

Investigating the Role of Interaction between Cut-Off Low Coupled Patterns and Polar Front Jet Stream in Heavy Rainfall of April 2019 in Lorestan Province

Koohzad Raispour^{a*}, Hossein Asakereh^b

^a Assistant Professor in Climatology, Department of Geography, University of Zanjan, Zanjan, Iran

^b Professor in Climatology, Department of Geography, University of Zanjan, Zanjan, Iran

Received: 21 November 2020

Revised: 22 January 2021

Accepted: 6 February 2021

Abstract

Heavy rainfalls are considered as a risk factor in the occurrence of floods and continuously cause irreparable damages in most areas, including Lorestan province. This study explored the role of interaction between Cut-Off Low (COL) coupled patterns and Polar Front Jet Stream (PFJS) in heavy rainfall event of April 2019 in Lorestan province. In order to achieve this goal, daily atmospheric monitoring parameters (pressure maps, temperature, wind, vorticity, relative humidity, etc.) NCEP/NCAR database with a spatial resolution of 2.5 degrees was used to identify the effective synoptic patterns on the meteorological condition of the studied area, GFS global numerical model overlay maps with a spatial resolution of 13 km was used to compare wind flow with the studied parameters, TRMM satellite precipitation data with a spatial resolution of 0.25 degrees was used to monitor the spatial distribution of precipitation, and observation data of Khorramabad meteorological station based on synoptic meteorological codes were used to analyze the weather conditions during heavy rainfall events. The obtained results show the instability and rise of moist air due to the two forcings of the COL and the PFJS and the convergence of moist currents from three moisture centers of the northern Indian Ocean, the Red Sea, and the eastern Mediterranean. These features provided the synoptic-dynamic conditions necessary for the occurrence of heavy rainfall. However, many other environmental factors like the saturation of the surface layer of the soil due to the high amount of precipitation in the days before the flood have played a role in the aggravation of the said flood.

Keywords: Heavy Rainfall, COL, PFJS, Synoptic and Dynamic Analysis, Lorestan Province

*. Corresponding author: Koohzad Raispour E-mail: Raispour@znu.ac.ir Tel: +98916073187

How to cite this Article: Raispour, K., Asakereh, H. (2022). Investigating the role of interaction between Cut-Off Low coupled patterns and Polar Front Jet Stream in heavy rainfall of April 2019 in Lorestan province. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 11(3), 225-249.

DOI:10.22067/geoeh.2021.67237.0



Journal of Geography and Environmental Hazards are fully compliant With open access mandates, by publishing its articles under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).





Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Geography and Environmental Hazards

Volume 11, Issue 3 - Number 43, Fall 2022

<https://geoeh.um.ac.ir>


 <https://doi.org/10.22067/geoeh.2021.67237.0> 

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال یازدهم، شمارهٔ چهارم و سوم، پاییز ۱۴۰۱، صص ۲۴۹-۲۲۵

مقاله پژوهشی

بررسی نقش تعامل الگوهای توأم بریده کم فشار و رودباد جبهه قطبی در رخداد بارش سنگین

فروردین ماه ۱۳۹۸ در استان لرستان

 کوهزاد رئیس پور^۱ - استادیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

حسین عساکره - استاد اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۹/۱ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۱/۳ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۱۱/۱۸

چکیده

بارش‌های سنگین به‌عنوان عامل مخاطره‌آمیز در بروز سیل، به‌طور مداوم خسارت‌های جبران‌ناپذیری در بیشتر مناطق، از جمله استان لرستان وارد می‌کند. در این پژوهش به بررسی نقش تعامل الگوهای توأم بریده کم‌فشار و رودباد جبهه قطبی در رخداد بارش سنگین فروردین ماه ۱۳۹۸ در استان لرستان پرداخته شد. برای نیل به این هدف، از چهار پایگاه داده شامل: فراسنج‌های پایش جوی روزانه (نقشه‌های فشار، دما، باد، تاوایی، رطوبت نسبی و ...) پایگاه NCEP/NCAR با قدرت تفکیک مکانی ۲/۵ درجه جهت شناسایی الگوهای همدیدی مؤثر بر وضعیت هواشناختی منطقه مورد مطالعه، نقشه‌های همپوشانی مدل عددی جهانی GFS با قدرت تفکیک مکانی ۱۳ کیلومتر برای بررسی تطبیقی جریان باد با فراسنج‌های مورد مطالعه، داده‌های بارش ماهواره TRMM با قدرت تفکیک مکانی ۰/۲۵ درجه، جهت پایش توزیع فضایی بارش و داده‌های مشاهداتی ایستگاه هواشناسی خرم‌آباد بر اساس کدهای هواشناسی همدیدی (ww)، در راستای تحلیل وضعیت هوا در هنگام رخداد بارش سنگین، استفاده شد. نتایج حاصله حاکی از ناپایداری و صعود هوای مرطوب، توسط دو واداشت جوی بریده کم‌فشار و رودباد جبهه قطبی و همگرا

Email : Raispour@znu.ac.ir

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۶۶۰۷۳۱۸۷

نحوه ارجاع به این مقاله:

رئیس پور، کوهزاد، عساکره، حسین. (۱۴۰۱). بررسی نقش تعامل الگوهای توأم بریده کم‌فشار و رودباد جبهه‌ی قطبی در رخداد بارش سنگین فروردین ماه ۱۳۹۸ در استان لرستان. جغرافیا و مخاطرات محیطی, ۱۱(۳). صص ۲۴۹-۲۲۵

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2021.67237.0>

شدن جریانات مرطوب از سه کانون رطوبتی شمال اقیانوس هند، دریای سرخ و شرق مدیترانه می‌باشد. این ویژگی‌ها، شرایط همدیدی - دینامیکی لازم را برای وقوع بارش سنگین مهیا نمود. البته عوامل محیطی متعدد دیگری، از قبیل اشباع بودن لایه سطحی خاک به دلیل میزان بالای بارش در روزهای قبل از وقوع سیل و ... در تشدید سیل مذکور نقش داشته‌اند.

کلیدواژه‌ها: بریده کم‌فشار، رودباد جبهه‌قطبی، واداشت جوی، کانون رطوبتی، استان لرستان.

۱- مقدمه

سیلاب‌ها یکی از شدیدترین و مخرب‌ترین مخاطرات جوی می‌باشند که آثار زیانباری داشته و انسان و طبیعت را در سطح وسیعی متأثر می‌نمایند (ملکی و همکاران، ۱۳۹۲؛ فرجی سبکبار و همکاران، ۱۳۹۳). کشور ایران به دلیل شرایط و موقعیت خاص جغرافیایی، از ویژگی‌های متفاوت بارشی برخوردار می‌باشد؛ به نحوی که علی‌رغم دارا بودن بارشی معادل یک سوم میانگین بارش جهانی، دارای نوسانی شدید در رژیم بارش است (مسعودیان، ۱۳۸۷؛ نوری، ۱۳۹۱). رخداد بارش‌های شدید و رگباری از جمله ویژگی‌های آب و هوایی نواحی خشک و نیمه‌خشک است که موجب بروز سیل می‌شود (امیدوار و همکاران، ۱۳۹۲). کشور ایران نیز به دلیل این ویژگی به‌کرار از پدیده سیل متأثر می‌گردد (براتی و همکاران، ۱۳۹۳). الگوهای همدید، دوری و نزدیکی به دریا، ارتفاع، شیب و جهت ناهمواری از مهم‌ترین بسترهای شکل‌گیری رخداد بارش به حساب می‌آیند. تعامل و اندرکنش این عوامل می‌تواند باعث افزایش بارش‌های سنگین و رخداد سیل شود (سیوتاس و فلکاس، ۲۰۰۳). با مطالعه اقلیم‌شناسی بارش، ضمن شناخت ویژگی‌ها و رفتار بارش، امکان برنامه‌ریزی برای مدیریت منابع آب فراهم می‌گردد (عساکره و رزمی، ۱۳۹۰). از این رو چگونگی رفتار بارش به‌ویژه در شرایط بحرانی (نظیر خشکسالی و سیلاب) مورد توجه پژوهش‌گران در سطح ایران و جهان بوده است. در این زمینه می‌توان به مطالعات پژوهشگرانی از جمله: روبرت، ۱۹۹۸؛ هند، ۲۰۰۴؛ کریشنا، ۲۰۰۸؛ مولر و همکاران، ۲۰۰۹؛ فلون و همکاران، ۲۰۱۷؛ کلدیپ و همکاران، ۲۰۱۹ اشاره نمود که با نگرش‌ها و اهداف مختلف در ارتباط با واکاوی دینامیکی، ترمودینامیکی و همدیدی بارش‌های سنگین انجام شده است. از دیگر مطالعات انجام‌شده در خصوص بارش‌های سنگین در جهان می‌توان به تحقیقات وبستر و همکاران، ۲۰۰۵؛ هلستروم، ۲۰۰۵؛ پرسون و همکاران، ۲۰۰۵؛ موهاپاترا و موهان تی، ۲۰۰۵؛ رودری و همکاران، ۲۰۰۵؛ لنا و همکاران، ۲۰۰۷؛ لاسات و همکاران، ۲۰۰۷؛ تریپولی و همکاران، ۲۰۰۸؛ سن روی، ۲۰۰۸؛ لندرینگ و همکاران، ۲۰۰۹؛ اسپومن و همکاران، ۲۰۰۹؛ مانان و همکاران، ۲۰۱۳؛ لی یو و همکاران، ۲۰۱۳؛ آحامد و همکاران، ۲۰۱۴؛ شارما و همکاران، ۲۰۱۷؛ فروید و همکاران، ۲۰۱۸ اشاره کرد که از زوایای مختلف و با استفاده از شگردهای مطالعاتی متعدد و متنوعی همچون شگردهای مبتنی بر روش‌های آماری، همدیدی، ماهواره‌ای و ... صورت گرفته است. در ایران نیز مطالعات متعددی در خصوص بررسی بارش‌های سیل‌آسا انجام شده است. علیجانی و همکاران (۱۳۸۹) با بررسی شرایط

همدیدی بارش سنگین ۶ ژانویه جنوب‌شرق ایران، نشان دادند که رخداد بارش سنگین مورد مطالعه، با شرایط مطلوب همدیدی نظیر وجود رطوبت زیاد در تراز پایین جو، به‌ویژه تخلیه رطوبتی شدید از خلیج فارس، بی‌هنجاری‌های منفی شدید در ترازهای میانی جو و استقرار رودباد جنب‌حاره‌ای در غرب منطقه مرتبط بوده است. **پرنده‌خوزانی و لشکری (۱۳۸۹)** با بررسی همدیدی طوفان‌های شدید که زمینه‌ساز وقوع بارش‌های سنگین و سیل‌آسا در غرب ایران شده‌اند، اظهار نمودند که این طوفان‌ها نتیجه تقویت و تشدید مرکز کم‌فشار سودان و منطقه همگرایی دریای سرخ و تبدیل آن‌ها به یک سامانه دینامیکی یا ترمودینامیکی هستند. **امیدوار و همکاران (۱۳۸۶)** به مطالعه تأثیر سردچال‌ها بر وقوع بارش‌های شدید در نواحی جنوب‌غرب ایران پرداخته و به این نتیجه رسیده‌اند که عامل اصلی ایجاد بارش، نفوذ و استقرار سامانه پرفشارسیبری و تشکیل سردچال وسیع بر روی جنوب دریای خزر و مرکز ایران بوده است. در تحقیقی مشابه که توسط **گندمکار (۱۳۸۹)** انجام گرفت عامل اصلی بروز بارش‌های سیل‌زا در نواحی جنوبی استان بوشهر را سامانه کم‌فشار سودانی توأم با سامانه‌های مدیترانه‌ای معرفی نموده است. همچنین **قویدل رحیمی (۱۳۹۰)** با به‌کارگیری تعدادی از نمایه‌های ناپایداری به ارزیابی توفان تندری روز ۵ اردیبهشت ۸۹ در تبریز پرداخت و نشان داد که وقوع توفان تندری و بارش مذکور بر اثر ورود جبهه هوای سرد و عوامل دینامیکی صورت گرفته است. **محمدی و همکاران (۱۳۹۱)** با مطالعه بارش‌های سیل‌آسای جنوب‌غرب ایران، افزایش تاوایی نسبی در شرق دریای مدیترانه و غرب دریای سرخ را مهم‌ترین عامل وقوع این بارش‌ها قلمداد کرده‌اند. عوامل متعدد دیگری نیز توسط برخی از محققین به‌عنوان عامل اصلی رخداد بارش‌های سنگین در ایران ارائه شده است که از جمله این عوامل می‌توان به: اختلاف فشار و شکل‌گیری جبهه حاصل از برخورد پرفشارهای شمالی و کم‌فشارهای داخل ایران، تقویت نسیم دریا و خشکی، اثر دمای سطح دریا، اختلاف دمای سطح دریا و هوای روی آن اشاره نمود (**قشقایی، ۱۳۷۵؛ خوشحال، ۱۳۷۶؛ حسینجانی، ۱۳۸۳؛ مرادی، ۱۳۸۳**). از دیگر مطالعات انجام شده در این خصوص که نشان از تلاش محققان برای شناسایی عوامل مؤثر بر رخداد بارش‌های سنگین در گستره ایران دارد می‌توان به بررسی اثر ناوه عمیق شرق مدیترانه بر بارش‌های سنگین ایران (**مفیدی و زرین، ۱۳۸۴**)، اثر فرودهای عمیق مدیترانه‌ای بر بارش‌های سیل‌زای ایران (**امیدوار، ۱۳۸۶**)، اثر ناوه شمال آفریقا بر بارش‌های سنگین جنوب و جنوب‌غرب ایران، تعیین دریا‌های عمان و عرب به‌عنوان مهم‌ترین کانون‌های رطوبتی مؤثر بر برخی از بارش‌های زمستانه ایران (**فرج‌زاده و همکاران، ۱۳۸۸**)، بررسی شار رطوبتی سنگین‌ترین بارندگی زمستانی در ایران مرکزی (**براتی و همکاران، ۱۳۹۳**) و مطالعات متعدد دیگری توسط **محمدی، ۱۳۸۸؛ عزیزی و همکاران، ۱۳۸۸؛ کرپور و همکاران، ۱۳۹۲؛ مظفری و همکاران، ۱۳۹۶؛ مفاخری و همکاران، ۱۳۹۶؛ مصطفی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۷؛ شادمانی و همکاران، ۱۳۹۷** اشاره کرد که نتایج حاصله به‌خوبی بیان‌گر این است که الگوهای همدیدی متفاوتی در عرض‌های جغرافیایی مختلف سبب وقوع

بارش‌های سنگین می‌شوند. چرخندها، جبهه‌ها، فرودها^۱، رودبادها، کم‌فشارهای بریده شده، همرفت‌های قوی، اثر دمای آب دریاها و اقیانوس‌ها (SST)، توپوگرافی و کوه‌بارش‌ها، سبب رخداد ناهنجاری‌ها در سرعت عمودی هوا، همگرایی پایینی، واگرایی بالایی، وزش رطوبتی، دمای سطح دریا و... شده و در نهایت باعث رخداد ناهنجاری‌های بارشی و بارش‌های سنگین می‌شوند. بنابراین با وجود شناخته‌شدن سیل به‌عنوان یکی از مخاطرات طبیعی و وقوع هر ساله آن در ایران، نه تنها خسارت ناشی از این پدیده کاهش نیافته است بلکه از روند فزاینده‌ای نیز برخوردار می‌باشد. لذا برنامه‌ریزی و تلاش در جهت کاهش خسارات ناشی از آن امری ضروری می‌باشد. استان لرستان در جنوبغرب ایران، به فراخور موقعیت جغرافیایی و شرایط زمین‌شناسی و ژئومورفولوژیکی خاص خود، همه‌ساله به دلیل وقوع بارش‌های شدید و طغیان رودخانه‌ها، از سیل‌های ویرانگر متأثر می‌شود. بنابراین شناخت الگوی این نوع بارش‌ها و سازوکارهای همدیدی—دینامیکی منجر به وقوع آن‌ها، کمک زیادی به شناسایی و پیش‌بینی آن‌ها خواهد نمود. هدف اصلی این تحقیق نیز شناخت ماهیت و سازوکار الگوهای مولد بارش سنگین و سیل‌زای ۱۰ تا ۱۲ فروردین ۱۳۹۸ در استان لرستان می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

میزان بارش منجر به رخداد سیل ۱۰ تا ۱۲ فروردین ۱۳۹۸ از مقدار بسیار بالاتری نسبت به سایر بارش‌های سیل آسا در استان لرستان برخوردار و به استناد آمار سازمان هواشناسی بی‌سابقه بوده است. از سویی دیگر با آگاهی از این‌که وقوع بارش‌های سنگین در هر منطقه با الگوهای همدید تراز بالای جو و شرایط هواشناسی حاکم بر آن منطقه در ارتباط بوده و با فرض بر اینکه گاهی بارش‌های شدید در نیمه غربی ایران متأثر از موقعیت کم‌فشارهای بریده‌شده و رودباد جبهه‌قطبی می‌باشند (امیدوار، ۱۳۹۲)، بارش مذکور به‌عنوان مورد تحقیق انتخاب شد. در ابتدا جهت شناسایی الگوهای همدیدی مؤثر بر وضعیت هواشناختی منطقه مورد مطالعه، از داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل (m)، سرعت باد (m/s)، جهت جریان، نم و ویژه (g/kg)، دمای هوا (K) و تاوایی با گام‌های زمانی یک روزه و مکانی ۲/۵ درجه مرکز ملی محیطی و اقیانوس‌شناسی ایالات متحده آمریکا (NCEP/NCAR)^۲ استفاده شد. در گام دوم جهت بررسی همزمان وضعیت باد و دیگر فراسنج‌های هواشناسی (بررسی تطبیقی) از داده‌های ساعتی دما، رطوبت نسبی، میزان رطوبت ابر و آب قابل بارش، از نقشه‌های همپوشانی شده برونداد مدل عددی معتبر پیش‌بینی و پیش‌یابی جهانی GFS با قدرت تفکیک مکانی ۱۳ کیلومتر استفاده شد. سپس جهت دست‌یابی به دیدی جامع و همه‌جانبه از توزیع فضایی بارش در منطقه مورد مطالعه، داده‌های بارش ماهواره (TRMM)^۳ به کار گرفته شد. ماهواره TRMM

1 Trough

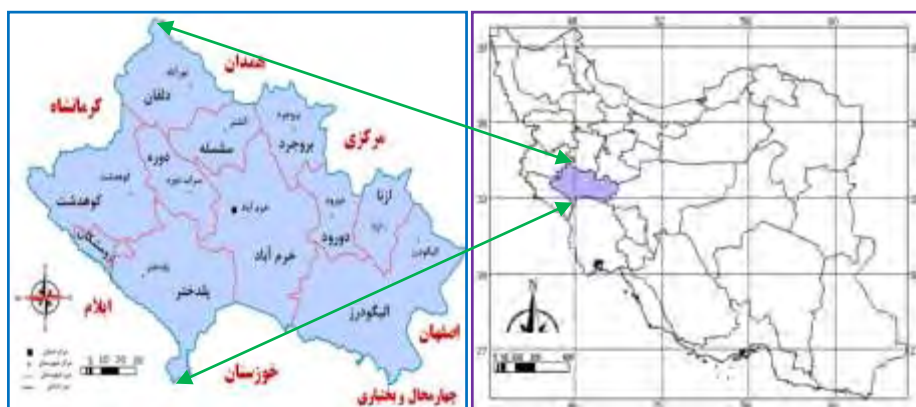
2 National Centers for Environmental Prediction (NCEP) and the National Center for Atmospheric Research (NCAR).

3 Tropical Rainfall Measuring Mission.

برای بررسی و مطالعه بارش از عرض جغرافیایی ۵۰ درجه جنوبی تا ۵۰ درجه شمالی به کار گرفته شده است. داده‌های این ماهواره با گام‌های مکانی 0.25×0.25 درجه و بازه زمانی ۴ بار در روز (از سال ۲۰۰۰ میلادی تاکنون) ارائه می‌شود. در این تحقیق نیز از داده‌های روزانه سطح ۳ نسخه ۷ ماهواره TRMM استفاده شد. همچنین جهت تحلیل شرایط جوی حاکم بر ایستگاه هواشناسی خرم‌آباد (بر اساس نشانه‌ها و کدهای هواشناسی همدیدی (ww) در زمان وقوع بارش سنگین) از داده‌های پایگاه ogimit استفاده شد. پایگاه داده ogimit یک سرویس ارائه دهنده اطلاعات هواشناسی می‌باشد که در خصوص شرایط فعلی هوا به صورت سریع و حرفه‌ای عمل می‌نماید. این پایگاه به طور عمده از داده‌های NOAA و داده‌های سازمان هواشناسی جهانی استفاده می‌کند. در گام نهمی داده‌های مورد استفاده با گام‌های زمانی (ساعتی و روزانه) و مکانی مختلف (از 0.25 تا 2.5 درجه) برای ترازهای سطح دریا، ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال برای گستره ۰ تا ۷۰ درجه طول شرقی و ۱۰ تا ۶۰ درجه عرض شمالی استخراج و با استفاده از نرم‌افزارهای مختلف آماری و ترسیمی مورد پردازش قرار گرفت. به علت تعدد زیاد نقشه‌های متغیرهای مورد مطالعه، در برخی موارد صرفاً به نقشه‌های روز اوج بارش اکتفا شده است.

۳- منطقه مورد مطالعه

استان لرستان با وسعتی حدود ۲۸۵۵۹ کیلومتر مربع در مختصات جغرافیایی $E 50^{\circ} 3' - 46^{\circ} 51'$ و $N 34^{\circ} 20' - 32^{\circ} 37'$ واقع می‌باشد (شکل ۱). لرستان سرزمینی کوهستانی است که به جز تعدادی دره آبرفتی و چند دشت کوچک، ناحیه هموار نداشته و تقریباً تمامی آن را کوه‌های زاگرس مرکزی در بر گرفته است که به طور منظم دارای امتدادی شمال‌غربی-جنوب‌شرقی می‌باشند. این ناهمواری‌های همراه با دره‌های عمیق همگرا، اغلب فشرده، بلند و ناصاف هستند که به علت شیب بسیار زیاد و نفوذپذیری بسیار کم قابلیت سیل خیزی منطقه را افزایش می‌دهند (نگارش و همکاران، ۱۳۹۰). تفاوت ارتفاع (اشترانکوه با ارتفاع ۴۰۵۰ متر واقع در حدفاصل شهرستان‌های دورود، ازنا و الیگودرز و جنوب شهرستان پلدختر با ارتفاع حدود ۵۰۰ متر) موجب شده است این استان علیرغم وسعت کم، از تنوع اقلیمی بالایی برخوردار باشد؛ به طوری که در زمستان، هنگامی که در شمال لرستان برف و کولاک و سرمای شدید جریان دارد، قسمت‌های جنوبی آن از هوای مطبوع و بارانی برخوردار است. اختلاف ثبت شده دما در شهرهای استان لرستان بین حداکثر و حداقل مطلق دما بیش از ۸۰ درجه سانتی‌گراد است. استان لرستان با بارش میانگین سالانه ۵۵۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر بعد از استان‌های گیلان و مازندران سومین، استان از نظر بارندگی در کشور است (زند و همکاران، ۱۳۹۴).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه

۳-۱- مشخصات بارش سنگین فروردین ۱۳۹۸

بارش‌های سنگین و مداوم فروردین ۱۳۹۸ در استان لرستان به‌طور گسترده در پهنه‌ای با گستره بیش از ۴۰ هزار کیلومترمربع رخ داده است. در همین ایام بارش گسترده در استان‌های ایلام، لرستان، کرمانشاه، همدان و ... بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر در ۴۸ ساعت گزارش شد (شکل ۲). از سویی دیگر حجم بسیار بالای بارش طی ماه‌های پایانی سال ۱۳۹۷ و بارش‌های سنگین و مداوم در روزهای منتهی به رخداد بارش در بخش وسیعی از مناطق غرب و جنوب‌غرب کشور، میزان نفوذپذیری خاک را به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش داد (شکل A, B: ۲ و جدول ۱). همچنین می‌توان، به شدت بارش در روز ۱ آوریل ۲۰۱۹ (۱۲ فروردین ۱۳۹۸) در استان لرستان اشاره کرد که میزان بارش (تندری) در این روز در ایستگاه هواشناسی خرم‌آباد ۱۰۸ میلی‌متر گزارش شد (شکل C: ۲). حاکمیت چنین شرایطی در روزهای موردنظر، منجر به شکل‌گیری حجم بسیار زیادی رواناب شد که به لحاظ اکولوژیکی بسیار بالاتر از توان اکولوژیک حوضه‌های آبریز منطقه بود. علاوه بر این، عوامل دیگری از قبیل سازندهای زمین‌شناسی با ساختار مساعد سیل‌خیزی (نفوذپذیری بسیار کم) و چینه‌بندی مناسب چین‌خوردگی‌های زاگرس میانی، در همگرایی و تمرکز جریان‌های سیلابی منجر به رخداد سیل ۱ آوریل (۱۲ فروردین) نقش فزاینده‌ای داشته است.

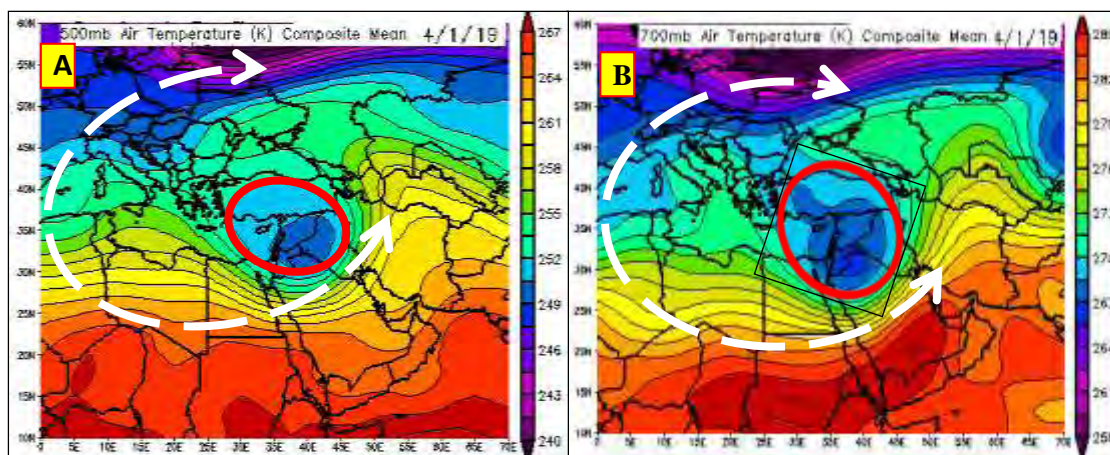
۳-۲- تحلیل ساختار و گردشی جو

بررسی‌های اولیه الگوهای همدیدی حاکم در زمان وقوع بارش سنگین در منطقه مورد مطالعه، به خوبی هم‌افزایی دینامیکی ناشی از تعامل دو الگوی بریده کم‌فشار و رودباد جبهه قطبی را در رخداد بارش ۱ آوریل (۱۲ فروردین) و سیل ناشی از آن نشان می‌دهد (شکل ۲: A, B, C, D). بنابراین پس از بارزسازی ماهیت و نقش الگوهای همدیدی مورد مطالعه، به تحلیل فراسنج‌های مختلف جوی، در راستای تبیین سازوکار بارشی منجر به رخداد سیل پرداخته شد.

۴- یافته‌های پژوهش

۴-۱- توزیع مکانی دمای تراز میانی

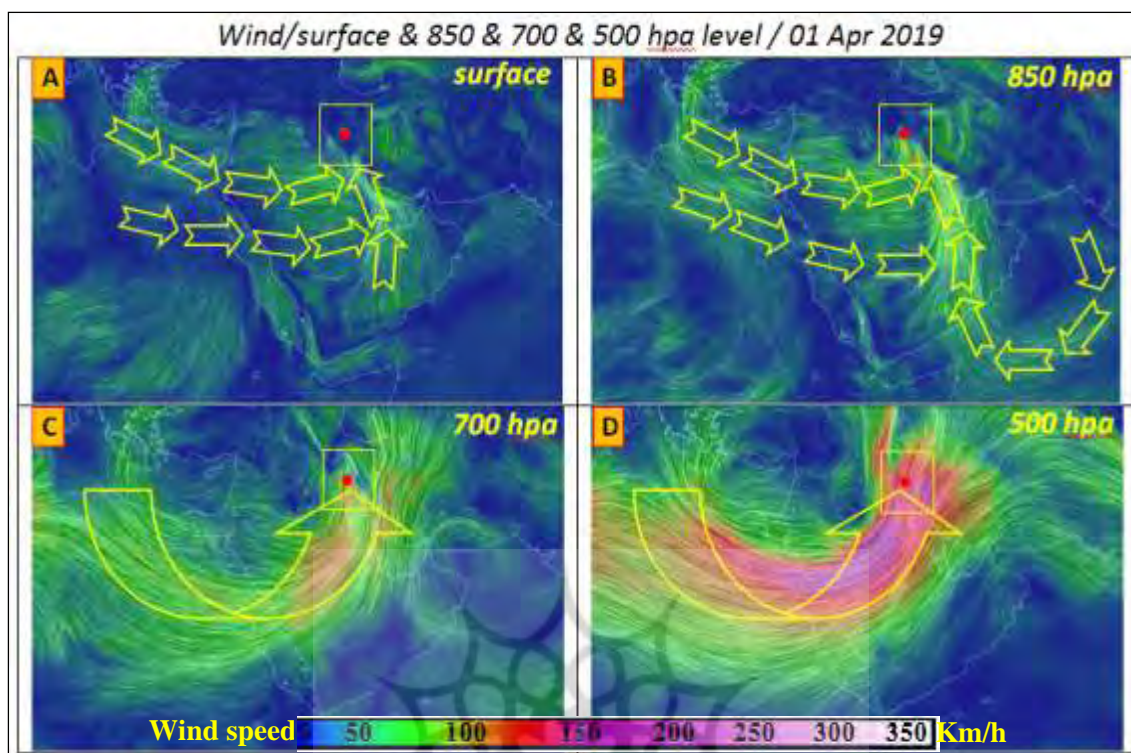
سردچال جوی^۱ چاله‌ای مملو از هوای سرد می‌باشد که در حرکت‌های نصف‌النهاری بادهای سطح بالا، بر اثر فرود عمیق موج از جریان اصلی جدا شده و در جنوب بادهای اصلی باقی می‌ماند (علیجانی، ۱۳۹۵). آرایش توپوگرافی الگوهای دما در تراز میانی جو به خوبی تبیین کننده ماهیت و مکانیسم آن می‌باشد. شکل (۳: A, B) بیانگر توزیع دمای هوا در ترازهای ۵۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال روز ۱ ام آوریل ۲۰۱۹ می‌باشد. همان‌طوری که در این نقشه‌ها مشهود است، دمای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روز مذکور، یک سردچال جوی که پربند دمایی مرکز آن دمای ۲۴۵ درجه کلوین (-28°C) را نشان می‌دهد، بر روی شرق دریای مدیترانه و غرب سوریه مستقر شده است. بررسی نقشه‌های متوالی در روزهای مورد مطالعه حاکی از توقف ریزش هوای سرد قطبی به داخل سردچال مذکور و محبوس شدن آن در جای خود در روز ۱ ام آوریل ۲۰۱۹ می‌باشد (۳: A). بارز بودن سردچال مذکور در تراز میانی جو و گسترش قائم آن تا تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال با پربند دمای مرکزی 265°K (-8°C) بیانگر قوی بودن سردچال و اثرگذاری آن بر ناپایداری هوای لایه مرزی می‌باشد (۳: B). از سویی دیگر بررسی پربندهای هم‌دما و هم‌ارتفاع بر روی نقشه‌های تراز میانی جو، حاکی از انطباق محورهای حرارتی و پربندی بوده که این شرایط در روز ۲ ام آوریل با آمیخته شدن هوای سرد درون بریده کم‌فشار با هوای گرم پیرامونی از بین رفته است. در حقیقت زوال دوره حیات سردچال، خاتمه فعالیت سامانه بارشی را در منطقه مورد مطالعه به دنبال داشته است.



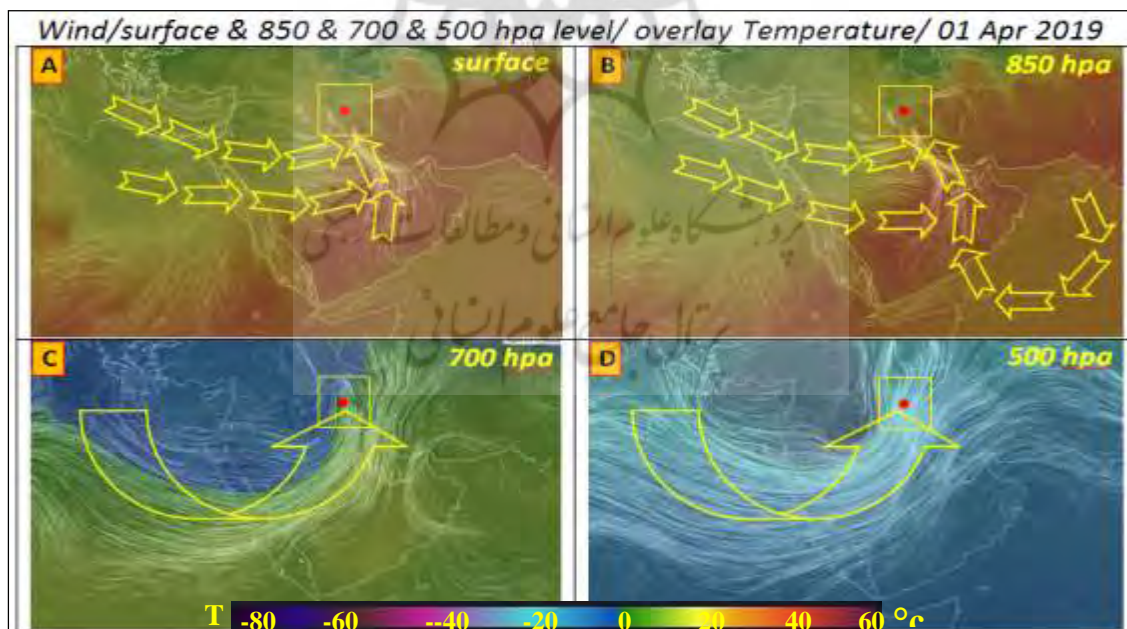
شکل ۳- نقشه دمای تراز ۵۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال در روز ۱ ام آوریل ۲۰۱۹ - دما بر حسب کلونین

۴-۲- نقشه‌های برهم نهی باد و فراسنج‌های هواشناسی (مدل GFS)

نقشه‌های پرونداد مدل GFS (همپوشانی متغیر باد و دیگر فراسنج‌های هواشناسی) به‌خوبی تبیین‌کننده سازوکار دینامیکی لازم در شکل‌گیری سامانه بارشی مدنظر است. در این نقشه‌ها فشردگی خطوط جریان هوا و جهت جریان در تراز میانی جو بیانگر وجود رودباد جبهه قطبی تا تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال می‌باشد (شکل ۴). بدین مفهوم که در روز ۱ ام آوریل، خطوط جریان پیوسته در تراز میانی جو، جریان شدید شرق‌سوی هوا را به سمت منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. در این روز، سرعت باد در جریان مرکزی رودباد به بیش از ۴۵ متر بر ثانیه رسیده است (شکل D: ۴). در ترازهای سطح دریا و سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال نیز همگرایی جهت جریان‌های باد به سمت منطقه مورد مطالعه کاملاً مشخص و به‌خوبی نشان‌دهنده انتقال رطوبت از کانون‌های رطوبتی دریای سرخ، اقیانوس هند و دریای مدیترانه با تمرکزگرایی و شدت بالا به سمت منطقه مورد مطالعه بوده است (شکل A, B: ۴). در سطوح ۷۰۰ هکتوپاسکال نیز جهت جریان باد ضمن تبعیت از تراز میانی جو از اثرگذاری بیشتری بر نیمه غربی ایران برخوردار است (شکل C: ۴). بیشترین سرعت باد به ترتیب در ترازهای دریا، ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال برابر با ۱۵، ۲۰، ۸۰ و ۱۵۱ کیلومتر بر ساعت بوده است. همچنین جهت باد در ترازهای مذکور به ترتیب ۱۱۵، ۱۳۵، ۱۷۵ و ۲۰۰ درجه است. (جدول ۲). نقشه‌های دما نیز کاهش دما را از سطح زمین تا تراز میانی جو در راستای قائم نشان می‌دهد به‌طوری‌که دما در ایستگاه هواشناسی خرم‌آباد $10/2^{\circ}\text{C}$ ، و در ترازهای ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال به ترتیب 7°C ، $7/5^{\circ}\text{C}$ و $26/3^{\circ}\text{C}$ ثبت شده است (شکل ۵ و جدول ۲).

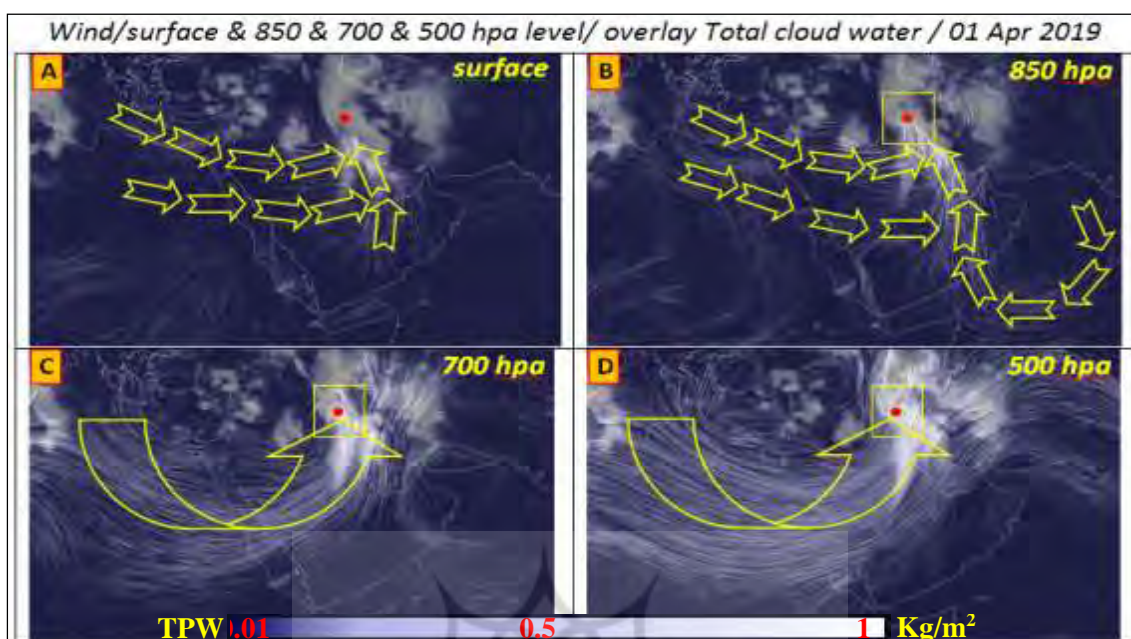


شکل ۴- نقشه‌های جهت و سرعت جریان باد ترازهای مختلف جوی در روز اوج بارش سنگین در استان لرستان

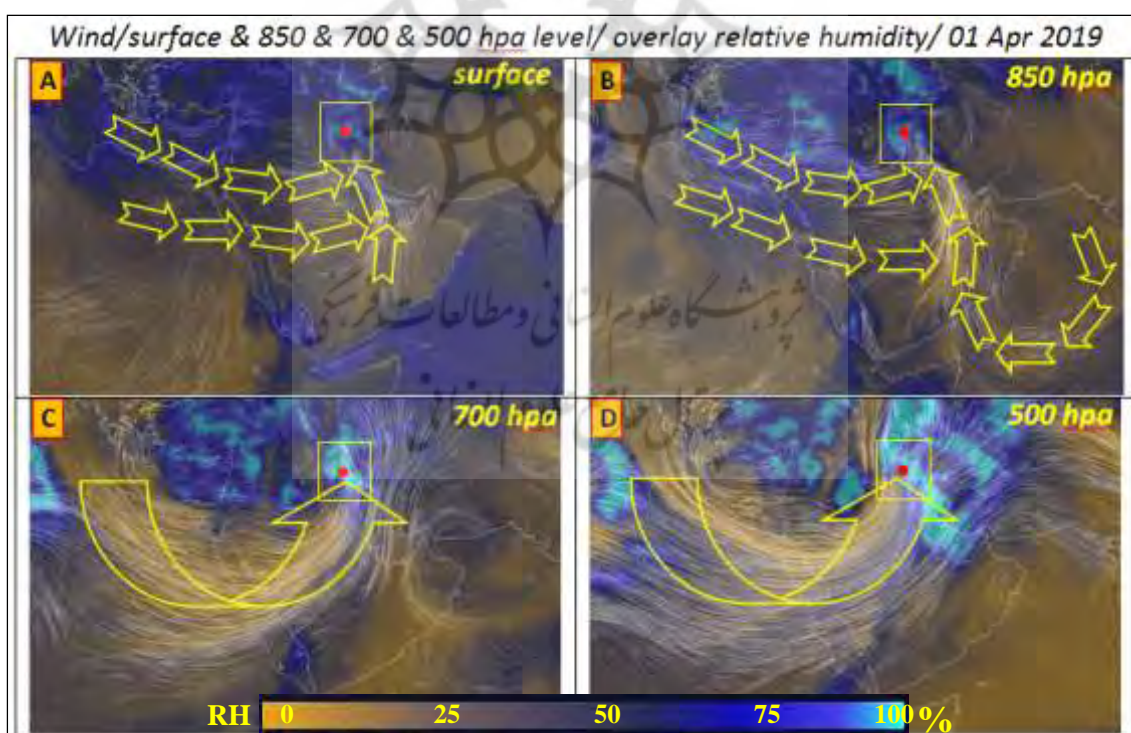


شکل ۵- نقشه‌های برهم‌نهی باد و دمای ترازهای مختلف جوی در روز اوج بارش سنگین در استان لرستان

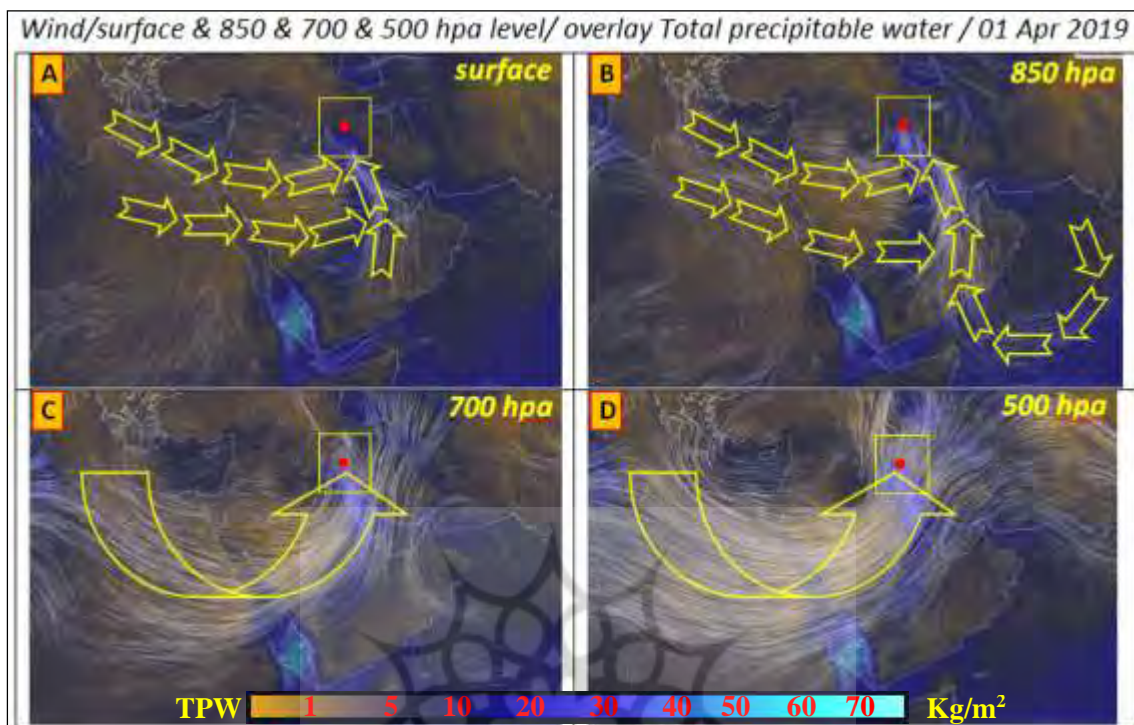
از جهتی دیگر بالابودن میزان رطوبت نسبی در روز اوج بارش از سطح زمین تا تراز میانی جو بیانگر مهیایی میزان رطوبت برای رخداد بارش سنگین بوده است؛ به طوری که در این روز میزان رطوبت نسبی در سطح ایستگاه هواشناسی خرم‌آباد ۹۳٪ و در ترازهای ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال ۹۶٪، ۹۸٪ و ۹۹٪ می‌باشد (شکل ۶ و جدول ۲). همچنین بالابودن میزان رطوبت توده‌ی هوای منجر به بارش سنگین به روشنی از طریق میزان آب موجود در ابر قابل توجیه است؛ به طوری که میزان بخار آب موجود در ابرهای مستقر بر فراز منطقه حدود 0.676 kg/m^2 بوده است (شکل ۷ و جدول ۲). بالا بودن میزان رطوبت (آب قابل بارش به $21/22 \text{ kg/m}^2$) منجر به حجم بالایی از بارش شد. بنابراین الگوهای شار افقی بخصوص در ترازهای سطحی و ۸۵۰ هکتوپاسکال نشان دادند که جریان‌های ناقل رطوبت پس از دور شدن از جنوب شرق دریای مدیترانه، دریای سرخ و دریای عرب به تدریج با نزدیک شدن به خلیج فارس همگرا شده و در امتداد سلسله جبال زاگرس از سمت جنوب غرب به منطقه مورد مطالعه وارد شدند. از سویی دیگر ریزش هوای سرد ناشی از عمیق شدن تراف بادهای غربی، ناپایداری و صعود شدید هوای ناشی از الگوهای بریده کم‌فشار و رودباد جبهه‌قطبی منجر به افزایش رطوبت نسبی و رشد سریع ابرهای کومه‌ای کومولونیموس گردید (شکل ۸ و جداول ۱ و ۲). همچنین در الگوی فشار تراز دریا، همان‌طور که در شکل شماره (شکل A: ۹) مشخص است، در روز ۱ ام آوریل، استقرار رودباد تراز میانی جو به همراه سردچال جوی مجاور آن بر روی نواحی غربی منطقه مورد مطالعه، سبب تشکیل مرکز کم‌فشار در این مناطق شده است. تعامل این الگوها شرایط ایده‌آلی را برای ناپایداری هوای لایه مرزی و صعود رطوبت به درون ترازهای فوقانی جو فراهم نموده است. چنین شرایطی سازوکار دینامیکی و رطوبتی لازم را برای شکل‌گیری یک سامانه بارشی سیل‌زا با میزان بارش بیش از ۶۰ میلی‌متر در سه ساعت را در منطقه مورد مطالعه مهیا نموده است (شکل B: ۹).



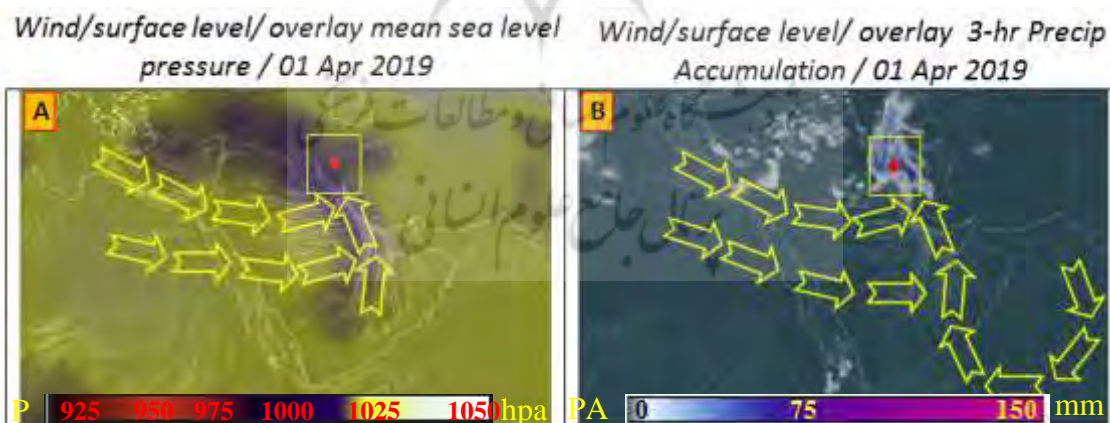
شکل ۶- نقشه‌های برهم نهی باد و رطوبت ابر ترازهای مختلف جوی در روز اوج بارش سنگین در استان لرستان



شکل ۷- نقشه‌های برهم نهی باد و رطوبت نسبی ترازهای مختلف جوی در روز اوج بارش سنگین در استان لرستان



شکل ۸- نقشه‌های برهم نهی باد و آب قابل بارش ترازهای مختلف جوی در روز اوج بارش سنگین در استان لرستان



شکل ۹- نقشه‌های برهم نهی باد و فشار سطح دریا (A) و بارش تجمعی سه ساعته (B) در روز اوج بارش سنگین در استان لرستان

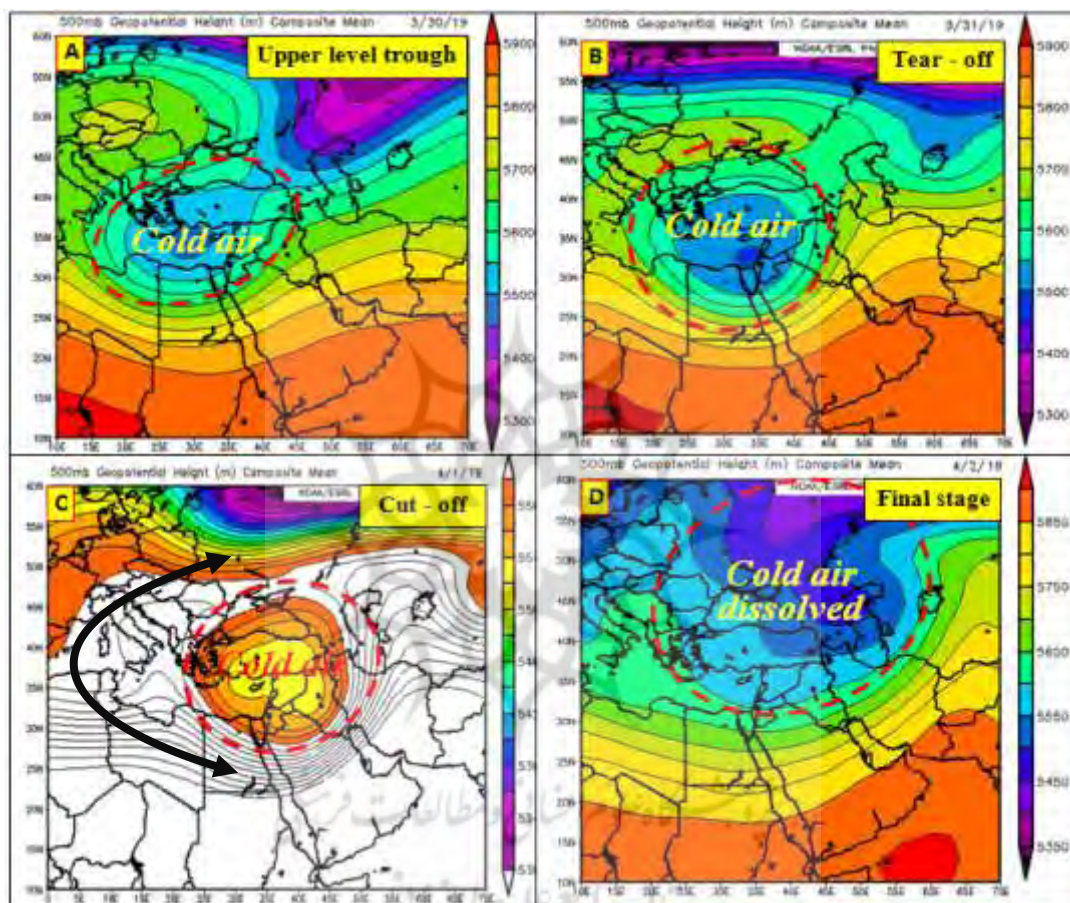
جدول ۲- مقادیر فراسنج‌های مورد مطالعه در ترازهای مختلف جوی (برونداد مدل GFS - 01 apr 2019)

Available ↓	Level →	Surface Level	850 hpa	700 hpa	500 hpa
Wind Speed (km/h)		15	20	84	151
Wind Direction (°)		115°	135°	175°	200°
Temperature (°c)		10.2 °c	7 °c	-7.5 °c	-26.3 °c
Relative Humidity (%)		93%	96%	98%	99%
Total Cloud Water or TCI (kg /m ²)		0.676	0.676	0.676	0.676
Total Precipitable Water or TPW (kg/m ²)		22.218	22.218	22.218	22.218
3 – hr Precip Accumulation		64 mm			
Sea Level Pressure		1000 hpa			

۴-۳- الگوی بریده کم فشار (COL)

شکل‌های شماره (A, B, C, D : ۱۰) الگوی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را در روزهای ۳۰ ام مارس تا ۲ آوریل ۲۰۱۹ نشان می‌دهد. در نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ۲ روز قبل از روز اوج بارش (۳۰ مارس) در منطقه مورد مطالعه، هسته اولیه یک سامانه بریده کم فشار با چندین پربند بسته و مرکزیت یک پربند بسته به ارتفاع ۵۵۰۰ ژئوپتانسیل متر و با اختلاف ۳۰۰ متر با بیرونی‌ترین منحنی هم ارتفاع آن، بر روی جنوب دریای مدیترانه و شمال دریای سرخ در حال شکل‌گیری است (شکل A : ۱۰). این استخر پر از هوای سرد با حرکتی بسیار آرام در حال پیشروی به سمت شرق است. به طوری که مرکزیت آن در روز ۳۱ ام با کمی جابجایی بر جنوب شرق دریای مدیترانه، شمال دریای سرخ و بخشی از سرزمین سوریه مستقر شده است (شکل B : ۱۰). در این روز بریده کم فشار به بلوغ کامل رسیده و تعداد پربندهای بسته درون آن تقویت شده است. اختلاف ارتفاع قابل ملاحظه میان پربند مرکزی سردچال با بیرونی‌ترین منحنی آن سبب ایجاد شیب شدید و ناپایداری قابل ملاحظه‌ای شده که فشردگی منحنی‌های هم ارتفاع بیانگر شیب حرارتی زیاد و بالا بودن سرعت باد می‌باشد. «بریده کم فشار» در روز اوج بارش در استان لرستان (۱ آوریل) با کمی جابجایی به سمت شرق، بخش شرقی آن بر روی منطقه مورد مطالعه گسترده شده است. در این روز جنوب غرب ایران و بخصوص منطقه مورد مطالعه در زیر بخش شرقی «بریده کم فشار» (ناپایدارترین قسمت آن) قرار دارد (شکل C : ۱۰). ناپایداری و صعود شدید هوا در زیر بخش شرقی سامانه و تزریق رطوبت ناشی از وزش رطوبتی جریان‌های هم‌گرایی باد از کانون‌های رطوبتی شمال اقیانوس هند (دریای عرب)، دریای سرخ و دریای مدیترانه به سمت منطقه مورد مطالعه و وجود مانعی به نام رشته کوه‌های زاگرس که صعود این رطوبت را تسریع می‌بخشد، منجر به شکل‌گیری ابرهای جوششی کومولونیمبوس و توفان تندری بر فراز منطقه مورد مطالعه شده است (جدول ۱ و اشکال ۶ تا ۸). شرایط سینوپتیکی سطح متوسط دریا نیز در روزهای حاکمیت این الگو، حکایت از یک سیستم چرخندی قوی متأثر از سامانه‌های هم‌دیدی تراز میانی جو (بریده کم فشار و رودباد جبهه قطبی) دارد که با فشار مرکزی ۱۰۰۰ هکتوپاسکال بر روی نواحی غربی هم‌جوار با منطقه مورد مطالعه کشیده شده است. همراهی

سامانه کم‌فشار سطح زمین با الگوهای همدیدی تراز بالا منجر به شکل‌گیری بارش سنگین در جنوب غرب ایران (به‌خصوص استان لرستان) شده است (شکل ۵ و ۶). در نقشه روز ۲ ام آوریل الگوی بریده کم‌فشار نسبت به روزهای قبل بسیار تضعیف شده به طوری که با ادغام هوای سرد درون کم‌فشار با هوای گرم پیرامونی خود محو شده و منجر به توقف نسبی بارش در این روز شده است (شکل D: ۱۰).



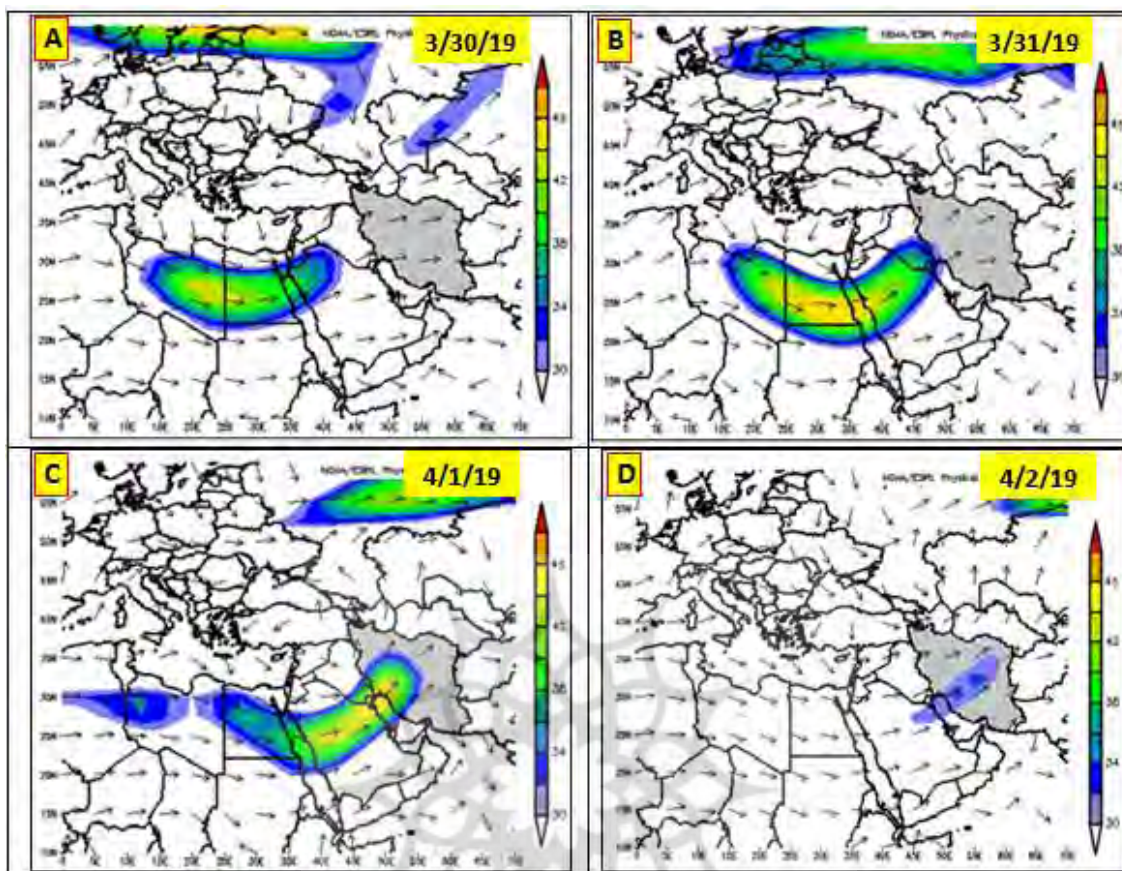
شکل ۱۰- مراحل شکل‌گیری بریده کم‌فشار مؤثر بر وقوع بارش سنگین در استان لرستان

۴-۴- الگوی رودباد جبهه قطبی (PFJ)

شکل شماره ۱۱ آرایش توپوگرافی الگوهای ارتفاع ژئوپتانسیل و موقعیت رودباد تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روزهای ۳۰ ام مارس تا ۲ ام آوریل ۲۰۱۹ م را نشان می‌دهد. در این نقشه‌ها در روز ۳۰ ام مارس (۲ روز قبل از روز اوج بارش) دو شاخه شدن^۱ بادهای غربی به دو شاخه شمالی و جنوبی کاملاً مشهود بوده و الگوی رودباد جبهه قطبی در

1 Bifurcate

درون تراف شاخه جنوبی بادهای غربی و در جنوب بریده کم فشار که شرح آن در بالا آمده است، در حال تشکیل است. دوشاخه شدن جریان شرق سوی بادهای غربی و شکل گیری جریان جت در جنوب بریده کم فشار توانسته است با وقوع بارش سنگین و رخداد سیل در استان لرستان مرتبط باشد. انطباق فشردگی منحنی های هم ارتفاع با خطوط هم سرعت باد در هسته رودباد، بیانگر تضاد حرارتی شدید در تراز مذکور می باشد که خود می تواند به تشدید هرچه بیشتر ناپایداری و صعود هوای زیرین خود منجر شود. سرعت بالای باد در تراف واقع در شاخه جنوبی بادهای غربی منجر به تشکیل رودباد جبهه قطبی گردیده، به نحوی که سرعت باد در حاشیه رودباد 30 m/s و در هسته آن از 40 m/s فراتر رفته است. رودباد مورد نظر که به صورت نواری با بیشینه سرعت دیده می شود تا مسافت های طولانی از شمال صحرای آفریقا تا جنوب غرب عراق کشیده شده است. در روز ۳۱ ام مارس، سرعت جریان باد با افزایش به سمت هسته رودباد به 45 m/s رسیده و با حرکتی شرق سوی در حال وزش به سمت جنوب غرب ایران (استان لرستان) می باشد. در این روز، تداوم شدت جریان باد توسط رودباد جبهه قطبی مهیا بوده و همچنان شرایط برای ایجاد جوی ناپایدار و صعود هوای تراز زیرین جو و انتقال رطوبت به جنوب غرب ایران فراهم می باشد (اشکال A, B: ۱۱). در روز اوج بارش (۱ آوریل ۲۰۱۹) با استقرار رودباد جبهه قطبی بر روی جنوب غرب ایران و ناپایداری حاصل از جریان شدید آن در ترازهای میانی جو، سازوکار لازم برای ایجاد ناپایداری و صعود هوای تراز زیرین جو فراهم شده است. منطقه ناپایدار ناشی از الگوهای مذکور تا سطح زمین امتداد یافته و اثر شدیدی بر هوای سطح زمین داشته است. این تأثیر به طور عمده منجر به تشکیل سیکلون و نیز ایجاد ناپایداری در جو زیرین خود شده است. مهبیایی چنین شرایطی در کنار همراهی سردچال جوی مستقر در شمال رودباد مذکور، شرایط جوی را برای ریزش بارش سنگین از طریق کمک به سرعت صعود توده هوای زیرین خود فراهم نموده است (C, D: ۱۱). از آنجا که توده هوای در حال صعود به خوبی از رطوبت کانون های رطوبتی متعددی از قبیل شمال اقیانوس هند (دریای عرب)، دریای سرخ، خلیج فارس و دریای مدیترانه بارور شده بود، پتانسیل لازم را برای ایجاد رخداد بارش سنگین داشته است. بنابراین، تأثیرات اقلیمی الگوهای بریده کم فشار و رودباد جبهه قطبی در رخداد بارش های سنگین، از طریق تعامل و هم افزایی در بروز حرکات عمودی هوا صورت می گیرد. در نتیجه این که صعود شدید هوای مرطوب ناشی از همگرایی الگوهای همدیدی مذکور و همچنین فراهم بودن شرایط محیطی، زمینه ساز رخداد بارش سنگین منجر به سیل در ۱۰ ام تا ۱۲ ام فروردین در استان لرستان شده است.



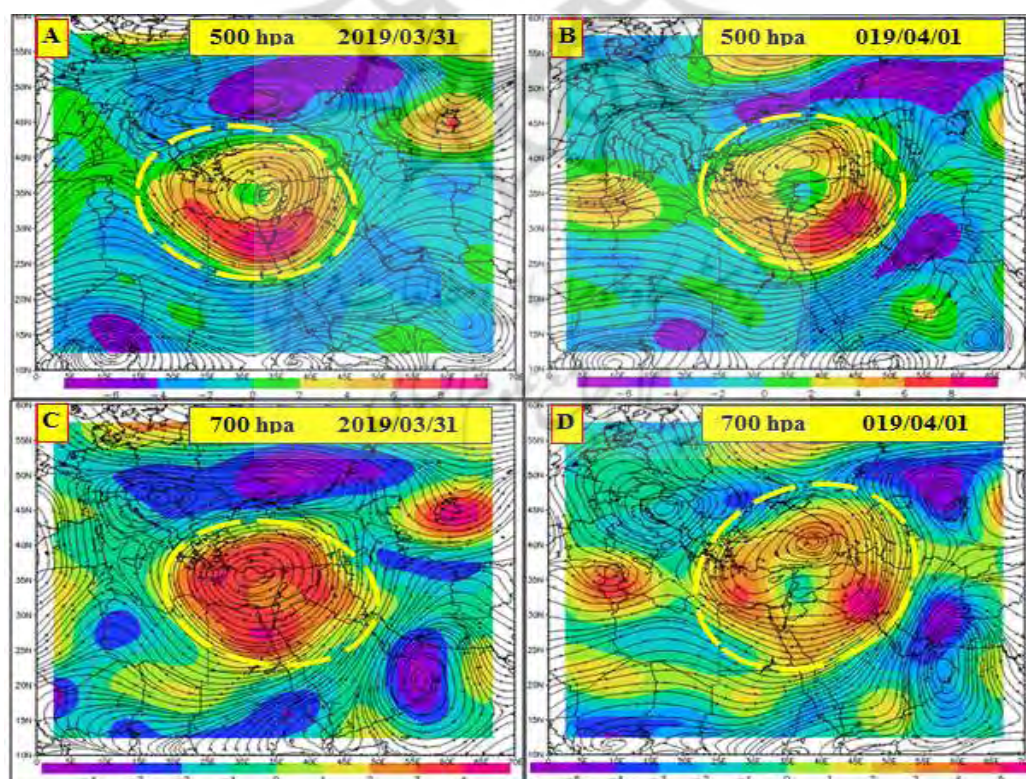
شکل ۱۱- آرایش توپوگرافی، بارزسازی و موقعیت رودباد تراز میانی جو (۳۱ مارس تا ۲ آوریل)

۴-۵- الگوی مکانی تاوایی^۱

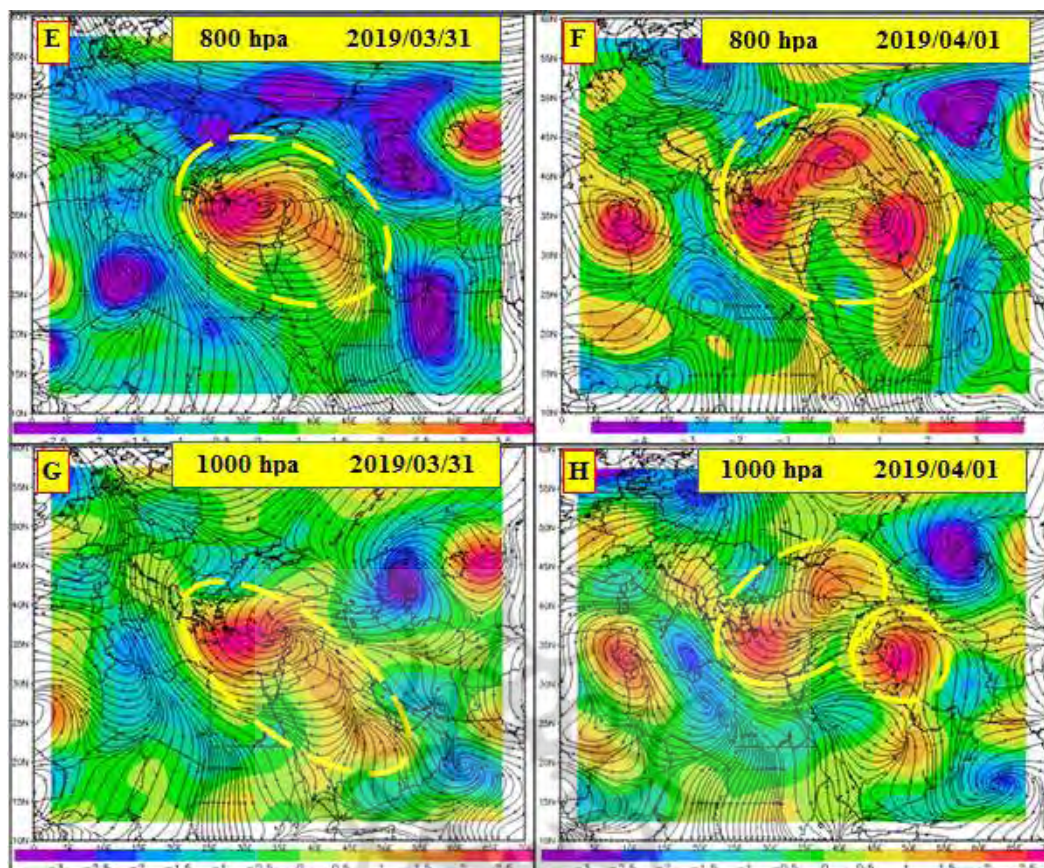
الگوهای تاوایی و جریان باد توأم با رویداد بارشی مورد مطالعه در ترازهای چهارگانه (۵۰۰، ۷۰۰، ۸۵۰ هکتوپاسکال و تراز دریا) در شکل شماره ۱۲ ترسیم شده است. بررسی نقشه‌های تاوایی نسبی در تراز میانی جو و ترازهای زیرین مورد مطالعه، گویای آن است که موقعیت قرارگیری الگوی بریده کم‌فشار و رودباد جبهه قطبی و مقادیر کمیت تاوایی نسبی به خوبی با هم منطبق می‌باشند. به گونه‌ای که مقادیر بیشینه تاوایی نسبی ترازهای میانی با بخش‌های شرقی بریده کم‌فشار و رودباد جبهه قطبی کاملاً انطباق دارند. مقادیر کمیت تاوایی در بخش‌های مذکور قابل توجه بوده و بیشترین مقدار را در روز اوج بارش (۱ ام آوریل ۲۰۱۹) به خود اختصاص داده است (شکل B: ۱۲). بر اساس نقشه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روز ۳۱ ام مارس، یک سامانه چرخندی مثبت (سیکلونی) منطبق با محل استقرار بریده کم‌فشار و رودباد جبهه قطبی مجاور آن، با مکان‌گزینی هسته مرکزی خود در مختصات جغرافیایی

¹ Vorticity

$35^{\circ}N$ $30^{\circ}E$ کاملاً مشهود است (A: ۱۲). از جمله اثرات بریده کم فشار و رودباد جبهه قطبی، ایجاد تاوایی و بروز جریانات (عمدتاً مرطوب) عمودی حاصل از انبساط توده هوا در تراز بالا در زیر هسته چرخندی خود می باشد. این جریانات توأم با بارش های سنگین در منطقه مورد مطالعه بوده است. روز اوج بارش در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، همچنان سامانه چرخندی با حرکتی شرق سوی در راستای الگوهای مذکور به سمت شرق حرکت نموده و مرکزیت آن در مختصات $40^{\circ}E$ $32^{\circ}N$ به نحوی مکان گزینی نموده است که همچنان شرایط مطلوبی برای ایجاد ناپایداری و صعود هوای مرطوب منشأ یافته از کانون های رطوبتی (دریای عرب، دریای سرخ، دریای مدیترانه و خلیج فارس) و انتقال آن به ایران فراهم می باشد (شکل A, B: ۱۲). الگوهای تاوایی ترازهای ۷۰۰، ۸۵۰ هکتوپاسکال و تراز دریا نیز علاوه بر پیوستگی و انطباق شرایط ناپایدار آن ها با تراز میانی جو، به خوبی بیانگر شرایط مطلوب برای ایجاد ناپایداری و صعود هوای ناشی از سامانه های چرخندی شکل گرفته در مجاورت سطح زمین و انتقال رطوبت از کانون های رطوبتی فوق الذکر به منطقه مورد مطالعه می باشد. به طوری که در الگوهای تاوایی روز ۱۱م آوریل ۲۰۱۹، گستره وسیعی از نواحی همجوار با جنوب غرب ایران از سطح زمین تا تراز میانی جو در سیطره منطقه تمرکز تاوایی مثبت قرار گرفته و جریان پادساعتگرد هوای مرطوب وابسته به سامانه چرخندی مذکور، زمینه ساز شکل گیری سامانه بارشی سیل زا در جنوب غرب ایران شده است (شکل C, D, E, F, G, H: ۱۲).



شکل ۱۲- الگوهای تاوایی ترازهای مختلف جوی در هنگام رویداد بارش سنگین در استان لرستان



ادامه شکل ۱۲- الگوهای تاوایی ترازهای مختلف جوی در هنگام رویداد بارش سنگین در استان لرستان

۵- جمع بندی

بریده کم‌فشار و رودباد جبهه قطبی در ردیف پدیده‌های مهم و بنیادی هواشناسی قرار می‌گیرند که عموماً در عرض‌های میانی، در اثر گردش نصف‌النهاری جریان بادهای غربی به وجود می‌آیند (سعیدآبادی و همکاران، ۱۳۹۴). رودبادها نیز در اغلب نقشه‌های هوا به صورت هسته‌هایی کاملاً منفرد بوده که پتانسیل بسیار بالایی در ایجاد ناپایداری و صعود هوای زیرین خود دارند (رئیس پور و همکاران، ۱۳۹۳). بنابراین در صورتی که الگوهای مذکور در تراز میانی جو، در مجاورت هم شکل بگیرند، همراهی و تعامل آن‌ها نقش فزاینده‌ای در شکل‌گیری جو ناپایدار و صعود هوای زیرین آن‌ها دارد. موقعیت جغرافیایی کشور ایران به گونه‌ای می‌باشد که بخصوص در دوره سرد سال، مدتی در عرصه فعالیت بریده‌های کم‌فشار و رودبادهای جبهه قطبی واقع شده و این دو الگو بر قسمتی از آن مسلط می‌شوند. بنابراین، حاکمیت چنین شرایطی پتانسیل‌های لازم را برای ایجاد ناپایداری‌های شدید و رخداد بارش‌های سنگین در نواحی تحت تأثیر آن‌ها دارا می‌باشد. نتایج حاصل از واکاوی هم‌دیدگی — دینامیکی سامانه بارشی سیل‌زای فروردین ۱۳۹۸

(۳۰ ام مارس تا ۱ ام آوریل ۲۰۱۹) در استان لرستان که با استفاده از متغیرهای متعدد همدیدی، دینامیکی، مشاهداتی و ماهواره‌ای انجام گرفت، نشان داد که بارش‌های مورد بررسی به الگوهای همدیدی تراز میانی جو و وقوع حرکات صعودی فرارفتی در ترازهای زیرین بستگی دارد. در بارش مذکور، شکل‌گیری یک سامانه بریده کم‌فشار، روند معمول جریان بادهای غربی را دچار اختلال نموده و سبب دوشاخه شدن جریان بادهای غربی به دو شاخه شمالی و جنوبی شده است. در نتیجه بارش غالب را از حالت مداری به نصف‌النهاری تبدیل نموده و شاخه جنوبی بادهای غربی را به سمت عرض‌های جغرافیایی پایین سوق داده است. افزایش سرعت باد در شاخه جنوبی جریان بادهای غربی منجر به تشکیل رودباد جبهه قطبی شده است. کشیده شدن شاخه جنوبی جریانات غربی (جریان جت جنوبی) به سمت عرض‌های جغرافیایی جنب‌حاره‌ای امکان کسب هرچه بیشتر رطوبت را از سطح آب‌های گرم عرض‌های پایین (جنوب شرق مدیترانه، دریای سرخ، دریای عرب و خلیج فارس) مهیا نموده است. از سویی دیگر تداوم چند روزه سامانه بندالی به‌عنوان مانعی در مسیر جریان بادهای غربی، ضمن کند نمودن جریان، سبب تقویت و تداوم جریان جت شاخه جنوبی شده است. در چنین شرایطی، آمیختگی منطقه ناپایدار ناشی از جریان جت جنوبی با منطقه ناپایدار بخش شرقی بریده کم‌فشار، پتانسیل بسیار بالایی در ناپایدار نمودن و صعود هوای مرطوب زیرین منشأ یافته از کانون‌های شمال اقیانوس هند (دریای عرب)، دریای سرخ و مدیترانه داشته است. به عبارتی دیگر الگوهای مذکور پتانسیل بالقوه همدیدی-دینامیکی لازم و کافی را برای رخداد بارش سنگین در منطقه مورد مطالعه مهیا نموده است. از سوی دیگر قرارگیری استان لرستان در مسیر ورود توده‌های متعدد باران‌زای غربی و برخورداری از بارش‌های مداوم ناشی از این توده‌ها در اغلب ایام دوره سردسال (اشباح بودن منطقه)، کوهستانی بودن منطقه و ناهمواری‌های همراه با دره‌های عمیق فشرده و همگرا، نفوذپذیری بسیار کم منطقه به دلیل ساختار خاص خود، شکل‌گیری سریع رواناب‌های سطحی و پتانسیل سیل‌خیزی استان لرستان را مضاعف نموده است.

کتابنامه

- امیدوار، کمال؛ ۱۳۸۶. بررسی و تحلیل شرایط سینوپتیکی و ترمودینامیکی رخداد بارش در منطقه شیرکوه. پژوهش‌های جغرافیایی. ۵۹. صص ۸۱ - ۹۸. <https://www.sid.ir/paper/5402/fa>
- امیدوار، کمال؛ ۱۳۹۲. واکاوی ترمودینامیکی بارش‌های سنگین ناشی از پدیده سردچال جوی در نواحی مرکزی و جنوبغرب ایران. نشریه جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۵. صص ۱ - ۱۹.
- https://geoeh.um.ac.ir/article_26160.html
- براتی، غلامرضا؛ مرادی، محمد؛ صابر، قربان؛ ۱۳۹۳. شار رطوبت سنگین‌ترین بارندگی زمستانی در ایران مرکزی. پژوهش‌های دانش زمین. ۵. صص ۶۰ - ۷۰. https://esrj.sbu.ac.ir/article_95343.html

پرنده خوزانی، اکرم؛ لشکری، حسن؛ ۱۳۹۰. بررسی سینوپتیکی بارش‌های سنگین در جنوب ایران (مطالعه موردی بارش ۳۱ دسامبر ۱۹۸۴ لغایت ۴ ژانویه ۱۹۸۵ حوضه آبریز رودخانه دالکی). مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی.

۲۲ (۴۱). صص ۱۲۳ - ۱۳۶. https://gep.ui.ac.ir/article_18489.html

حسینجانی، لیلا؛ ۱۳۸۳. شناسایی تیپ‌های هوای مؤثر بر بارش سواحل جنوبی خزر، استاد راهنما: دکتر بهلول - علیجانی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت‌معلم. گروه اقلیم و برنامه‌ریزی محیطی.

<https://elmnet.ir/article/10503981-96552>

خوشحال دستجردی، جواد؛ ۱۳۷۶. تحلیل و ارائه مدل سینوپتیکی کلیماتولوژی برای بارش‌های بیش از صد میلی‌متر در سواحل جنوبی دریای خزر. استاد راهنما: دکتر هوشنگ قائمی، پایان‌نامه دکتری. دانشگاه تربیت مدرس.

دانشکده علوم انسانی. گروه جغرافیا <https://elmnet.ir/article/2096737-6182>

رئیس پور، کوهزاد؛ خسروی، محمود؛ طاووسی، تقی؛ شریفی کیا، محمد؛ ۱۳۹۳. بررسی نقش سیستم‌های بریده کم‌فشار در شکل‌گیری گردوغبارهای فراگیر جنوب غرب ایران. نخستین کنفرانس ملی آب و هواشناسی ایران.

کرمان. <https://civilica.com/doc/209194>

زند، مهران؛ سماعی، رنگینه؛ ۱۳۹۶. بررسی مقدار و شدت بارش‌های مولد سیل در حوضه آبریز خرم‌آباد. مجله نیواز.

۴۱ (۹۶)، صص ۸-۱. https://nivar.irimo.ir/article_44813.html

سعیدآبادی، رشید؛ آب خرابات، شعیب؛ نجفی، محمد سعید؛ ۱۳۹۴. موقعیت رودباد جبهه‌قطبی در ارتباط با بارش‌های سنگین و شار رطوبت ترازهای پایین غرب ایران. مجله محیط‌شناسی. ۴۱ (۴)، صص ۷۸۳-۷۹۸.

https://jes.ut.ac.ir/article_57132.html

شادمانی، ناهید؛ نصراصفهانی، محمدعلی؛ قاسمی، احمدرضا؛ ۱۳۹۷. تشخیص منابع تأمین رطوبت و مسیر دقیق حرکت توده‌های هوای مرطوب مؤثر بر بارش‌های سیل‌آسا در غرب و جنوب ایران. مجله ژئوفیزیک ایران. ۱۲ (۲).

صص ۵۰ - ۶۳. https://www.ijgeophysics.ir/article_63596.html

عزیزی، قاسم؛ نیری، معصومه؛ رستمی، شیما؛ ۱۳۸۸. تحلیل هم‌دید بارش‌های سنگین در غرب کشور (مطالعه موردی بارش ۱۶ تا ۲۴ اسفند ۱۳۸۵). فصلنامه جغرافیای طبیعی. ۱ (۴)، صص ۱ - ۱۳.

<https://www.sid.ir/paper/185039/fa>

عساکره، حسین؛ رزمی، رباب؛ ۱۳۹۰. اقلیم‌شناسی بارش شمال‌غرب ایران. جغرافیا و توسعه. ۲۵. صص ۱۳۷ - ۱۵۸.

https://gdij.usb.ac.ir/article_514.html

علیجانی، بهلول؛ ۱۳۹۵. اقلیم‌شناسی سینوپتیک. انتشارات سمت.

علیجانی، بهلول؛ خسروی، محمود؛ اسمعیل نژاد، مرتضی؛ ۱۳۸۹. تحلیل هم‌دید بارش سنگین ششم ژانویه ۲۰۰۸ در جنوب شرق ایران. نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی. ۱ (۳)، صص ۲ - ۱۷.

<https://www.sid.ir/paper/213093/fa>

فرج‌زاده، منوچهر؛ کریمی احمدآباد، مصطفی؛ قائمی، هوشنگ؛ مباشری، محمدرضا؛ ۱۳۸۸. چگونگی انتقال رطوبت در بارش زمستانه غرب ایران. مجله مدرس علوم انسانی. ۱۳ (۱). صص ۱۹۳ - ۲۱۷.

<https://hsm.sp.modares.ac.ir/article-21-7869-fa.html>

فرجی سبکبار، حسنعلی؛ حسن پور، سیروس؛ ملکیان، آرش؛ ۱۳۹۳. مقایسه کارآیی مدل‌های MCDM در مکان‌یابی بخش سیلاب در محیط GIS. جغرافیا و برنامه‌ریزی. ۴۹. صص ۱۶۷ - ۱۹۰.

<https://www.sid.ir/paper/203626/fa>

قشقایی، قاسم؛ ۱۳۷۵. بررسی اثر فرابار سیبری بر بارش‌های پاییزی سواحل جنوبی دریای خزر. استاد راهنما دکتر بهلول علیجانی. استاد مشاور دکتر زهرا حجازی زاده. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت‌معلم. گروه جغرافیا. <https://elmnet.ir/Article/10764754-71771>

قویدل رحیمی، یوسف؛ ۱۳۹۰. کاربرد شاخص‌های ناپایداری جوی برای آشکارسازی و تحلیل دینامیک توفان تندرزی روز ۵ اردیبهشت ۱۳۸۹ تبریز. مجله فضای جغرافیایی اهر. ۱۱(۳۴). صص ۱۸۲ - ۲۰۸.

<https://www.sid.ir/paper/91677/fa>

کرمپور، مصطفی؛ معصوم پور سماکوش، جعفر؛ میری، مرتضی؛ ۱۳۹۲. بررسی الگوهای همبستگی بارش‌های سیل‌زا در استان لرستان. فصلنامه علمی - پژوهشی فضای جغرافیایی. ۱۳(۴۳). صص ۹۹ - ۱۱۳.

<http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-660-fa.html>

گندمکار، امیر؛ ۱۳۸۹. بررسی همبستگی بارش‌های شدید در نواحی جنوبی استان بوشهر. مجله چشم‌انداز جغرافیایی. ۴(۱۰). صص ۷۲ - ۹۶. https://jshsp.rasht.iau.ir/article_523233.html

محمدی، بختیار؛ ۱۳۸۸. تحلیل همبستگی بارش‌های ابر سنگین ایران. استاد راهنما. دکتر سید ابوالفضل مسعودیان و دکتر محمدرضا کاویانی. پایان‌نامه دکتری. دانشگاه اصفهان. دانشکده علوم انسانی. گروه جغرافیا.

محمدی، حسین؛ فتاحی، ابراهیم؛ شمسی پور، علی اکبر؛ اکبری، مه‌ری؛ ۱۳۹۱. تحلیل دینامیکی سامانه‌های سودانی در رخداد بارش سنگین در جنوب غرب ایران. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. ۱۲(۲۴). صص ۷ - ۲۴.

https://jgs.khu.ac.ir/browse.php?a_code=A-10-3-15&sid=1&slc_lang=fa

مرادی، حمیدرضا؛ ۱۳۸۳. نقش دریای خزر در شرایط بارشی سواحل شمال کشور، مجله علوم و فنون دریایی ایران. ۳(۲). صص ۶۹ - ۸۷. <https://www.sid.ir/paper/74728/fa>

مسعودیان، سید ابوالفضل؛ ۱۳۸۵. اقلیم‌شناسی همبستگی و کاربرد آن در مطالعات محیطی. اصفهان. انتشارات دانشگاه اصفهان.

مسعودیان، سید ابوالفضل؛ ۱۳۸۷. شناسایی شرایط همبستگی همراه با بارش‌های ابر سنگین ایران. سومین کنفرانس مدیریت منابع ایران. ۲۳ الی ۲۵ مهرماه ۱۳۷۸. دانشگاه تبریز. <https://civilica.com/doc/50023>

مسعودیان، سید ابوالفضل؛ کاویانی، محمدرضا؛ ۱۳۸۷. اقلیم‌شناسی ایران، انتشارات دانشگاه اصفهان.

مصطفی‌زاده، رئوف؛ صفریان زنگیر، وحید؛ حاجی، خدیجه؛ ۱۳۹۷. تحلیل الگو و شرایط وقوع بارش‌های منجر به سیل در سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳ در استان اردبیل. مجله مخاطرات محیط طبیعی. ۱۵. صص ۸۹-۱۰۶.

https://jneh.usb.ac.ir/article_3205.html

مظفری، غلامعلی؛ مزیدی، احمد؛ شفیعی شهاب؛ ۱۳۹۶. واکاوی روابط فضایی بارش‌های فرین غرب ایران. مجله جغرافیا و توسعه. ۱۵(۴۶). صص ۱۶۹-۱۸۴. https://gdij.usb.ac.ir/article_3063.html

- مفاخری، امید؛ سلیقه، محمد؛ علیجانی، بهلول؛ اکبری، مهری؛ ۱۳۹۶. مخاطرات ناشی از تمرکزگرایی بارش در ایران. جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۲۳. صص ۱۴۳-۱۶۲. https://geoeh.um.ac.ir/article_31596.html
- مفیدی، عباس؛ زرین، آذر؛ ۱۳۸۴. بررسی سینوپتیکی تأثیر سامانه‌های کم‌فشار سودانی در وقوع بارش‌های سیل‌زا در ایران. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. ۷۷. صص ۵۸ - ۷۷. <https://profdoc.um.ac.ir/paper-abstract-1021385.html>
- ملکی، احمد؛ حصادی، همایون؛ پیروزی نژاد، نوشین؛ ۱۳۹۲. برآورد مقادیر سیلاب و ارائه مدل سیل خیزی در حوضه آبخیز رازآور. جغرافیا و برنامه‌ریزی. ۴۶. صص ۱۹۷ - ۲۱۳. https://journals.tabrizu.ac.ir/?_action=articleInfo&article=810&vol=1
- نگارش، حسین؛ طاوسی، تقی؛ مهدی نسب، مهدی؛ ۱۳۹۰. بررسی شدت سیل خیزی حوضه آبریز رودخانه کشکان لرستان، یازدهمین کنگره جغرافیدانان ایران، تهران. <https://civilica.com/doc/336446>
- نوری، حمید؛ غبور، حسنعلی؛ مسعودیان، ابوالفضل؛ آزادی، مجید؛ ۱۳۹۱. بررسی ابرهای مولد بارش‌های فوق سنگین و سنگین سواحل جنوبی خزر. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. ۳(۴۷). صص ۶۴ - ۷۸. https://gep.ui.ac.ir/article_18551.html
- Ahammed, F., Hewa, G.A., Argue, J.R., 2014. Variability of annual daily maximum rainfall of Dhaka, Bangladesh, Journal of Atmospheric Research. 137.176-182. [https:// doi.org/ 10.1016/ j.atmosres.2013.10.013](https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.10.013)
- Cavalcanti, I.F.A., 2012. Large scale and synoptic features associated with extreme precipitation over South America: A review and case studies for the first decade of the 21st century, Journal of Atmospheric Research. 52. 27- 40. [https:// doi.org/ 10.1016/ j. atmosres. 2012 .06. 012](https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2012.06.012)
- Chen Chen, C., Lang Lin, Y., Ning, N., 2011. Orographic effects on localized heavy rainfall events over southwestern Taiwan on 27 and 28 June 2008 during the post-Mei-Yu period, Journal of Atmospheric Research. 101. 595 - 610. [https:// doi.org/ 10.1016/ j. atmosres. 2011. 04. 004](https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2011.04.004)
- Flynn, W. J., Nesbitt, S.W., Anders, A.M., Garg, P., 2019. Mesoscale precipitation characteristics near the Western Ghats during the Indian Summer Monsoon as simulated by a high-resolution 431 regional model. Journal of Meteorology. 143. 3070 - 3084. [https:// doi.org/ 10.1002/qj.3163](https://doi.org/10.1002/qj.3163)
- Froude, M.J., Petley, D.N., 2018. Global fatal landslide occurrence from 2004 to 2016, Journal of Natural Hazards Earth System Science.18. 2161-2181. <https://doi.org/10.5194/nhess-18-2161-2018>
- Hand, W., Fox, N., Collier, C., 2004. A study of twentieth-century extreme rainfall events in the United Kingdom with implications for forecasting, Journal of Meteorology Applied. 11. 15-31. <https://doi.org/10.1017/S1350482703001117>
- Hellstrom, C., 2005. Atmospheric conditions during extreme and non-extreme precipitation events in Sweden, Int. Journal of Climatology. 25. 631-648. <https://doi.org/10.1002/joc.1119>
- Krishna, K., 2008. Study of the Intensity of Super Cyclonic Storm GONU Using Satellite Observations, Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 112. 108-113. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2008.11.001>

- Kuldeep, S., Sushant, K., Raghavendra, A., Seanmilton., Ekkattil, N., 2019. Evaluation of Unified Model Rainfall Forecasts over the Western Ghats and North East states of India, *Journal of Geoscience*. 65. 1-34. <https://doi.org/10.5194/gmd-2019-65>
- Lana, A., Campins, J., Genovés, A., Jans, A., 2007. Atmospheric patterns for heavy rain events in the Balearic Islands, *Journal of Advances in Geosciences*. 12. 27-32. <https://doi.org/10.5194/adgeo-12-27-2007>
- Lang, S., Zeng, X., Shige, S., Takayabu, Y., 2009. relating convective and strati form rain to latent heating, *Journal of Climate*. 247. 1847-1893. DOI: <https://doi.org/10.1175/2009JCLI3278.1>
- Lasat, M., Mart, F., Barrera. A., 2007. From the concept of "Kaltlufttropfen" cold air pool to the cut-off low. The case of September 1971 in Spain as example of their role in heavy rainfalls, *Journal of Meteorology Atmospheric Physics*. 96. 43-60. <https://doi.org/10.1007/s00703-006-0220-9>
- Lenderink, G., Meijgaard, E., Selten, F., 2009. Intense coastal rainfall in the Netherlands in response to high sea surface temperatures: analysis of the event of August 2006, from the perspective of a change climate, *Journal of Climate Dynamic*. 32. 19-33. <https://doi.org/10.1007/s00382-008-0366-x>
- Liu, W., Zhang, M., Wang, S., Wang, B., Li, F., Che, Y., 2013. Changes in recipitation extremes over Shaanxi Province, northwestern China, during 1960–2011, *Journal of Quaternary International*. 313. 118-129. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2013.06.033>
- Mannan, M.A., Chowdhury, M.A.M., Karmakar, S., 2013. Application of NWP model in prediction of heavy rainfall in Bangladesh, *Journal of Procedia Engineering*. 56. 667-675. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.03.176>
- Mohapatra, M., Mohanty, U., 2005. Some characteristics of very heavy rainfall over Orissa during Summer monsoon season, *Journal of Earth System Science*. 1141. 17-36. <https://doi.org/10.1007/BF02702006>
- Muller, M., 2009. Heavy rains and extreme rainfall-runoff events in Central Europe from 1951 to 2002, *Journal of Natural Hazards and earth system Sciences*. 9. 441-450. <https://doi.org/10.5194/nhess-9-441-2009>
- Persson, P., Neiman, P., Walter, B., Bao, J.W., Ralph, F.M., 2005. Contributions from California coastal-zone surface fluxes to heavy coastal precipitation: a CALJET Case Study during the strong El Niño of 1998. *Journal of Monthly Weather Review*. 133. 1175-1198. <https://doi.org/10.1175/MWR2910.1>
- Robert, P., Donald, J., Goseph, R., 1998. investigation of upper – air conditions occurring with heavey summer rain in Utah, *Journal of International climatology*, 187, 701-723. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0088\(19980615\)18:7](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(19980615)18:7)
- Rudari, R., Entekhabi, D., Roth, G., 2004, Large- scale atmospheric patterns associated with mesoscale features leading to extreme precipitation events in Northwestern Italy, *Journal of Advances in Water Resources*. 28. 601-614. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2004.10.017>
- Schuenemann, K.C., Cassano, J.J., Finnis, J., 2009. Synoptic forcing of precipitation over Greenland: Climatology for 1961-99, *Journal of Hydrometeorology*. 101. 60-78. DOI: <https://doi.org/10.1175/2008JHM1014.1>
- Sen Roy, S., 2008. A special analysis of extreme hourly precipitation patterns in India, *Journal of Climatology*. 293. 345 - 355. <https://doi.org/10.1002/joc.1763>
- Sharma, K., Ashrit, R., Bhatla, R., Mitra, A.K., Iyengar, G.R., Rajagopal, E.N., 2017. Skill of Predicting Heavy Rainfall Over India: Improvement in Recent Years Using UKMO Global Model. *Journal of Applied geophysics*. 174. 4241- 4250. <https://doi.org/10.1007/s00024-017-1640-9>

- Sioutas, M.V., Flocas, H.A., 2003. Hailstorms in northern Greece: synoptic patterns and thermodynamic environment, *Journal of Theoretical Climatology*. 75.189-202. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-003-0734-8>
- Tripoli, G.J., Leung, W.Y., Mugnai, A., Smith, E.A., 2008. Impact of above-normal Mediterranean SSTs on heavy rain events, 10th Plinius Conference on Mediterranean Storms, Plinius Conference Abstracts. Vol. 10. 108-123. www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/13/2871/2013/
- Webster, P., Holland, G., Curry, J., Chang H.R., 2005. Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment, *Journal of Science*. 309. 1844-1853. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1116448>

