحلیل شده است. نقشه‌های ترکیبی برای یک مختصات جغرافیایی شامل محدوده بین ۱۰ تا ۵۰ درجه عرض شمالی و ۲۰ تا ۷۰ درجه طول شرقی و با قدرت تفکیک مکانی ۲/۵ در ۲/۵ درجه جغرافیایی ترسیم شده‌اند.

## نتایج

### بررسی آماری رخداد‌های بارش شدید فصل‌های سال

در طول دوره آماری ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۷ تعداد ۳۰ روز بارشی وجود داشته است که بارش ثبت‌شده در این روزها به رقم ۷۰ میلی‌متر و بیشتر رسیده است. شدیدترین بارش فصل زمستان رخداد مربوط به ۳ فوریه ۲۰۰۶ بوده است که بیشینه بارش ۱۶۲ میلی‌متر برای این روز به ثبت رسیده است (جدول ۱). برای فصل بهار نیز شدیدترین بارش مربوط به ۱۳ آوریل ۱۹۹۶ بوده که در این روز، بارش به بیشینه ۱۳۱ میلی‌متر رسیده است (جدول ۲)؛ همچنین از بین بارش‌های شدید پاییزی (جدول ۳)، رخداد بارش روزانه ۲۹ اکتبر ۲۰۱۵ با رقم ۲۸۲ میلی‌متر سنگین‌ترین رویداد بارشی فصل پاییز است. این بارش، شدیدترین رخداد بارش‌های روزانه در طول دوره ۲۲ ساله به حساب می‌آید و حد بالای فرین بارش‌های ثبت‌شده روزانه غرب است.

1- Mizrahi  
2- Hellstrom  
3- Wang  
4- Mekis & Hogg

براساس نمودار تغییرات مقادیر بارش ثبت‌شده برای ۲۲ ایستگاه منطقه در روز وقوع بارش‌های شدید مورد مطالعه (شکل ۲)، مشاهده می‌شود که نقطه اوج نمودارها فرین بارش است که برای ۳ فوریه ۲۰۰۶ (زمستان) و ۱۳ آوریل ۱۹۹۶ (بهار) در ایستگاه ایلام و برای ۲۹ اکتبر ۲۰۱۵ (پاییز) در ایستگاه مریوان به ثبت رسیده است. شدت بارش در فصل پاییز بیشتر از زمستان و بهار بوده است. در این فصل، شدت بارش در بسیاری از ایستگاه‌ها نسبت به زمستان و بهار افزایش یافته است.

جدول ۱. رخداد بارش‌های فرین روزانه (۷۰ میلی‌متر و بیشتر) فصل زمستان غرب ایران در دوره آماری ۱۹۹۶-۲۰۱۷

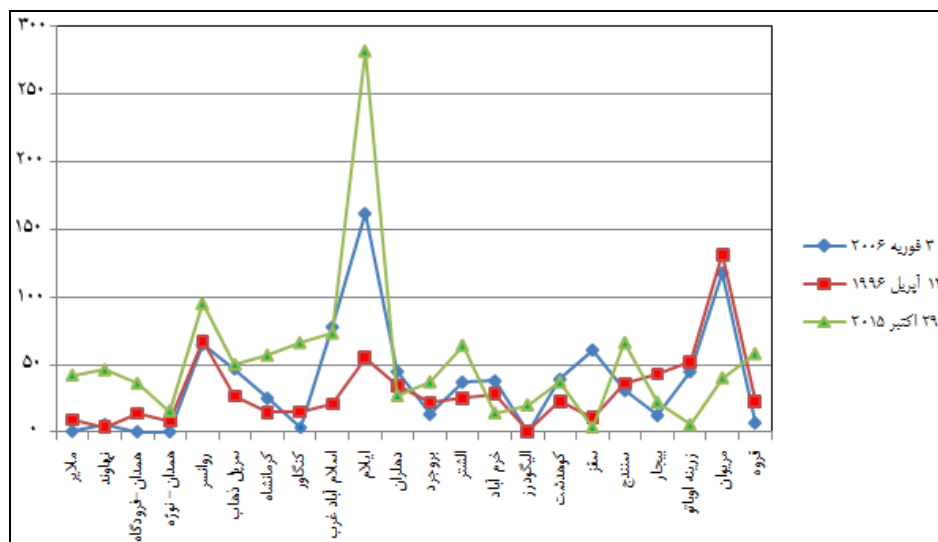
تاریخ رخداد بارش	بیشینه بارش به میلی‌متر	تاریخ رخداد بارش	بیشینه بارش به میلی‌متر
۳ فوریه ۲۰۰۶	۱۶۲	۴ فوریه ۲۰۰۷	۷۵
۱۰ مارس ۲۰۰۵	۱۲۲	۳۱ مارس ۲۰۰۴	۷۴
۱۷ مارس ۱۹۹۸	۱۰۳	۲۰ فوریه ۱۹۹۹	۷۲
۱۸ مارس ۱۹۹۸	۷۹	۲۴ مارس ۲۰۰۰	۷۲
۳۰ مارس ۲۰۱۴	۷۹	۲۹ مارس ۱۹۹۷	۷۰
۱۱ مارس ۲۰۰۵	۷۹	۱۳ مارس ۲۰۱۱	۷۰
۹ ژانویه ۱۹۹۹	۷۸	۲۷ مارس ۲۰۱۶	۷۰
۲۶ ژانویه ۲۰۰۶	۷۶	۱۹ مارس ۲۰۱۷	۷۰

جدول ۲. رخداد بارش‌های فرین روزانه (۷۰ میلی‌متر و بیشتر) فصل بهار غرب ایران در دوره آماری ۱۹۹۶-۲۰۱۷

تاریخ رخداد بارش	بیشینه بارش به میلی‌متر	تاریخ رخداد بارش	بیشینه بارش به میلی‌متر
۱۳ آوریل ۱۹۹۶	۱۳۱	۳ می ۲۰۱۳	۸۵
۱۴ آوریل ۲۰۱۶	۱۲۱/۲	۱۲ آوریل ۲۰۱۵	۷۱
۱۳ آوریل ۲۰۱۶	۱۰۶/۵		

جدول ۳. رخداد بارش‌های فرین روزانه (۷۰ میلی‌متر و بیشتر) فصل پاییز غرب ایران در دوره آماری ۱۹۹۶-۲۰۱۷

تاریخ رخداد بارش	بیشینه بارش به میلی‌متر	تاریخ رخداد بارش	بیشینه بارش به میلی‌متر
۲۹ اکتبر ۲۰۱۵	۲۸۲	۵ دسامبر ۲۰۱۳	۸۱
۲۰ نوامبر ۲۰۱۱	۱۳۸	۱ نوامبر ۲۰۱۵	۸۰
۲۸ اکتبر ۲۰۱۵	۹۱	۱۷ نوامبر ۲۰۰۹	۸۰
۲۹ اکتبر ۲۰۱۱	۸۷	۲ دسامبر ۲۰۱۵	۷۵
۲۱ دسامبر ۲۰۰۲	۸۲		



شکل ۲. نمودار تغییرات بارش ایستگاه‌ها در زمان رخداد بارش‌های فرین بالا در غرب ایران

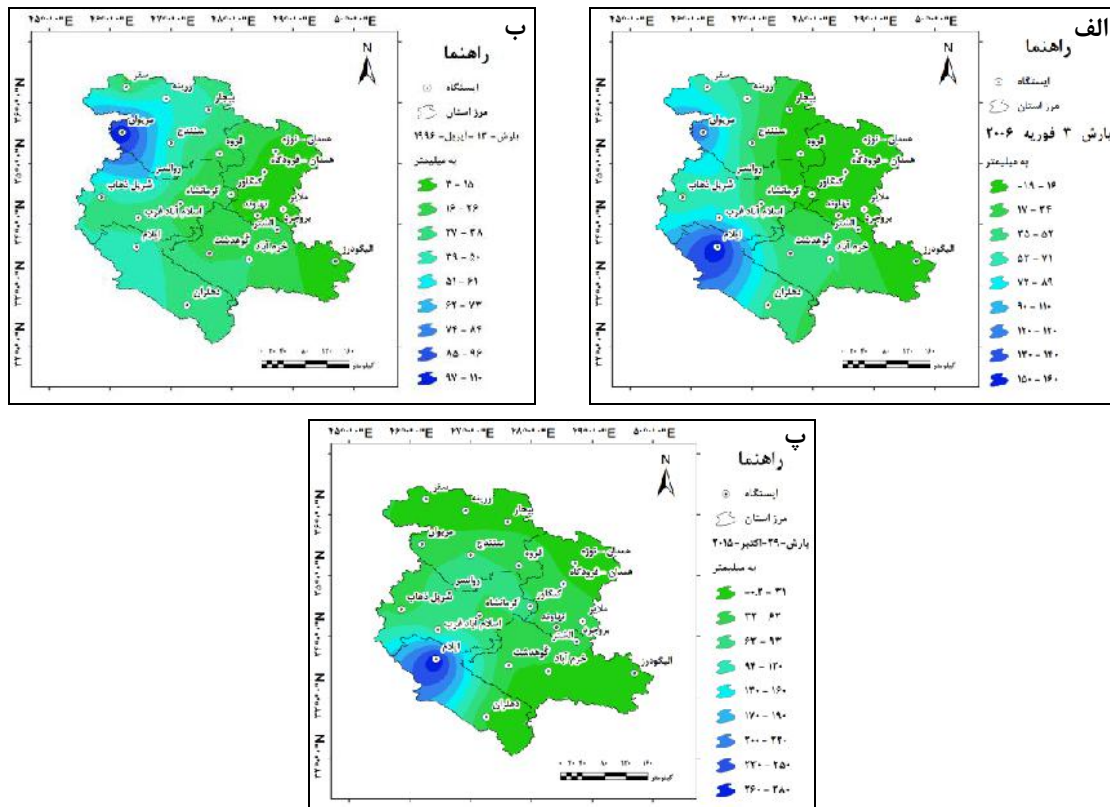


درون یابی رخداد بارش های فرین نشان می دهد که این رخدادها در سمت غربی منطقه مورد مطالعه اتفاق افتاده است؛ به عبارت دیگر، شدت بارش ها در ایستگاه هایی به ثبت رسیده که موقعیت آن ها در سمت دامنه های غربی زاگرس واقع شده است. در مورد بارش فرین ۳ فوریه ۲۰۰۶، دو هسته بارش سنگین به ترتیب در حوالی ایلام و مریوان مشاهده می شود؛ اما برای بارش های فرین ۱۳ آوریل ۱۹۹۶ و ۲۹ اکتبر ۲۰۱۵ هر کدام یک هسته بیشینه دیده می شود که به ترتیب در نواحی اطراف ایستگاه های مریوان و ایلام قابل تشخیص است (شکل ۳).

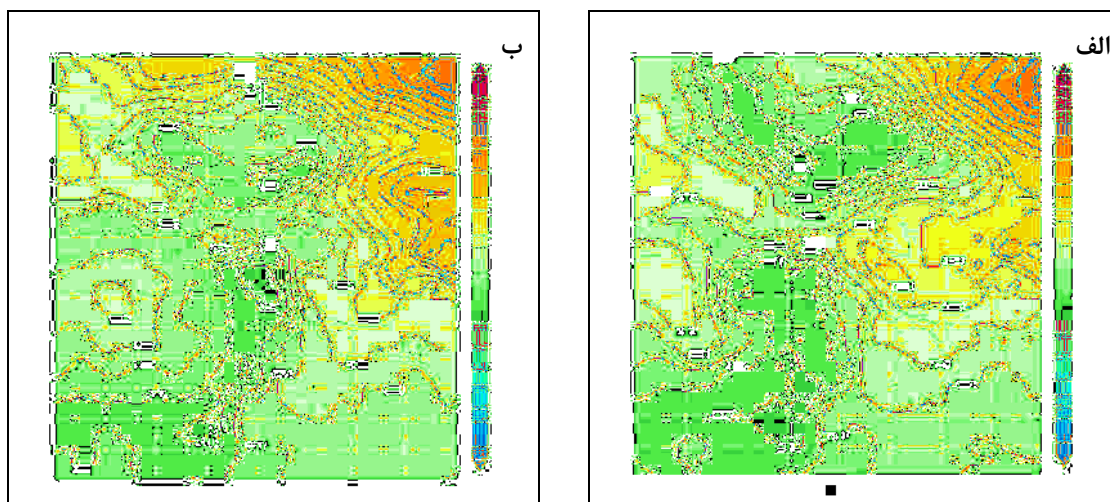
### تحلیل همدیدی الگوهای گردشی عامل وقوع فرین های بارشی فصل های سال

#### تحلیل همدیدی بارش ۳ فوریه ۲۰۰۶

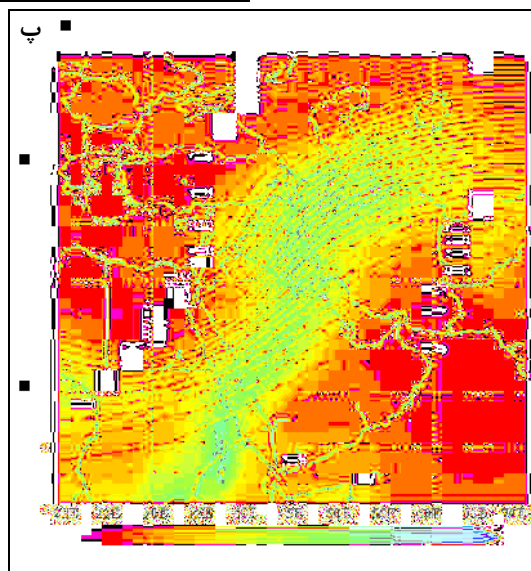
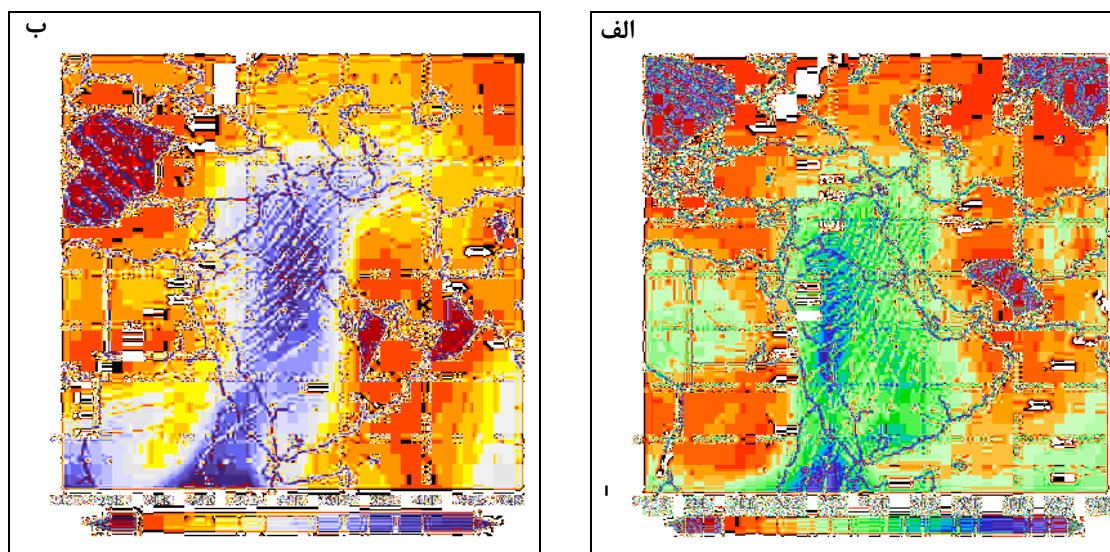
بررسی نقشه فشار تراز دریا در روز دوم فوریه ۲۰۰۶ (شکل ۴ الف) نشان می دهد که نفوذ زبانه پرفشار سیبری از سمت شمال شرقی ایران موجب استقرار شرایط پایداری و تشکیل الگوی پرفشار در بسیاری از بخش های ایران به ویژه در بخش غربی ایران شده است. در روز سوم فوریه (شکل ۴ ب) به تدریج با تضعیف زبانه پرفشار سیبری به ویژه هسته پرفشار روی نواحی غربی ایران (۱۰۲۴ تا ۱۰۲۷ هکتوپاسکال)، شرایط برای نفوذ و گسترش سیستم کم فشار مدیترانه ای از سمت شمال غربی ایران فراهم شده است؛ از طرفی سامانه کم فشار سودانی از سمت جنوب غربی با عبور از روی دریای سرخ به سمت شمال شرقی حرکت کرده و با سامانه مدیترانه ای ادغام شده است؛ بنابراین این دو سامانه به طور ادغامی الگوی غالب فشار تراز دریا در بخش غربی ایران در روز ۳ فوریه ۲۰۰۶ بوده اند. در روز ۳ فوریه شرایط برای نفوذ جریانات مرطوب به غرب ایران فراهم شده است (شکل ۵). در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (شکل ۵ الف) عبور جریانات شرقی از روی اقیانوس هند و سپس دریای عرب موجب انتقال رطوبت به سمت منطقه سودان و دریای سرخ شده است.



شکل ۳. توزیع درون یابی رخداد بارش های فرین بالا (به میلی متر) غرب ایران: الف: ۳ فوریه ۲۰۰۶؛ ب: ۱۳ آوریل ۱۹۹۶؛ و پ: ۲۹ اکتبر ۲۰۱۵

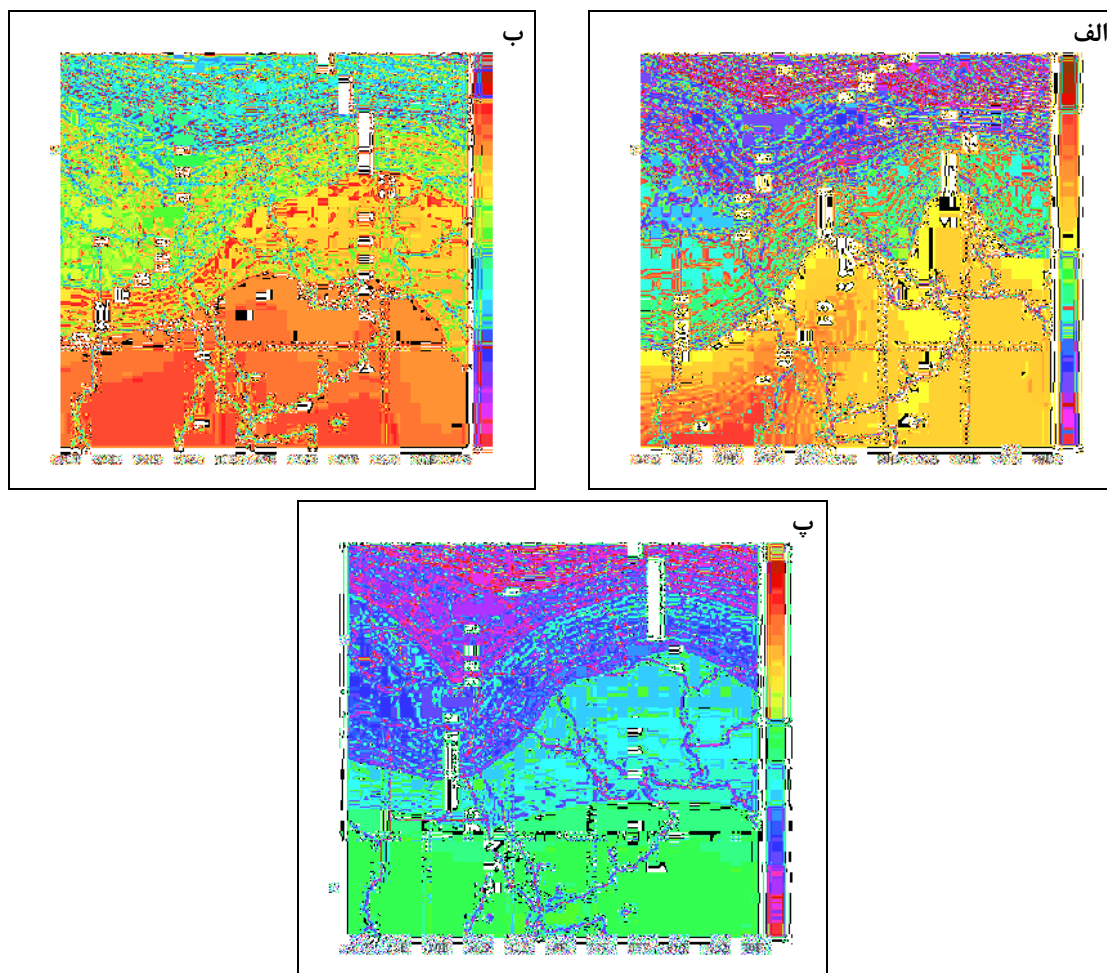


شکل ۴. نقشه فشار تراز دریا (به هکتوپاسکال) در روزهای الف: ۲ فوریه و ب: ۳ فوریه ۲۰۰۶ (خروجی Grads)



شکل ۵. توزیع نم و یژه (به گرم در هزار) و ارتفاع ژئوپتانسیل (به ژئوپتانسیل متر)، الف: ۳ فوریه ۲۰۰۶؛ تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال؛ ب: تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال و ب: ۵۰۰ هکتوپاسکال (خروجی Grads)

جریانات شرقی در برخورد با جریانات غربی بر روی دریای سرخ همگرا شده و به صورت یک جریان مرطوب جنوبی، به سمت شمال حرکت کرده و همان طور که مشاهده می شود بیشینه‌ای از مقادیر نم ویژه (۷ گرم در هزار) بر روی عراق و بخش‌های غربی ایران با جریان جنوبی گسترش یافته است. در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۵ ب) مشاهده می شود که بر روی بخش جنوب شرقی عربستان هسته پراتفافی تشکیل شده که شرایط دینامیکی را برای وقوع حرکات واچرخندی بر روی دریای عرب فراهم کرده است. استقرار این الگو موجب انتقال رطوبت از روی دریای عرب به سمت سودان و دریای سرخ شده است؛ از طرفی عمیق شدن ناوه جریانات غربی، شرایط را برای فعال کردن منطقه همگرایی بادها بر روی دریای سرخ و حرکت جریان جنوبی به سمت غرب ایران فراهم کرده است. همان طور که در نقشه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال مشاهده می شود، غرب ایران در بخش شرقی محور ناوه زیر نفوذ جریانات مرطوب جنوب غربی قرار گرفته است. نفوذ جریانات جنوبی ماهیتی گرم داشته است (شکل ۶). در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (شکل ۶ الف)، وزش دمایی گرم از سمت سودان (۳۰۰ درجه کلونین) تا بخش غربی ایران اتفاق افتاده است. در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۶ ب)، وزش جریانات جنوب غربی در بخش شرقی محور ناوه ماهیتی گرم داشته است. وزش دمایی گرم از سمت جنوب غربی نقش مهمی در فرارفت گرما و رطوبت به غرب ایران داشته، در حالی که هوای سرد در بخش غربی ناوه تسلط داشته است. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۶ پ) وزش دمایی سرد از سمت شمال غربی به بخش مرکزی ناوه اتفاق افتاده است.



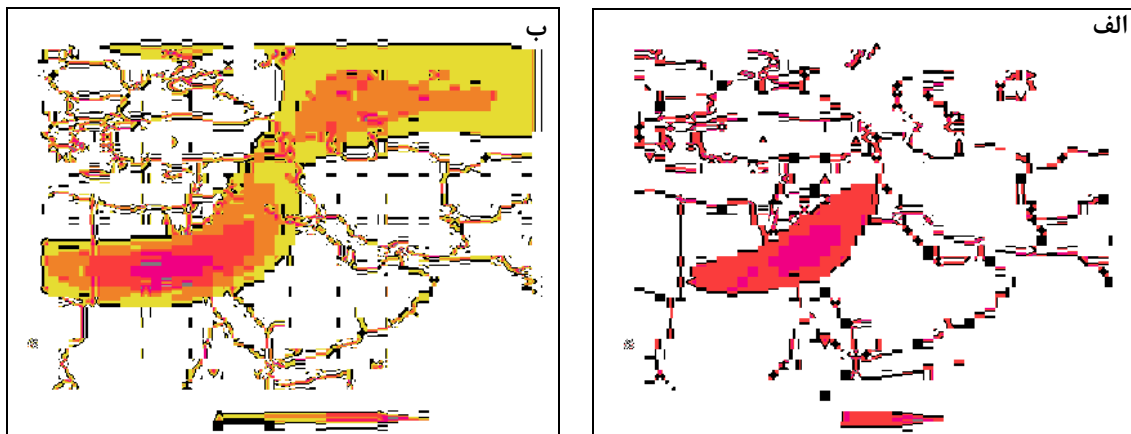
شکل ۶. وزش دمایی هوا (به درجه کلونین)، الف: ۳ فوریه ۲۰۰۶؛ تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال؛ ب: تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال و پ: تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (خروجی Grads)

این جریان‌ها با جریان گرم جنوب غربی در نزدیکی مرزهای غربی ایران در تماس بوده و همگرایی‌ها و وقوع ناپایداری را سبب شده‌اند. به دلیل تضاد دمایی شدید بین هوای سرد مرکز ناوه و هوای گرم و مرطوب جنوبی که همگرایی شدید بادها بر روی شمال عربستان و جنوب عراق را در پی داشته است، حرکات صعودی هوا شدت یافته و موجب شده که سرعت بادها در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال از سرعت جت یعنی ۳۰ متر بر ثانیه بیشتر شود. هسته جت جنب‌حاره با سرعت ۳۵ متر بر ثانیه در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال تشکیل شده است. بر اثر فعالیت این هسته، جرم ورودی به تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال یا تراز ۴۰۰ هکتوپاسکال با سرعت زیاد از روی منطقه دور شده و باعث شده که در سطوح زیرین جو همگرایی بادها شدیدتر شود. به این ترتیب فرایند انتقال هوای مرطوب سطوح زیرین به سمت بخش ورودی جرم در ترازهای مزبور شدیدتر شده و ناپایداری بر روی منطقه تقویت شود. جریان جت جبهه قطبی نیز با عبور از روی نواحی شمال غربی و دریای خزر در فرارفت هوای سرد به بخش شمال غربی ایران تأثیر خود را نشان داده است (شکل ۷). با انباشت و تراکم رطوبت در دامنه‌های غربی زاگرس شرایط برای وقوع بارش سنگین در روز ۳ فوریه ۲۰۰۶ فراهم شده است. به طوری که بارش سنگین در ایستگاه‌های واقع در دامنه‌های غربی زاگرس همانند ایلام (۱۶۲ میلی‌متر)، مریوان (۱۱۸ میلی‌متر) و اسلام‌آباد غرب (۷۸ میلی‌متر) تحت تأثیر فعالیت سیستم مدیترانه‌ای و رطوبت دریای سرخ اتفاق افتاده است.

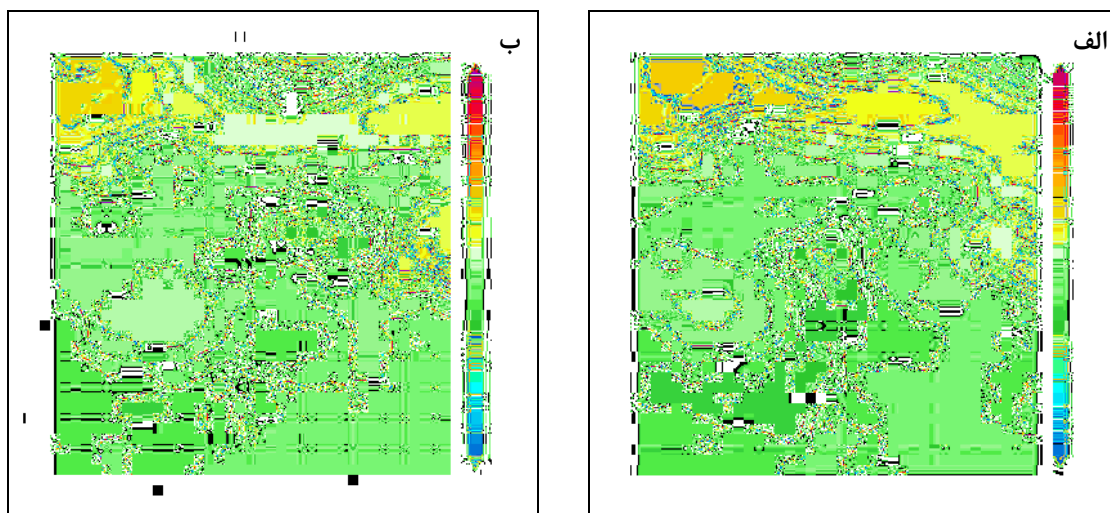
#### تحلیل همدیدی بارش ۱۳ آوریل ۱۹۹۶

سنگین‌ترین بارش بهاری یک روزه در طول دوره آماری ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۷ تحت تأثیر فعالیت عمده سامانه مدیترانه‌ای در روز ۱۳ آوریل ۱۹۹۶ اتفاق افتاده است. در روز ۱۲ آوریل ۱۹۹۶ و در فاصله زمانی یک روز پیش از وقوع این بارش سنگین، سیستم کم‌فشار بسته ۱۰۰۰ هکتوپاسکالی بر روی بخش شرقی مدیترانه تشکیل شده که از سمت شمال غربی به ایران نفوذ کرده است (شکل ۸ الف). این سامانه با سامانه کم‌فشار سودانی تقویت شده و در روز ۱۳ آوریل گسترده‌تر شده و بر روی نیمه شمالی ایران مستقر شده است؛ افزون بر رطوبت دریای مدیترانه، رطوبت دریای سرخ و دریای خزر نیز به درون این سامانه تزریق شده است (شکل ۹).

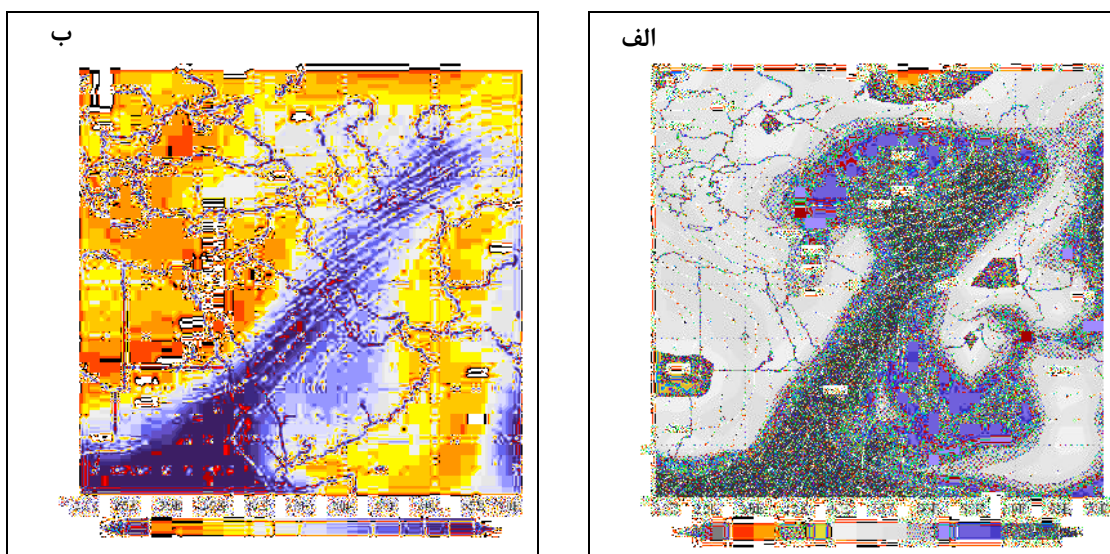
گسترش عرضی ناوه مدیترانه در ترازهای ۸۵۰ هکتوپاسکال و ۷۰۰ هکتوپاسکال و تشکیل چرخند دینامیکی خیلی قوی در مرکز این ناوه بر روی بخش شمالی دریای خزر موجب شکل‌گیری حرکات همگرایی هوا، انباشت و تراکم رطوبت و در نتیجه وقوع ناپایداری به‌ویژه بر روی بخش غربی ایران شده است. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، گسترش عرضی و طولی ناوه مدیترانه به‌طور چشمگیری قابل مشاهده است که سبب شده است مساحت بیشتری زیر نفوذ جریان‌ها مرطوب و ناپایدار در بخش شرقی محور ناوه قرار گیرند.



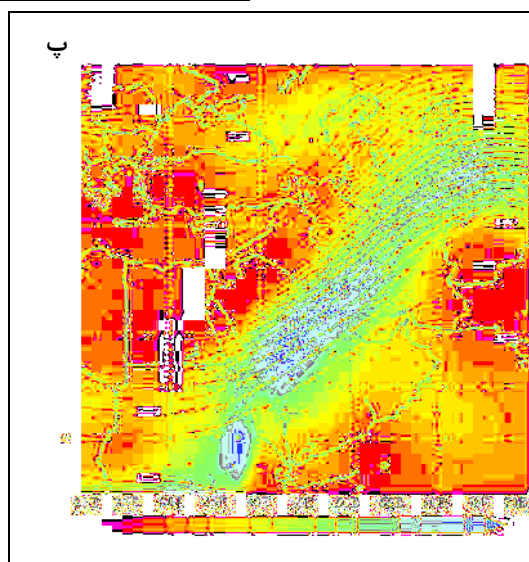
شکل ۷. الف: جریان جت، ۳ فوریه ۲۰۰۶؛ تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و ب: تراز ۴۰۰ هکتوپاسکال (خروجی Grads)



شکل ۸. نقشه فشار تراز دریا (به هکتوپاسکال) الف: در روزهای ۱۲ آپریل و ب: ۱۳ آپریل ۱۹۹۶ (خروجی Grads)

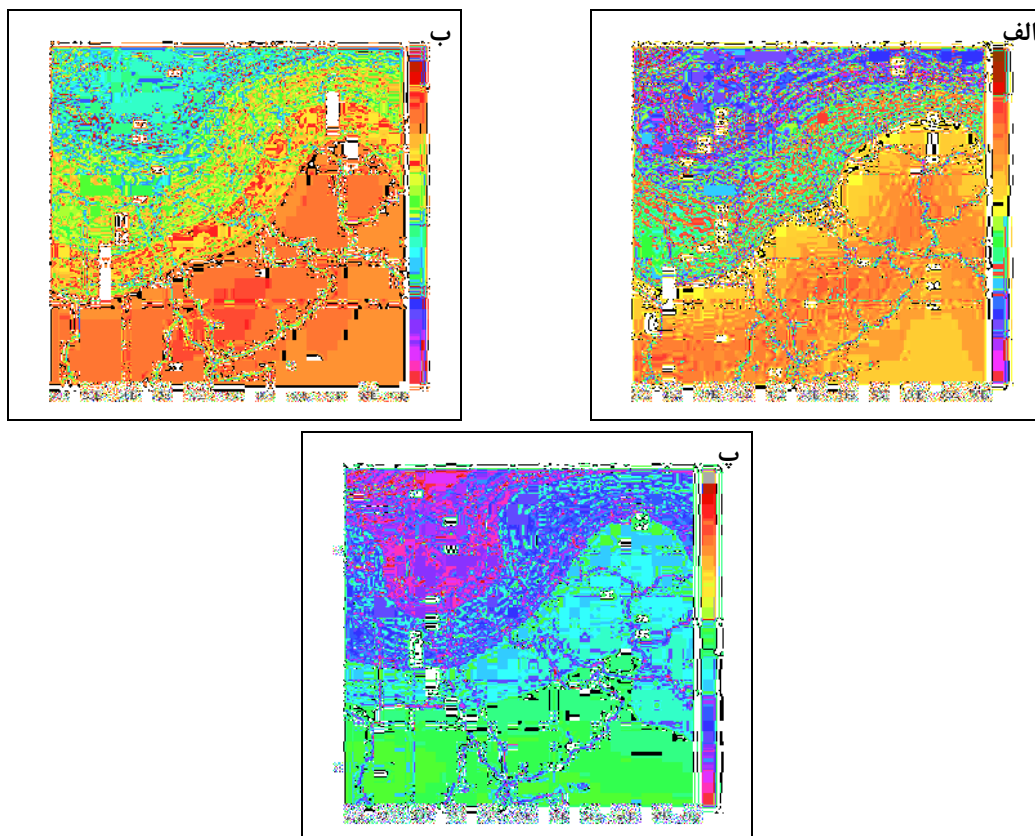


شکل ۹. توزیع نم ویژه (به گرم در هزار) و ارتفاع ژئوپتانسیل (به ژئوپتانسیل متر)، الف: ۱۳ آپریل ۱۹۹۶؛ تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال؛ ب: تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال و پ: ۵۰۰ هکتوپاسکال (خروجی Grads)

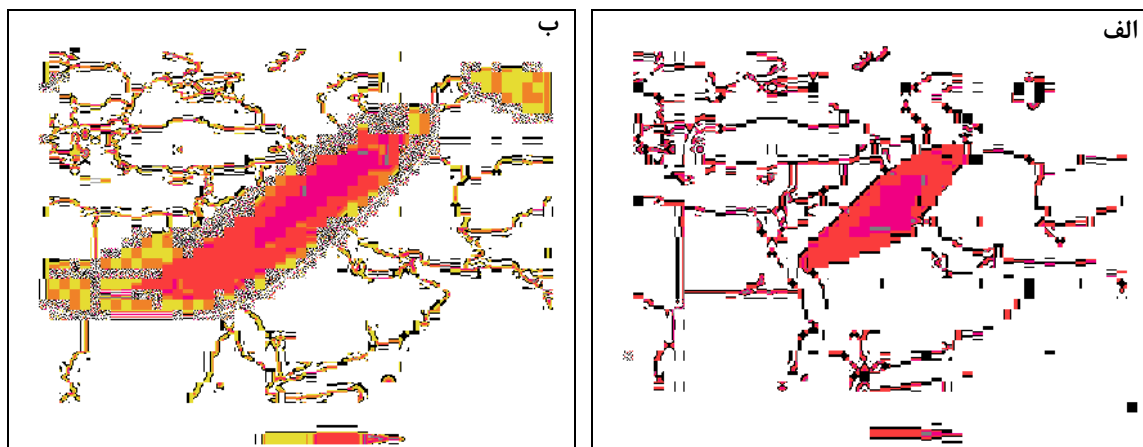


تشکیل بسته با دمای بالا بر روی سودان، دریای سرخ و عربستان (۲۹۴ درجه کلوین) موجب تشکیل پشته‌های از هوای گرم بر روی بخش شرقی و شمال شرقی ایران شده است (شکل ۱۰). همین عامل سبب شده است تا غرب ایران زیر نفوذ وزش دمایی سرد از سمت غرب و شمال غربی و تسلط سیستم مدیترانه‌ای قرار گیرد. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال غرب ایران زیر بخش جنوب شرقی ناوه مدیترانه‌ای و محل تماس هوای سرد و گرم قرار گرفته است. تضاد دمایی شدید بین هوای سرد شمالی و هوای گرم جنوبی در نواحی غربی ایران به افزایش سرعت عمودی هوا به‌ویژه در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال جو منجر شده و افزایش سرعت افقی هوا در این تراز را به‌همراه داشته است. به‌طوری که سرعت باد از مرز ۳۳ متر بر ثانیه گذشته و هسته جت استریم را ایجاد کرده است. وجود این هسته‌های سرعت نشانه تقویت جریان‌های صعودی سطوح زیرین جو بوده است. نواحی شمالی و شمال غربی ایران زیر بخش خروجی هسته جت قرار داشته و خروج سریع هوا سبب افزایش سرعت هوای صعودی سطوح زیرین شده و الگوی کم‌فشار در نزدیکی سطح زمین را تقویت کرده است.

خروج جرم یا هوای ورودی به ترازهای ۵۰۰ هکتوپاسکال و ۴۰۰ هکتوپاسکال به‌سمت نواحی شمال غربی ایران در سمت چپ بخش خروجی جت سبب واگرایی هوا شده است (شکل ۱۱). تقویت حرکات صعودی و الگوی کم‌فشار سطح زمین نشان‌دهنده استقرار شرایط ناپایداری بر روی غرب ایران بوده است. با توجه به استقرار و فعالیت سامانه مدیترانه‌ای بر روی دریای خزر و بخش شمال غربی ایران، ایستگاه‌های نزدیک به این بخش از کشور بیشتر تحت تأثیر ناپایداری قرار گرفته‌اند و در نتیجه بیشینه بارش‌های غرب ایران در ایستگاه‌های استان کردستان همانند مریوان (۱۳۱ میلی‌متر)، زرینه (۵۲ میلی‌متر)، بخش شمال غربی استان کرمانشاه همانند روانسر (۶۷/۳ میلی‌متر) و ایستگاه ایلام (۵۵ میلی‌متر) مشاهده شده است.



شکل ۱۰. وزش دمایی هوا (به درجه کلوین)، الف: ۱۳ آوریل ۱۹۹۶؛ تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال؛ ب: تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال و پ: ۵۰۰ هکتوپاسکال (خروجی Grads)

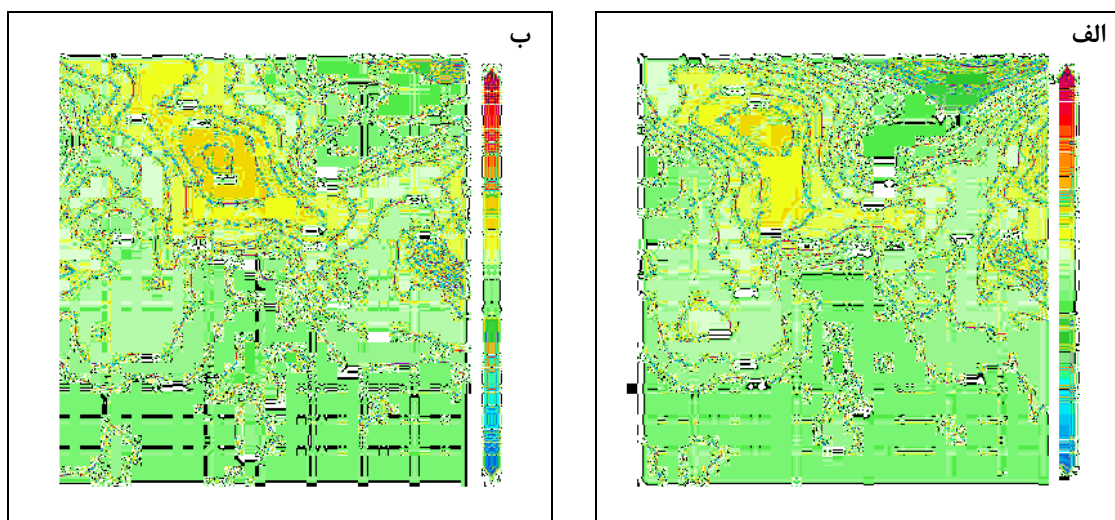


شکل ۱۱. جریان جت، الف: ۱۳ آپریل ۱۹۹۶؛ تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و ب: تراز ۴۰۰ هکتوپاسکال (خروجی Grads)

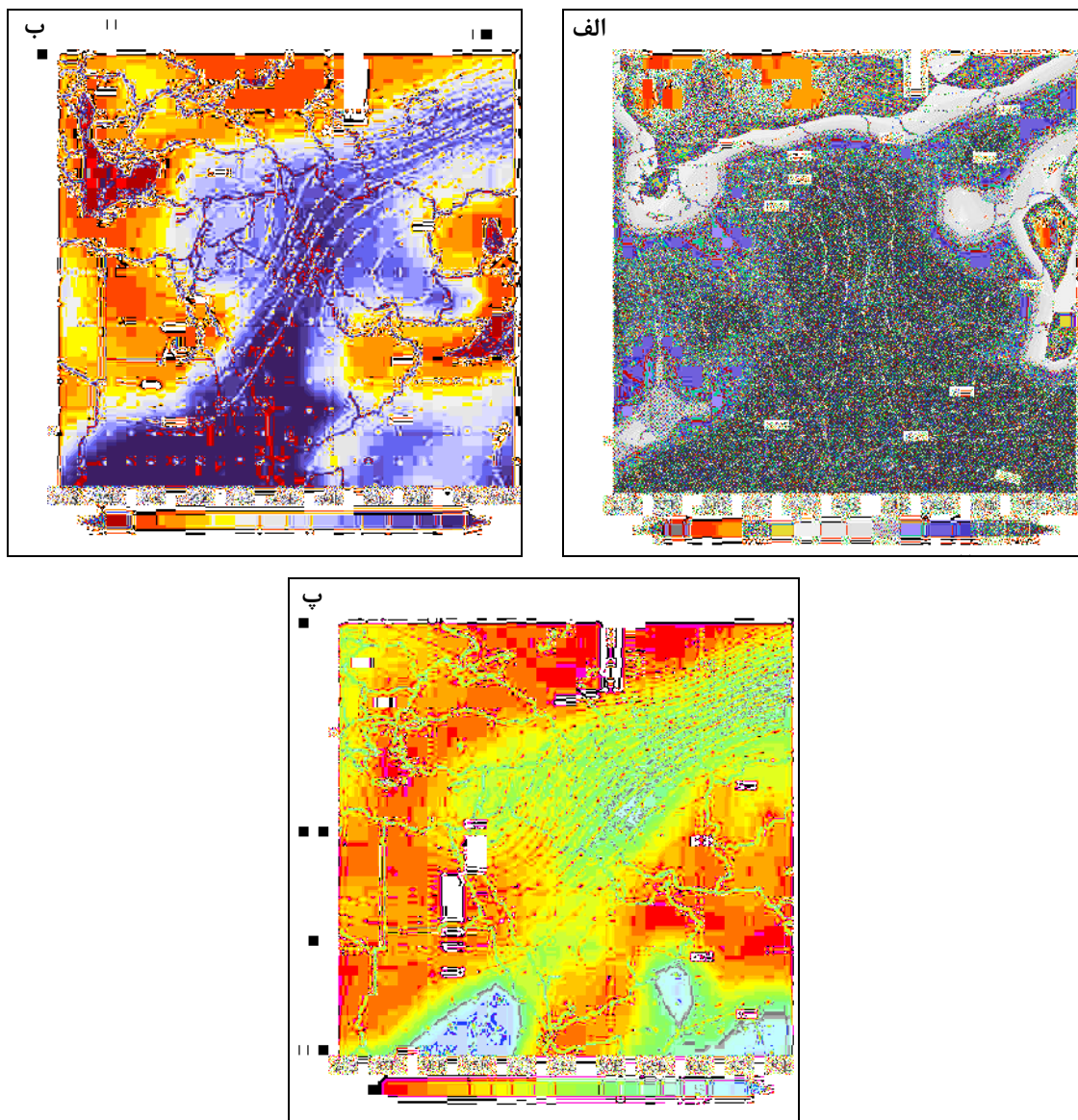
### تحلیل همدیدي بارش ۲۹ اکتبر ۲۰۱۵

سنگین‌ترین رخداد بارش روزانه در طول دوره آماری مورد مطالعه مربوط به ۲۹ اکتبر ۲۰۱۵ است. در این روز بارش بسیار سنگین ۲۸۲ میلی‌متر در ایستگاه ایلام به‌ثبت رسیده است. دلیل رخداد این بارش سنگین ادغام دو سامانه سودانی و مدیترانه‌ای در نزدیکی مرزهای ایران و تراکم مقادیر قابل توجهی از رطوبت در سراسر منطقه است. تمامی نوار غربی ایران در روزهای ۲۸ اکتبر (شکل ۱۲ الف) و ۲۹ اکتبر (شکل ۱۲ ب) زیر نفوذ جریان کم‌فشار گسترده‌ای قرار داشته‌اند که از سمت سودان، دریای سرخ، شرق و مرکز دریای مدیترانه به‌طور پیوسته شکل گرفته است.

در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال یک هسته چرخندی گسترده بر روی دریاهای مدیترانه و سرخ تشکیل شده است (شکل ۱۳). حرکت چرخندی هوا اطراف این هسته بخش غربی ایران را نیز تحت تأثیر قرار داده است (شکل ۱۳ الف). غرب ایران محل همگرایی جریان‌های جنوبی و غربی بوده و در نتیجه مقادیر قابل توجهی از رطوبت دریاهای گرم جنوبی و دریای مدیترانه بر روی ایران و بخش عمده‌ای از خاورمیانه متراکم شده است. در تراز ۷۰۰ (شکل ۱۳ ب) هکتوپاسکال مشاهده می‌شود که این چرخند در بخش مرکزی ناهای قرار گرفته است که از جریان اصلی بادهای غربی جامانده است؛ بنابراین این نوع چرخند، از نوع چرخندهای بریده است.



شکل ۱۲. نقشه فشار تراز دریا (به هکتوپاسکال) در روزهای الف: ۲۸ اکتبر و ب: ۲۹ اکتبر ۲۰۱۵ (خروجی Grads)



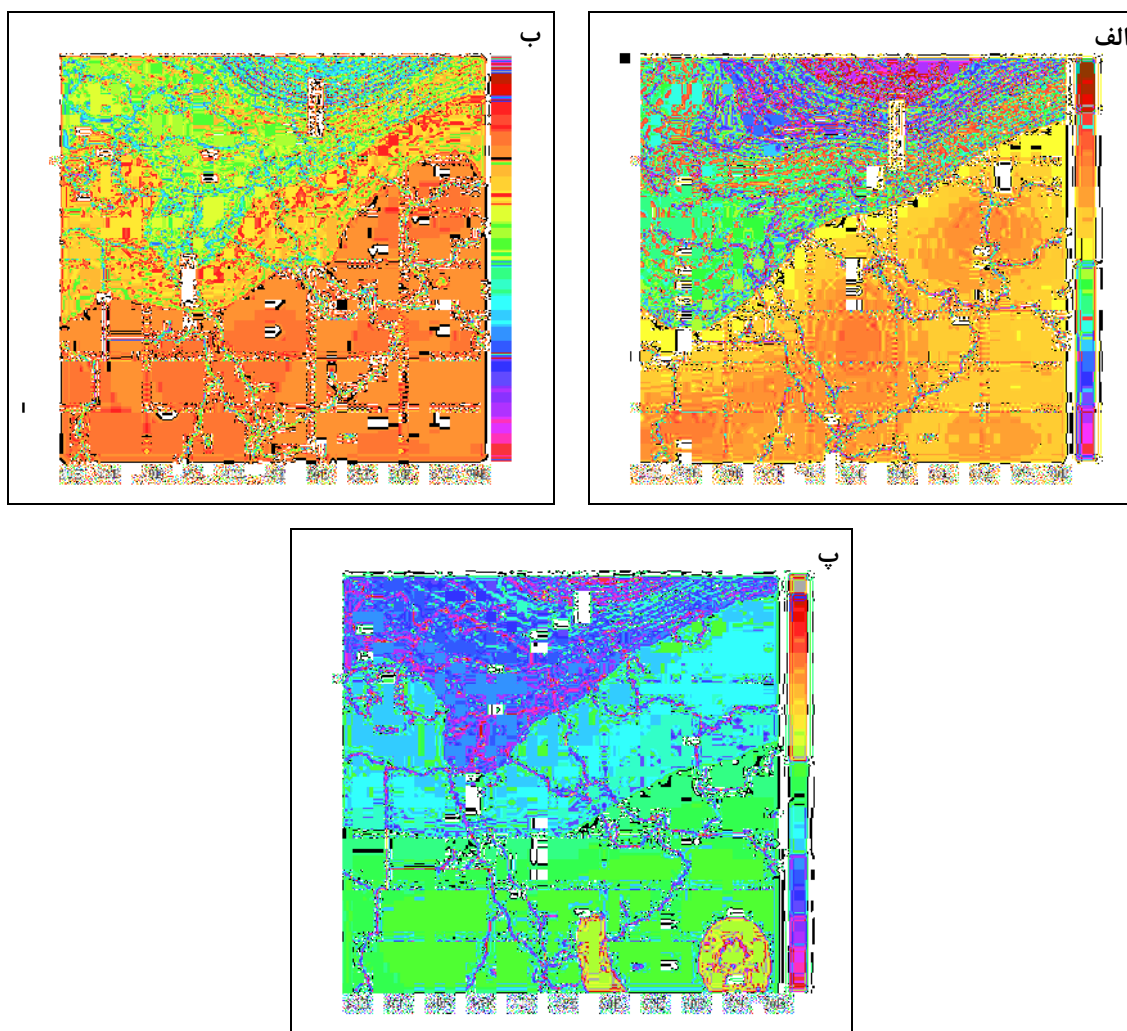
شکل ۱۳. توزیع نم و بوزه (به گرم در هزار) و ارتفاع ژئوپتانسیل (به ژئوپتانسیل متر) ۲۹ اکتبر ۲۰۱۵: الف: تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال؛ ب: تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال و پ: ۵۰۰ هکتوپاسکال (خروجی Grads)

به دلیل حرکت کُند سامانهٔ چرخندی رطوبت بیشتری از روی دریاها و مدیترانه و سرخ به بخش غربی ایران منتقل شده است. یکی دیگر از دلایل قوی بودن فعالیت بارشی این سامانه مربوط می‌شود به محل تشکیل و اچرخند عربستان که در این روز به روی تنگهٔ هرمز تغییر مکان داده است. این شرایط موجب شده است که تحت تأثیر حرکت و اچرخندی این الگو، جریان رطوبت از سمت شمال اقیانوس هند، دریای عمان و دریای عرب به صورت یک جریان شرقی در برخورد با جریانات غربی همگرا شده و به سمت نواحی غربی ایران منتقل شود؛ افزون بر این، جریان جنوبی با عبور از روی خلیج فارس شرایط جذب رطوبت بیشتر را به دست آورده است. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۱۳ پ) به دلیل جابه‌جایی شرق سوی و اچرخند عربستان، فراز و پشتهٔ بادهای غربی بر روی جنوب شرقی ایران، افغانستان و پاکستان تشکیل شده است؛ بنابراین بیشتر بخش‌های غربی و مرکزی ایران زیر نفوذ جریان‌های مرطوب جنوب غربی در بخش شرقی ناوهٔ مدیترانه قرار گرفته‌اند.

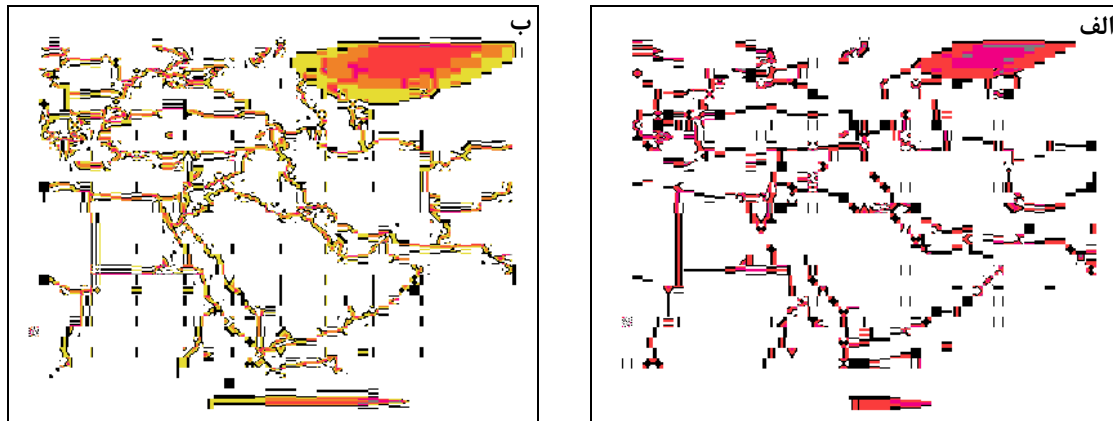


تشکیل بسته هوای با دمای بالا بر روی عربستان و خلیج فارس (۲۹۵ درجه کلوین)، انرژی لازم برای تقویت سیستم‌های رطوبتی را فراهم کرده است (شکل ۱۴)؛ زیرا سبب تبخیر بیشتر از روی دریاها و گرم به‌ویژه در نزدیکی مرزهای ایران شده است؛ بنابراین تشکیل بسته‌های دمای بالا در نزدیکی جنوب غربی ایران در ترازهای ۸۵۰ هکتوپاسکال و ۷۰۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد که گرما و انرژی لازم برای صعود شدید هوا فراهم بوده است؛ پس فرارفت رطوبت به غرب ایران همراه با وزش هوای گرم بوده که سبب وقوع بارش سنگین در بیشتر ایستگاه‌های منطقه شده است.

در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز بخش عمده نواحی شمال غربی ایران به دلیل نزدیکی به محل تماس هوای سرد و گرم محل وقوع ناپایداری شدید بوده است. در ترازهای ۵۰۰ هکتوپاسکال و ۴۰۰ هکتوپاسکال، اثری از فعالیت جت جنب حاره بر روی کشور ایران مشاهده نشده است؛ زیرا سرعت حرکات عمودی هوای صعودکننده در حدی نبوده که سبب تقویت جریان بادهای افقی در ترازهای مزبور شود. وجود جت در این ترازها می‌تواند اثراتی بر اقلیم سطح زمین داشته باشد؛ البته فعالیت جت جنب قطبی در سمت شمال شرقی دریای خزر مشاهده شده که اثری بر اقلیم غرب ایران نداشته است (شکل ۱۵).



شکل ۱۴. وزش دمایی هوا (به درجه کلوین)، ۲۹ اکتبر ۲۰۱۵؛ الف: تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال؛ ب: تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال و پ: ۵۰۰ هکتوپاسکال (خروجی Grads)



شکل ۱۵. جریان جت ۲۹ اکتبر ۲۰۱۵؛ الف: تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و ب: تراز ۴۰۰ هکتوپاسکال (خروجی Grads)

### بحث

بارش‌های روزانه زمانی که از حدی خاص و خیلی بالاتر از میانگین بلندمدت منطقه‌ای فراتر رود، به‌مثابه رخداد حدی یا فرین مورد توجه قرار می‌گیرد؛ زیرا وقوع این بارش‌ها پیامدهای محیطی همانند سیلاب‌های بزرگ را نیز در پی دارد. معیارهای شناسایی این بارش‌ها وابسته به موقعیت جغرافیایی، نوع اقلیم، دسترسی به رطوبت و دوره بارشی سال از منطقه‌ای به منطقه دیگر تغییر می‌کند. برای شناسایی این معیار داده‌های بارش روزانه در بلندمدت پردازش و بررسی می‌شود تا موارد فرین‌های بارشی مشخص شود. در مطالعات مربوط به فرین‌های بارشی در فرانسه یا سوئد ارقام ۲۰ میلی‌متر یا ۴۰ میلی‌متر بارش روزانه، حد فرین بارش روزانه به حساب آمده است؛ اما در برخی از مناطق دیگر این حد افزایش یافته و به رقم ۷۵ میلی‌متر همانند کره جنوبی رسیده است (وانگ، ۲۰۰۶)؛ اما بررسی داده‌های بارش روزانه غرب ایران در بلندمدت نشان می‌دهد که بارش روزانه ۷۰ میلی‌متر و بیشتر حدی مناسب برای تشخیص و تحلیل بارش‌های شدید غرب ایران است. بررسی مطالعات انجام‌شده در زمینه بارش‌های شدید نشان می‌دهد که در طول زمان حد این بارش‌ها دچار تغییر شده است. عواملی همچون گرمایش جهانی، تغییرات دما و نوسانات سطح آب اقیانوس‌ها در کاهش یا افزایش حد بارش‌های روزانه تأثیرگذار بوده است (بارچیکوفسکا، ۲۰۱۹؛ پاپالکسیو، ۲۰۱۷؛ داس، ۲۰۱۸).

در ایران بررسی‌ها نشان می‌دهد که روند بارش‌های شدید غرب کشور در دهه‌های اخیر رو به افزایش بوده است (مسعودیان و دارند، ۱۳۹۲). با توجه به اینکه دوره مرطوب در این منطقه از کشور از پاییز تا بهار به‌طول می‌انجامد و تابستان کمابیش خشک است، احتمال رخداد بارش‌های شدید روزانه از اکتبر تا می وجود دارد. در طول این دوره، غرب ایران از رطوبت دریای سرخ، دریای عرب و خلیج فارس بهره‌مند می‌شود. بررسی نتایج برخی پژوهش‌های قبلی (اکبری و همکاران، ۱۳۹۲؛ عزیزی و همکاران، ۱۳۸۸؛ امینی و همکاران، ۱۳۹۲؛ محمدی و همکاران، ۱۳۹۱) در زمینه بارش‌های غرب، جنوب غرب و شمال غرب ایران نشان داده است که در بیشتر موارد سامانه‌های سودانی و مدیترانه‌ای به‌طور جداگانه یا ادغامی شرایط وقوع بارش‌های شدید غرب ایران را به‌وجود آورده‌اند. فعالیت این سامانه‌ها در روزهایی که حد بارش از ۷۰ میلی‌متر فراتر رفته می‌تواند متفاوت از سایر رخداد‌های معمولی بارش در سطح منطقه باشد؛ زیرا این موارد در طول یک دوره بلندمدت به‌صورت نادر و غیر معمول مشاهده شده است. یکی از الگوهای مهم جوی تأثیرگذار در وقوع این بارش‌ها، عمیق‌شدن ناوه مدیترانه‌ای بوده است. هرگاه این ناوه تا روی دریای سرخ گسترش یابد، رطوبت بیشتری را به‌سمت نواحی غرب ایران فرارفت می‌کند.

به دلیل همگرایی بادهای جنوبی روی دریای سرخ و بادهای غربی جنوب ناوه، همگرایی شدید ایجاد شده و بادهایی با جهت جنوب غربی تشکیل می‌شود. این بادهای رطوبت را به جلو ناوه انتقال داده و موجب تقویت چرخندگی هوا، افت فشار و همرفت گسترده در غرب ایران می‌شوند. در شرایط وقوع بارش‌های شدید فصل سرد با نزدیک شدن سامانه کم فشار مدیترانه‌ای از سمت غرب یا سامانه کم فشار سودانی از سمت جنوب غربی فشار در غرب کشور کاهش یافته و سرعت بادهای جنوب غربی افزایش یافته است. بادهای جنوب غربی نشانه نزدیک شدن توده هوای گرم عرض‌های جنوبی بوده است و با نزدیک شدن آن، زبانه پرفشار سیبری تضعیف شده و به شرق کوه‌های زاگرس عقب‌نشینی کرده است. نم ویژه بسیار بالا در ترازهای ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال ویژگی مشترک بارش‌های فرین فراتر از ۷۰ میلی‌متر بوده است. بیشتر این رطوبت از سمت دریای سرخ و دریای عرب تأمین شده است. این مقدار نم ویژه به مراتب بیشتر از رطوبتی بوده که از سمت دریای مدیترانه به غرب ایران فرارفت شده است.

یکی دیگر از ویژگی‌های جو شاخص در هنگام رخداد بارش‌های شدید منطقه، وجود تضاد دمایی شدید به علت فعالیت دو نوع توده هوا با ماهیت دمایی و منشأ متفاوت است. این تضاد بیشتر در قسمت جنوبی محور ناوه به بالاترین شدت خود رسیده است که در افزایش ناپایداری، سرعت وزش بادهای صعود شدید هوا تأثیر مهمی داشته است. این تضاد دمایی بیشتر در زمان رخداد بارش‌های شدید بهار و زمستان به دلیل وجود هسته دمایی سرد در مرکز ناوه و فرارفت هوای گرم و مرطوب عرض‌های پایین به قسمت جلویی ناوه شکل گرفته است. تضاد دمایی به وجود آمده در سطوح زیرین جو موجب افزایش سرعت صعود هوا به سمت تراز میانی جو شده و در نتیجه سرعت باد در این تراز از ۳۰ متر بر ثانیه فراتر رفته و موجب افزایش سرعت حرکت افقی هوا و تشکیل هسته جت شده است.

محل و موقعیت تشکیل جریان جت نشان می‌دهد که از نوع جت جنب حاره بوده و نقش آن در منطقه، انتقال سریع جریان هوای صعودکننده سطوح زیرین جو بوده است. در نتیجه همگرایی بادهای در سطوح نزدیک به سطح تقویت می‌شود، صعود هوای مرطوب شدیدتر می‌شود و فشار در سطح زمین به شدت کاهش می‌یابد. به این دلیل هوای گرم و مرطوبی که از سطوح زیرین جو با شتاب زیاد صعود کرده گرمای نهان را آزاد کرده و بخار آب موجود در آن به سمت ترازهای بالاتر متراکم شده است. این مکانیسم باعث افزایش ارتفاع ابرهای جوششی به ویژه کومولونیمبوس شده است. ضخامت زیاد ابر و صعود شدید هوای مرطوب بر سطح دامنه‌های رو به باد زاگرس بارش سنگین را به دنبال داشته است. به این دلیل شدیدترین بارش‌های روزانه فراتر از ۷۰ میلی‌متر در طول یک دوره بلندمدت در دامنه‌های غربی زاگرس به ویژه در میروان و ایلام مشاهده شده است.

ویژگی مهم درباره رخداد بارش‌های شدید غرب ایران که در پژوهش‌های قبلی تأکیدی بر روی آن نشده است، نقش الگوی پر ارتفاع عربستان در از بین بردن تضاد دمایی در زمان رخداد فرین بارش فصل پاییز بوده است. زمانی که این الگو در ترازهای نزدیک به سطح زمین (۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال)، به روی نواحی جنوبی ایران قرار می‌گیرد، می‌تواند موجب افزایش دما در نواحی غربی شود؛ زیرا این الگو دارای حرکت واچرخندی است و هنگامی که روی تنگه هرمز قرار گیرد، سبب شکل‌دهی فراز بادهای غربی بر روی جنوب ایران می‌شود؛ بنابراین به دلیل تبخیر شدید، بسته‌ای از هوای گرم می‌تواند بر روی جنوب ایران تشکیل شود. در نتیجه هوای گرم به غرب ایران نفوذ می‌کند و سبب کاهش شدید تضاد دمایی بر روی منطقه می‌شود. در زمان رخداد فرین ماه پاییز با توجه به نبود تضاد دمایی شدید بر روی منطقه و کاهش سرعت عمودی هوا، امکان شکل‌گیری جریان جت و بادهای شدید در تراز میانی جو فراهم نشده است.

نکته مهم درباره شرایط همدیدی منطقه همگام با بارش‌های سنگین، چرخش پادساعتگرد هوا در هنگام فعالیت

سامانه‌های چرخندی مدیترانه‌ای و سودانی به‌ویژه در دامنه‌های غربی و جنوبی کوه‌های زاگرس است که موجب افزایش تاو سرعت چرخندی هوا و سرعت صعود هوا شده است. این ویژگی دینامیکی در سامانه‌ی مدیترانه‌ای در زمان رخداد بارش فرین فصل بهار از راه گسترش رطوبت دریای خزر به سمت نواحی شمالی زاگرس سبب افزایش مقدار بارش شده است. در زمان وقوع بارش سنگین بهاری، سامانه‌ی مدیترانه‌ای روی شمال غربی ایران، بخش شمالی زاگرس و غرب دریای خزر مستقر شده است. از آنجاکه این الگو بر روی منطقه حرکت کندی داشته است، چرخش پادساعتگرد بادها در اطراف آن بر روی غرب دریای خزر رطوبت را جذب کرده و در راستای خلاف حرکت عقربه‌های ساعت به سمت نواحی شمالی زاگرس فرارفت کرده است. در نتیجه مقدار رطوبت سامانه افزایش یافته است و بارش سنگین در ایستگاه‌های شمالی استان کردستان اتفاق افتاده است؛ بنابراین یکی از ویژگی‌های مهم دیگر همدیدی متمایز از نتایج پژوهش‌های پیشین در زمینه بارش‌های شدید غرب ایران نقش دریای خزر در تقویت سامانه‌ی مدیترانه‌ای و تشدید بارش در بخش شمالی زاگرس بوده است.

### نتیجه‌گیری

بررسی بارش‌های فرین با شدت ۷۰ میلی‌متر و بیشتر در ایستگاه‌های غربی ایران در طول یک دوره ۲۲ ساله، نشان داد که این بارش‌ها در سه فصل زمستان، بهار و پاییز اتفاق افتاده‌اند. هسته اصلی این بارش‌ها در دامنه‌های غربی زاگرس در غرب استان‌های ایلام و کردستان تشکیل شده است. در فصل زمستان با تضعیف زبانه پرفشار سیبری، سیستم کم‌فشار مدیترانه‌ای به غرب ایران نفوذ کرده است و به دلیل استقرار ناوه مدیترانه در ترازهای بالاتر بر روی دریای سرخ فرارفت جریان هوای گرم و مرطوب از سمت دریای عرب و دریای سرخ به سمت نواحی غربی ایران در زیربخش شرقی ناوه، رخداد بارش شدید را به همراه داشته است. در فصل بهار به دلیل استقرار یک چرخند قوی مدیترانه‌ای بر روی بخش شمالی ایران و روی دریای خزر و تزریق رطوبت از سمت دریای مدیترانه و خزر و به‌ویژه از سمت دریای سرخ به درون این سامانه، بارش شدید در ایستگاه‌های شمال غربی و غربی کردستان و کرمانشاه اتفاق افتاده است؛ همچنین سنگین‌ترین رخداد فرین بارش در طول دوره آماری در فصل پاییز به ثبت رسیده است؛ زمانی که دو سامانه مدیترانه‌ای و سودانی با یکدیگر ادغام شده و از رطوبت دریاهای مدیترانه، شمال اقیانوس هند، دریای عرب و دریای سرخ بهره‌مند شده‌اند. استقرار چرخند عربستان بر روی تنگه هرمز و تشکیل بسته هوایی با دمای بالا بر روی خلیج فارس موجب تقویت بیشتر سامانه در جنوب غربی و غرب ایران شده است. در مورد بارش‌های فرین زمستان و بهار جت جنب حاره در تراز میانی جو تشکیل شده و سبب تقویت کم‌فشار سطح زمین شده است.

### منابع

- احمدی، محمود؛ لشکری، حسن؛ آزادی، مجید؛ کیخسروی، قاسم (۱۳۹۴). آشکارسازی تغییر اقلیم با استفاده از شاخص‌های حدی بارش در خراسان بزرگ. پژوهش‌های دانش زمین، ۶ (۲۳)، ۳۴-۵۲.
- اکبری، زینب؛ سیاه‌منصور، مجتبی؛ نصیری، فرناز (۱۳۹۳). تحلیل الگوهای سینوپتیکی و شاخص‌های ناپایداری منجر به وقوع بارش‌های نیمه‌سنگین و سنگین در استان لرستان. در: مهران مقصودی. مجموعه مقالات اولین همایش علوم جغرافیایی/ایران، (صص. ۱-۱۲). تهران: مؤسسه جغرافیا دانشگاه تهران.
- امینی، میترا؛ لشکری، حسن؛ کریمپور، مصطفی؛ حجتی، زهرا (۱۳۹۲). تحلیل سینوپتیک سامانه‌های همراه با بارش سنگین و سیل‌زا در حوضه رودخانه کشکان برای دوره آماری (۱۳۸۴-۱۳۵۰). نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۱۷ (۴۳)، ۲۰-۱.

- بازگیر، فضل‌اله؛ علی‌یاری، حسین؛ شاهرخوندی، سید منصور؛ بهنام‌پور، هدایت؛ ساحلی، قدرت؛ اسماعیل‌زاده، حسن؛ نقدی چگنی، عبدالرضا (۱۳۹۴). *استان‌شناسی لرستان*. تهران: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران.
- براتی، غلامرضا؛ بذاق جمالی، جواد؛ ملکی، ناصر (۱۳۹۱). نقش واچرخندها در رخداد بارش‌های سنگین دهه اخیر غرب ایران. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۴۴ (۸۰)، ۸۸-۹۸.
- عزیزی، قاسم؛ نیری، معصومه؛ رستمی جلیلیان، شیما (۱۳۸۸). تحلیل سینوپتیک بارش‌های سنگین در غرب کشور؛ مطالعه موردی بارش دوره ۷ تا ۱۴ مارس ۲۰۰۵. *فصلنامه جغرافیای طبیعی*، ۱ (۴)، ۱-۱۳.
- عساکره، حسین (۱۳۹۱). تحلیل تغییرات مؤلفه‌های مبنای نمایه‌های فرین بارش شهر زنجان. *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، ۲۷ (۱۰۵)، ۱-۱۸.
- عساکره، حسین؛ سیفی‌پور، زهره (۱۳۹۱). مدل‌سازی مکانی بارش سالانه ایران. *مجله جغرافیا و توسعه*، ۹ (۲۹)، ۱۵-۳۰.
- عساکره، حسین؛ ترکارانی، فاطمه؛ سلطانی، صغری (۱۳۹۱). مشخصات زمانی - مکانی بارش‌های روزانه فرین بالا در شمال غرب ایران. *تحقیقات منابع آب ایران*، ۱ (۳)، ۳۹-۵۳.
- عسکری‌زاده، سید محمد؛ مظفری، غلامعلی؛ مزیدی، احمد (۱۳۹۵). پیش‌بینی نوسانات نمایه‌های حدی بارش در شهر سبزواری با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی مدل Lars-WG برای دو دوره آتی ۲۰۱۱-۲۰۳۰ و ۲۰۴۶-۲۰۶۵. *فصلنامه جغرافیای طبیعی*، ۹ (۳۴)، ۶۳-۸۲.
- علایی طالقانی، محمود (۱۳۸۲). *ژئومورفولوژی ایران*. تهران: قومس.
- لشکری، حسن؛ قائمی، هوشنگ؛ پرک، فاطمه (۱۳۹۲). تحلیل رژیم بارندگی منطقه جنوب و جنوب غرب کشور. *مجله سپهر*، ۲۲ (۸۵)، ۵۷-۶۳.
- مجرد، فیروز؛ مرادی‌فر، حاجیمراد (۱۳۸۲). مدل‌سازی رابطه بارش با ارتفاع در منطقه زاگرس. *نشریه مدرس*، ۷ (۲)، ۱۶۳-۱۸۲.
- محمدی، حسین؛ فتاحی، ابراهیم؛ شمسی‌پور، علی‌اکبر؛ اکبری، مه‌ری (۱۳۹۱). تحلیل دینامیکی سامانه‌های سودانی و رخداد بارش‌های سنگین در جنوب غرب ایران. *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۱۲ (۲۴)، ۷-۲۴.
- محمودی، پیمان؛ علیجانی، بهلول (۱۳۹۲). مدل‌بندی رابطه بارش‌های سالانه و فصلی با عوامل زمین اقلیم در کردستان. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۱۳ (۳۱)، ۹۳-۱۱۲.
- مسعودیان، ابوالفضل؛ دارند، محمد (۱۳۹۲). شناسایی و بررسی تغییرات نمایه‌های بارش فرین ایران طی دهه‌های اخیر. *جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای*، ۱۱ (۲۰)، ۲۳۹-۲۵۷.
- منتظری، مجید (۱۳۸۸). تحلیل زمانی - مکانی بارش‌های فرین روزانه در ایران. *مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۲۰ (۳۴)، ۱۲۵-۱۴۰.

## References

- Ahmadi, M., Lashkari, H., Azadi, M. & Keikhosravi, Q. (2015). Climate change detection using precipitation extreme indicators in Khorasan. *Earth Sciences Researchs*, 6 (23), 34-52. (In Persian)
- Akbari, Z., Siah Mansour, M. & Nasiri, F. (2014). Analysis of synoptic patterns and instability indices resulted in heavy and semi-heavy rainfalls in Lorestan province. In: Mehran Maghsoudi. *Journals set of the First Conference of Iranian Geographical Sciences*, Tehran: Institute of Geography. University of Tehran, 1-12. (In Persian)
- Alaee Taleqani, M. (2003). *Geography of Iran*. Tehran: Publication of Qomes. (In Persian)
- Amini, M., Lashkari, H., Karmpour, M. & Hojati, Z. (2013). Synoptic analysis of systems associated with heavy rainfall and flooding in the Kashkan River Basin for the statistical period (2005-2006). *Journal of Geography and Environmental Planning*, 17 (43), 1-20. (In Persian)
- Asakereh, H. (2012). Analysis of Changes in Basic Components of Rainfall extreme indexes of Zanjan. *Journal of Geographical Research*, 27 (105), 1-18. (In Persian)
- Asakereh, H. & Seifipour, Z. (2012). Spatial modeling of annual rainfall in Iran. *Journal of*

- Geography and Development*, 9 (29), 15-30. (In Persian)
- Asakereh, H., Tarkarani, F. & Soltani, S. (2013). Tempo-Spatial Characters of Extreme Daily Precipitation of Northwest of Iran. *Iran-Water Resources Research*, 8 (3), 39-53. (In Persian)
- Askari Zadeh, S., Mozaffari, Q. & Mazidi, A. (2016). Oscillations Forecasting of Rainfall extreme Indexes in Sabzevar City Using Lars-WG Micro-Exponential Model for Two Future Periods 2011-2030 and 2046-2046. *Natural Geography*, 9 (34), 63-82. (In Persian)
- Azizi, Q., Nayeri, M. & Rostami, J. Sh. (2009). Synoptic analysis of heavy rainfall in the west of the country; a case study of the period March 7-14, 2005. *Journal of Natural Geography*, 1 (4), 1-13. (In Persian)
- Barati, Q., Bodaq Jamali, J. & Maleki, N. (2012). The Role of Anticyclones in the Occurrence of Heavy Rainfalls in the Recent decades of the Western Iran. *Journal of Natural Geography Research*, 44 (80), 88-98. (In Persian)
- Barcikowska, M. J., Weaver, S. J., Feser, F., Russo, S., Schenk, F. & Stone, D. A. (2018). Euro-Atlantic winter storminess and precipitation extremes under 1.5°C vs. 2°C warming scenarios. *Journal of Earth System Dynamics*, (9), 679-699.
- Bazgir, F., Ali Yari, H., Shahrokhandi, S., Behnampour, H., Saheli, Q., Ismaeelzadeh, H., & Naqdi Chegeni, A. (2015). *Lorestan Statology*. Tehran: Iran textbook Publishing Company. (In Persian)
- Cortes, M., Turco, M., Botija, M. L. & Llast, M. C. (2018). The relationship between precipitation and insurance data for floods in a Mediterranean region (northeast Spain). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, (18), 857-868.
- Das, S., Zhu, D. & Chi-Han, C. (2018). An assessment temporal effect on extreme rainfall estimates. *PIHAS Journal*, (379), 145-150.
- Feng, P., wang, B., Liu, D. L., Xing, H., Ji, F., Macdam, I., Ruan, H. & Yu, Q. (2018). Impact of rainfall extremes on wheat yield in semi - arid cropping systems in eastern Australia. *Journal of Climatic Change*, (147), 555-569.
- Hellstrom, C. (2005). Atmospheric conditions during extreme and non-extreme precipitation events in Sweden. *International Journal Climatology*, (25), 631-648.
- Krishnamurthy, C. K. B., Lall, U. & Kwon, H. H. (2009). Changing frequency and intensity of rainfall extremes over India from 1951 to 2003. *Journal of Climate*, (22), 4737-4746.
- Lashkari, H., Ghaemi, H., & Parak, F. (2013). Analysis of the rainfall regime in the south and southwest of the country. *Sepehr Magazine*. 22 (85), 57-63. (In Persian)
- Li, Y., Cai, W. & Campbell, E. P. (2005). Statistical modeling of extreme rainfall in southwest western Australia. *Journal of Climate*, 18, 852-863.
- Libertino, A., Ganora, B. & Claps, P. (2018). technical note: space-time analysis of rainfall extremes in Italy : clues from reconciled dataset. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22, 2705-2715.
- Mahmoudi, P. & Alijani, B. (2013). Modeling the Relationship between Seasonal and annual Precipitation with Geo-Climatic Factors in Kurdistan. *Journal of Geosciences Applied Research*, 13 (31), 93-112. (In Persian)
- Masoudian, A. & Darand, M. (2013). Identifying and investigating changes of Iran's extremes rainfall indexes in recent decades. *Journal of Geography and Regional Development*, 11 (20), 239-257. (In Persian)
- Mekis, E. & Hogg, W. D. (1999). Rehabilitation and analysis of Canadian daily precipitation time Series. *Journal of Atmos.-Ocean*, 37, 53-85.
- Mizrahi, F. (2000). Heavy daily Precipitation distribution in east-central France and west European meteorological patterns. *Journal of Theoretical Application Climatology*, (66), 199-210.
- Mohammadi, H., Fattahi, E., Shamsipour, A. & Akbari, M. (2012). Dynamic analysis of Sudanese systems and the occurrence of heavy rainfall in southwestern Iran. *Journal of Geosciences Applied Research*, 12 (24), 7-24. (In Persian)
- Mojarrad, F. & Moradifar, H. (2003). Modeling the relationship of precipitation and elevation in the Zagros region. *Publication of Modares*, 7 (2), 163-182. (In Persian)
- Montazeri, M. (2009) Tempo-spatial analysis of extreme 24 hour precipitations in Iran, *Journal of Geography and Environment Planning*, 34 (20), 125-140. (In Persian)

- Papalexiou, S. M. & Montanari, A. (2017). global and regional increase of precipitation extremes under global warming .*Water Resources Research*, 1-35.
- Putkonen, J. K. (2004).Continuous Snow and Rain Data at 500 to 4400 m Altitude near Annapurna, Nepal,1992-2001.*Arctic,Antractic and Alpine Research*, 36 (2), 244-248.
- Sim, I., Lee, O. & Kim, S. (2019). Sensitivity analysis of extreme daily rainfall depth in summer season on surface air temperature and dew-point temperature. *Journal of Water*, 11 (771), 1-21.
- Wang, B., Ding-Qing, H. & Jhun, T. (2006). Trends in Seoul 1778-2004 summer precipitation. *Geophysical Research Letters*, 33, 1-5.