

Synoptic analysis of maximum rainfall in southwest Iran A case study: maximum rainfall in March - April 2019

Fatemeh Motevali Meydانشah   ¹ | Hossein Asakereh  ²

1. PhD student in Meteorology; Department of Climatology, University of Zanjan

2. Department of Geography University of Zanjan

Article Info:

Article type:

Research Article

history:

Received: 2022.10.28

Received: 2022.11.12

Accepted: 2022.11.21

Keywords:

Maximum precipitation,
synoptic analysis,
atmospheric parameters,
southwest Iran

Abstract: Rainfall is one of the most challenging atmospheric-climatic parameters that has significant effects on different scales. In the modern world, water, whose main source is precipitation, plays an important role in the life of humanity. In the present research, a synoptic analysis of the maximum rainfall during March - April 2019 was conducted using the daily rainfall data extracted from synoptic data and the daily data of geopotential height, relative humidity, sea level pressure, vertical winds flow, and zonal and meridian winds for the south and southwest of Iran (including Lorestan, Ilam, Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad, Chaharmahal Bakhtiari, Khuzestan, Bushehr, and Fars). The results of analyzing the synoptic maps on the rainy days of April indicated the presence and continuation of a deep trough and a blocking pattern at the level of 500 hPa along with the bifurcation of the wind flow at the level of 200 hPa, upward movements and low pressure on the ground surface, advection of relative humidity above 80%, and hot air advection at the levels of 700 and 850 hPa in the study area.

Cite this article: Motevali Meydانشah, F, Asakereh, H. (2022). Synoptic analysis of maximum rainfall in southwest Iran A case study: maximum rainfall in March - April 2019. *Climate Change and Climate Disasters*, 3(6), 176-195.

© The Author(s).

Homepage: cccd.znu.ac.ir

Publisher: University of Zanjan.



Extended Abstract

Heavy rainfall events and the resulting floods are among the most significant natural hazards in southwestern Iran, causing substantial economic, social, and environmental damages each year. The floods of March–April 2019 were among the most severe hydroclimatic events recorded in Iran, affecting extensive areas of the country's southwestern regions. Therefore, identifying the synoptic patterns and atmospheric mechanisms responsible for these extreme precipitation events can contribute significantly to improving forecasting systems, early warning capabilities, and natural hazard management. The main objective of this study is to investigate the synoptic conditions associated with maximum rainfall events in southwestern Iran during April 2019 and to identify the key atmospheric factors responsible for their occurrence.

To achieve this objective, daily precipitation data from 98 synoptic stations located in the provinces of Lorestan, Ilam, Khuzestan, Bushehr, Fars, Chaharmahal and Bakhtiari, and Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad were utilized. In addition, atmospheric data including geopotential height at the 500 and 200 hPa levels, relative humidity at the 700 hPa level, sea-level pressure (SLP), vertical velocity, and zonal and meridional wind components at the 200, 700, and 850 hPa levels were analyzed for the period from March 21 to April 20, 2019. Following an examination of daily precipitation frequency distributions, April 5, 6, 11, and 12, 2019 were identified as the days with the highest

precipitation amounts and selected for detailed synoptic analysis. Synoptic charts of geopotential height, upper-level wind flow, sea-level pressure, vertical motion, moisture advection, and temperature advection were subsequently examined.

The results indicate that during April 5 and 6, 2019, the establishment of a deep long-wave trough at the 500 hPa level, accompanied by strong atmospheric instability and pronounced upward motion, provided favorable conditions for the development of intense precipitation. Simultaneously, the presence of a surface low-pressure system, relative humidity advection exceeding 80% at the 700 hPa level, and warm air advection at the 850 hPa level enhanced atmospheric instability and intensified rainfall over the region. Under these conditions, the highest recorded precipitation amounts reached 153 mm at the Kohrang station in Chaharmahal and Bakhtiari Province and 111 mm at Yasuj station in Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Province.

The analysis of atmospheric conditions on April 11 and 12, 2019 revealed the significant influence of a blocking pattern in the upper troposphere and the bifurcation of wind flow at the 200 hPa level in strengthening the precipitation system. In addition, strong low-level convergence, widespread upward motion, relative humidity values exceeding 80% at the 700 hPa level, and warm air advection at the 850 hPa level created favorable conditions for heavy rainfall. During this period, maximum daily precipitation amounts of 69.2 mm and

101 mm were recorded at the Romeshkan and Nurabad stations in Lorestan Province, respectively.

Overall, the findings demonstrate that the simultaneous interaction of dynamic and thermodynamic atmospheric processes—including deep upper-level troughs, blocking patterns, surface low-pressure systems, enhanced upward motions, strong moisture advection, and warm air transport—played a crucial role in the occurrence of extreme rainfall events in southwestern Iran during April 2019. The results are consistent with previous studies on the synoptic characteristics of heavy rainfall events in Iran and emphasize the importance of large-scale atmospheric circulation patterns in the

formation of extreme precipitation. Nevertheless, a comprehensive understanding of the April 2019 floods requires consideration of additional factors such as topographic conditions, antecedent soil moisture and saturation levels, watershed characteristics, and infrastructural and management policies that may have amplified flood impacts. The findings of this study can contribute to improving extreme rainfall forecasting, flood risk management, and environmental planning in southwestern Iran.

Keywords: Extreme rainfall, Synoptic analysis, Southwestern Iran, April 2019 floods, Deep trough, Atmospheric blocking, Moisture advection.



تحلیل هم‌دید بارش‌های بیشینه جنوب غرب ایران (مطالعه موردی: بارش‌های بیشینه فروردین ۱۳۹۸)

فاطمه متولی میدان‌شاه^۱ | حسین عساکره^۲

۱. دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، گروه اقلیم‌شناسی، دانشگاه زنجان
۲. استاد گروه اقلیم‌شناسی، دانشگاه زنجان

اطلاعات مقاله:

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ‌ها:

دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۰۶

بازنگری: ۱۴۰۱/۰۸/۲۱

پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۳۰

واژگان کلیدی:

بارش بیشینه، تحلیل هم‌دید، پارامترهای جوی، جنوب غرب ایران

چکیده: بارش از جمله پراسنچ‌های چالش‌برانگیز جوی-اقلیمی است که اثرات قابل توجهی در مقیاس‌های مختلف دارد. در دنیای مدرن امروز آب که منشأ اصلی آن بارش است، نقش مهمی را در زندگی بشریت ایفا می‌کند. در پژوهش حاضر تحلیل هم‌دید بارش‌های بیشینه جنوب غرب ایران در فروردین ۱۳۹۸ (مارس - آوریل ۲۰۱۹) با بهره‌گیری از داده‌های بارش روزانه ایستگاه‌های هم‌دید لرستان، ایلام، کهگیلویه و بویر احمد، چهارمحال بختیاری، خوزستان، بوشهر و فارس و داده‌های روزانه ارتفاع ژئوپتانسیل، رطوبت نسبی، فشار سطح دریا، حرکت قائم در سطح زمین، بادهای مداری و نصف‌النهاری در سال ۲۰۱۹ صورت گرفت. نتایج بررسی نقشه‌های هم‌دید در روزهای پر بارش فروردین، بیانگر حضور و استمرار ناوه عمیق و الگوی بلاکینگ در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال به همراه دوشاخه شدن جریان باد در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال، حرکات صعودی و زبانه‌های کم‌فشار در سطح زمین، فرارفت رطوبت نسبی بالای ۸۰ درصد و فرارفت هوای گرم در سطوح ۷۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال در منطقه مورد مطالعه است.

استناد: متولی میدان‌شاه، فاطمه، عساکره، حسین. (۱۴۰۱). تحلیل هم‌دید بارش‌های بیشینه جنوب غرب ایران (مطالعه موردی: بارش‌های بیشینه فروردین ۱۳۹۸). دگرگونی‌ها و مخاطرات آب و هوایی، ۳(۶)، ۱۷۶-۱۹۵.
© نویسندگان .

Homepage: cccd.znu.ac.ir

ناشر: دانشگاه زنجان



۱. مقدمه

شرایط اقلیمی می تواند منجر به بارش های بیشینه در بعد مکان شود. رطوبت کافی، ناپایداری عمیق و شدید در سطوح مختلف جو و سرمایه از شرایط لازم و نه کافی برای رخداد بارش هستند و برای تبدیل شدن به یک بارش بیشینه یا فرین باید همه عوامل شناخته شده و یا حتی ناشناخته در قوی ترین حالت خود باشند (Arvin & Mohammadinezhad, 2015). در این بین مطالعه، شناسایی و پیش بینی الگوهای همدید بر روی بارش های بیشینه به دلیل خسارات جانی و مالی به انسان ها و ایجاد اغتشاش در اکوسیستم و اقلیم یک منطقه بسیار حائز اهمیت است (Mozaffari and Shafiei, 2017). با تحلیل همدید بارش های بیشینه به صورت دقیق و در زمان مناسب و همچنین شناسایی مناطق مستعد برای ایجاد سیل می توان مخاطرات ناشی از آن را تا حد زیادی کاهش داد. همچنین این امر

علوم هواشناسی و اقلیم شناسی از دانش هایی هستند که ارتباط تنگاتنگی با زندگی انسان ها دارند و هر روز می توان تأثیر آن ها را بر زمینه های گوناگون فعالیت بشری مشاهده کرد (Fahimi et al., 2014). به همین دلیل بررسی و درک پیچیدگی های پراسنج های جوی اقلیمی بسیار هوشمندانه و کارآمد خواهد بود. در این میان بارش از مهم ترین و چالش برانگیزترین عناصر اقلیمی است که از جنبه های مختلف در علوم طبیعی به خصوص هواشناسی و اقلیم شناسی مورد بررسی قرار می گیرد (Mozaffari and Shafiei, 2017). تغییرپذیری و سازوکار دینامیکی بارش در مقیاس های مختلف علت اصلی سیلاب ها و خشکسالی ها به حساب می آید. بارش حاصل برهمکنش های دینامیکی پیچیده ای در جو است و همراه شدن با بستر مناسبی از

به سیاستگذاران و مسئولان اجرایی کمک می‌کند تا با اتخاذ تصمیمات درست مدیریتی و انجام راهکارهای مناسب از جمله ایجاد سدهای مناسب از همه جهات موردنظر، لایروبی رودخانه‌ها و هشدارهای جدی به ساکنین منطقه، بهترین برنامه‌ریزی را داشته باشند. در دهه‌های اخیر پژوهش‌های بسیاری در راستای بررسی‌های اقلیم‌شناختی و هواشناسی بارش‌های پیشینه در سطح بین‌المللی صورت گرفته است. Ramis et al (1995) دو رویداد بارش فرین در کاتولینا را مقایسه کردند. در نمودار ترکیبی هم‌پوشانی سه مکانیزم همدید همراه با ناپایداری شدید در سطوح بالای جو برای هر دو رویداد بارش فرین در منطقه مورد مطالعه مشهود بود. Matlik and Post (2008) الگوهای همدید که منجر به بارش‌های سنگین در استونی طی دوره آماری ۱۹۶۱-۲۰۰۵ بود را مورد بررسی قرار دادند. در پژوهشی دیگر Tymvios et al (2010) ارتباط بین الگوهای ارتفاع ژئوپتانسیل با بارندگی‌های شدید در قبرس را مورد بررسی قرار دادند. بدین منظور از شبکه عصبی برای طبقه‌بندی الگوهای ارتفاع ژئوپتانسیلی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال استفاده کردند و ۹، ۱۸ و ۳۶ خوشه شناسایی شد. همچنین می‌توان به پژوهش Reborra and Molini (2012) در بررسی بارندگی‌های فرین مدیترانه اشاره کرد. آن‌ها به تحلیل توده‌های هوای ناپایدار، میزان رطوبت جت‌استریم‌های سطوح پایین، شیب‌های کوهستانی و نقشه‌های همدید پرداختند. طبقه‌بندی وضعیت همدید سیل‌های تابستانه در کوه‌های سودتن لهستان توسط Bednorz et al (2019) انجام شد. آن‌ها در پی این تحقیق دریافتند که یک انتقال جنوبی نصف‌النهاری رطوبت در بیشتر موارد منجر به سیل، مشاهده می‌شود. در پژوهش Tymvios et al (2019) پیش‌بینی بارش

به سیاستگذاران و مسئولان اجرایی کمک می‌کند تا با اتخاذ تصمیمات درست مدیریتی و انجام راهکارهای مناسب از جمله ایجاد سدهای مناسب از همه جهات موردنظر، لایروبی رودخانه‌ها و هشدارهای جدی به ساکنین منطقه، بهترین برنامه‌ریزی را داشته باشند. در دهه‌های اخیر پژوهش‌های بسیاری در راستای بررسی‌های اقلیم‌شناختی و هواشناسی بارش‌های پیشینه در سطح بین‌المللی صورت گرفته است. Ramis et al (1995) دو رویداد بارش فرین در کاتولینا را مقایسه کردند. در نمودار ترکیبی هم‌پوشانی سه مکانیزم همدید همراه با ناپایداری شدید در سطوح بالای جو برای هر دو رویداد بارش فرین در منطقه مورد مطالعه مشهود بود. Matlik and Post (2008) الگوهای همدید که منجر به بارش‌های سنگین در استونی طی دوره آماری ۱۹۶۱-۲۰۰۵ بود را مورد بررسی قرار دادند. در پژوهشی دیگر

شدید، دماهای پایین و بادهای قوی مربوط به سیل شمال کوئیزلند در فوریه ۲۰۱۹ انجام شد. در این راستا محققان ایرانی نیز پژوهش‌هایی را ارائه کرده‌اند از جمله: Barati et al (2011) نقش واچرخندها در رخداد بارش‌های سنگین دهه‌های اخیر در غرب ایران را مورد بررسی قرار دادند. نتیجه پژوهش حضور زبلنه یا کانون واچرخندی روی محور عمودی زاگرس و مناطق شرقی آن در الگوهای همدید مجموع بارش‌ها بود. تغییر توزیع فراوانی بارش‌های فرین شهر زنجان توسط Asakereh (2011) واکاوی شد. در آن پژوهش با به‌کارگیری توزیع فرین تعمیم‌یافته (GEV) مشخص شد که بارش‌های سنگین و سبک روند کاهشی دارند. در پژوهشی دیگر اقلیم‌شناسی سیلاب ناشی از بارش سنگین ۴ فوریه ۲۰۰۶ استان لرستان انجام شد (Arvin & Mohammadinezhad, 2015). نتایج حاکی از وجود سه عامل اصلی یعنی وجود کم‌فشار در سطح زمین در منطقه بروز سیل، قرارگیری فرارفت بادهای غربی بر روی کم‌فشار سطح زمین و انطباق چپ خروجی محور رودباد جنب حاره بر روی منطقه فرارفت بادهای غربی است. واکاوی زمانی- مکانی بارش‌های حدی مناطق غربی ایران مورد توجه Mozaffari et al (2016) قرار گرفته است. آن‌ها دریافتند که روزهای بارش‌های حدی در ۱۲ ماه سال در طول دوره آماری ۱۹۶۱-۲۰۱۰ روند منفی و کاهشی داشته به جز قسمت کوچکی از استان ایلام که کلاً روند مثبت و افزایشی داشته است. در پژوهش Sepandar and Omidvar (2021) ارتباط بین بارش‌های سنگین جنوب و جنوب غرب ایران با رودخانه جوی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که منبع اصلی رطوبت بارندگی در جنوب و جنوب غرب ایران، جنوب دریای سرخ و خلیج عدن است. شبه‌جزیره عربستان نیز با توجه به

میزان بالای انتقال رطوبت، به عنوان مسیر انتقالی، حجم بسیار زیادی از رطوبت را به سمت منطقه گسیل می‌کند.

هدف از پژوهش حاضر تحلیل همدید بارش‌های بیشینه جنوب غرب ایران در فروردین ۱۳۹۸ است. در بهار ۱۳۹۸ به علت بارش‌های سنگین و شرایط اقلیمی و کوهساری پهنه جنوب غرب ایران (لرستان، ایلام، کهگیلویه و بویر احمد، چهارمحال بختیاری، خوزستان، بوشهر و فارس)، خسارات جانی و مالی زیادی به ساکنین این پهنه وارد شد. از طرفی غرب و جنوب غرب ایران محل ورود انواع سامانه‌های همدید از عرض‌های مختلف است و با توجه به ویژگی سامانه‌های ورودی اثرات متفاوتی روی ایران به خصوص جنوب غرب اعمال می‌شود.

۲. داده‌ها و روش‌ها

۲.۱. منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

با هدف تحلیل همدید بارش‌های بیشینه جنوب غرب ایران، داده‌های بارش روزانه ایستگاه‌های همدید لرستان، ایلام، کهگیلویه و بویر احمد، چهارمحال بختیاری، خوزستان، بوشهر و فارس (۹۸ ایستگاه همدید) در سال ۲۰۱۹ از سازمان هواشناسی کل کشور اخذ گردید. با رویکرد محیطی به گردشی و با توجه به خسارات زیاد در منطقه جنوب غرب ایران به علت بارش‌های بیشینه در فروردین ۱۳۹۸ (معادل ۲۱ مارس تا ۲۰ آوریل ۲۰۱۹)، بارش روزانه فروردین در تمام ایستگاه‌های مذکور مورد بررسی قرار گرفت. نمودار فراوانی بارش روزانه فروردین تمام ایستگاه‌ها در محیط متلب رسم و برای هر ایستگاه در ماه فروردین یک بیشینه بارش شناسایی شد. روزهای ۱۳۹۸/۱/۵ (۲۰۱۹/۳/۲۵)، ۱۳۹۸/۱/۶ (۲۰۱۹/۳/۲۶)، ۱۳۹۸/۱/۱۱

روزهای منتخب با بارش بیشینه در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه هستند. حرکت قائم در سطح زمین^۲، بادهای مداری و نصف‌النهاری ترازهای ۲۰۰، ۷۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال از وبگاه Ncep/Ncar دریافت شد. در نهایت نقشه‌های مربوط به هریک از پارامترهای جوی در نرم‌افزار Grads رسم و مورد تحلیل قرار گرفت. در جدول ۱ به منظور رعایت اختصار فقط مشخصات جغرافیایی ایستگاه همدید مرکز استان‌های هکتوپاسکال، رطوبت نسبی تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال، فشار سطح دریا (SLP)^۱،

۲.۲. روش‌ها

در راستای هدف پژوهش به منظور تحلیل همدید در روزهای مذکور داده‌های روزانه ارتفاع ژئوپتانسیل ترازهای ۵۰۰ و ۲۰۰ هکتوپاسکال، رطوبت نسبی تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال، فشار سطح دریا (SLP)^۱،

جدول ۱: مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های همدید مرکز استان‌های لرستان، ایلام،

خوزستان، کهگیلویه و بویر احمد، چهارمحال بختیاری، بوشهر و فارس

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا
خرم‌آباد	۴۸/۲۸	۳۳/۴۴	۱۱۴۸/۷
ایلام	۴۶/۴	۳۳/۵۹	۱۳۳۷
اهواز	۴۸/۷۴	۳۱/۳۴	۲۲/۵
یاسوج	۵۱/۵۶	۳۰/۷	۱۸۱۶/۳
شهرکرد	۵۰/۸۴	۳۲/۲۹	۲۰۵۰
بوشهر	۵۰/۸۲	۲۸/۹	۵
شیراز	۵۲/۶	۲۹/۵۶	۱۴۸۸

2. Omega

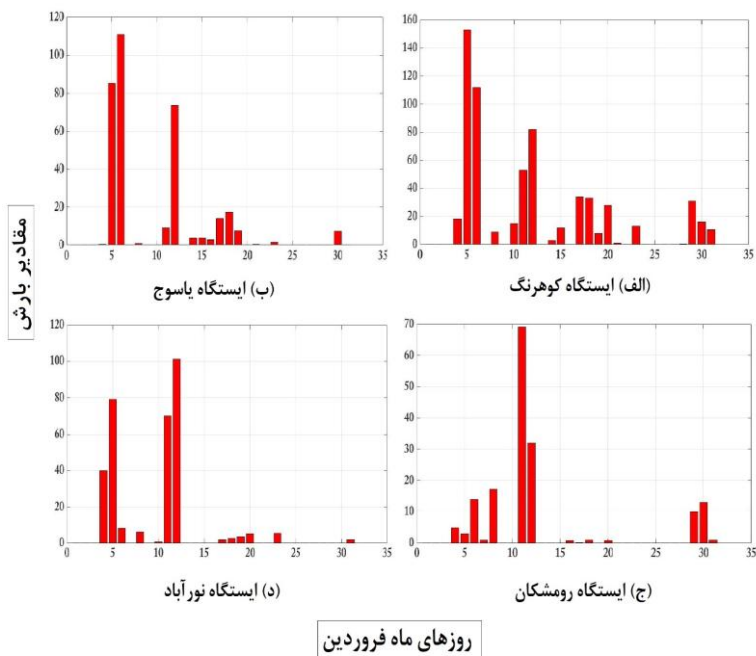
1. Sea Level Pressure

۳. یافته‌ها و نتایج

ذکر است که فراوانی بارش بیشینه در بعد زمان به ترتیب در روزهای ششم، پنجم، دوازدهم و یازدهم فروردین بوده است. در بعد مکان فراوانی رخداد بارش بیشینه روز ششم فروردین در بیشتر ایستگاه‌های استان‌های فارس، بوشهر و خوزستان؛ روز پنجم فروردین در بیشتر ایستگاه‌های استان‌های لرستان، چهارمحال بختیاری و خوزستان؛ روز دوازدهم فروردین در برخی از ایستگاه‌های استان‌های لرستان، چهارمحال بختیاری و فارس، روز یازدهم فروردین در بیشتر ایستگاه‌های استان ایلام ثبت شده‌اند. به علت رعایت اختصار از نمایش همه نمودارهای فراوانی که به تعداد ۹۸ ایستگاه است، اجتناب کرده و فقط در شکل (۱) نمودارهای فراوانی بارش روزانه فروردین مربوط به بیشترین مقدار بارش ثبت شده در هر یک از چهار روز نشان داده شده است. ایستگاه

به منظور تحلیل همدید روزهای پربارش (دارای بارش بیشینه) فروردین ۱۳۹۸ از داده‌های روزانه بارش ایستگاه‌های لرستان، ایلام، کهگیلویه و بویر احمد، چهارمحال بختیاری، خوزستان، بوشهر و فارس که شامل ۹۸ ایستگاه همدید بود، در سال ۲۰۱۹ استفاده شده است. نمودار فراوانی بارش روزانه فروردین (معادل ۲۰۱۹/۳/۲۱ تا ۲۰۱۹/۴/۲۰) با هدف شناسایی مقدار و زمان بارش بیشینه برای تمام ایستگاه‌ها (۹۸ ایستگاه) در محیط متلب رسم شد. با بررسی این نمودارها این نتیجه آشکار شد که تمام روزها با بارش بیشینه در تاریخ‌های ۱۳۹۸/۱/۵، ۱۳۹۸/۱/۶، ۱۳۹۸/۱/۱۱ و ۱۳۹۸/۱/۱۲ (معادل ۲۰۱۹/۳/۲۵، ۲۰۱۹/۳/۲۶، ۲۰۱۹/۳/۳۱ و ۲۰۱۹/۴/۱) ثبت شده‌اند. به عبارتی فروردین ۱۳۹۸ در این چهار روز بیشینه بارش خود را تجربه کرده است. لازم به

کوهرنگ (شکل ۱- الف) با ۱۵۳ میلی‌متر بارش ثبت شده در پنجم فروردین؛ ایستگاه یاسوج (شکل ۱- ب) با ۱۱۱ میلی‌متر بارش ثبت شده در ششم فروردین؛ ایستگاه رومشکان (شکل ۱- ج) با ۶۹/۲ میلی‌متر بارش در یازدهم فروردین و ایستگاه نورآباد با ۱۰۱ میلی‌متر بارش در دوازدهم فروردین؛ بالاترین مقدار بارش در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه در این چهار روز را دارا بودند.



شکل ۱: نمودار فراوانی بارش روزانه چهار ایستگاه همدید (الف) کوهرنگ، (ب) یاسوج، (ج) رومشکان و (د) نورآباد در فروردین ۱۳۹۸

لازم به ذکر است یاسوج مرکز استان کهگیلویه و بویر احمد، رومشکان و نورآباد از شهرستان‌های استان لرستان و کوهرنگ متعلق به چهارمحال بختیاری هستند. در نهایت به منظور تحلیل همدید در روزهای پنجم، ششم، یازدهم و دوازدهم فروردین ۱۳۹۸ (معادل ۲۵، ۲۶ و ۳۱ مارس و ۱ آوریل ۲۰۱۹) نقشه‌های همدید ارتفاع

این ناوه بسیار عمیق شده و در قوی‌ترین حالت خود قرار دارد و موجب ناپایداری و ریزش هوای سرد عرض‌های شمالی به مناطق تحت پوشش خود از جمله ایران می‌شود. محور این ناوه عمیق بر روی شمال دریای سرخ و عربستان و در شرق مصر و سودان قرار دارد. ایران در این تاریخ (۱۳۹/۱/۵) کاملاً در جریان سوی ناوه قرار دارد که موجب بارش‌های بیشینه در منطقه جنوب غرب ایران بخصوص لرستان، کهگیلویه و بویر احمد، خوزستان و ایلام شده است. الگوی طول موج بلند برخلاف طول موج کوتاه دارای سرعت کمتری بوده و لذا استمرار و ماندگاری آن در مناطق تحت پوشش این الگو بیشتر بوده و در صورت برقراری شرایط مناسب در سطوح دیگر جو، موجب بارش‌های کافی و حتی سنگین و سیل‌آسا خواهد شد. در روز ششم فروردین (شکل ۲-ب) محور این ناوه به غرب ایران نزدیک‌تر شده

ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، خطوط جریان باد تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال، فرارفت رطوبت نسبی تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال، فرارفت دمای تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، فشار سطح دریا و حرکت قائم در سطح زمین مورد بررسی قرار گرفت. البته نقشه‌های همدید در روزهای قبل و پس از این چهار روز نیز مورد بررسی قرار گرفته‌اند ولی فقط نقشه‌های پارامترهای جوی مورد مطالعه در این چهار روز ارائه می‌شوند. در شکل (۲) پارامتر ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در روزهای مورد مطالعه نشان داده شده است. در روزهای سوم و چهارم فروردین الگوی خاصی از حضور ناوه یا پشته در ایران به خصوص منطقه مورد مطالعه (جنوب غرب ایران) مشاهده نشد؛ اما در جنوب شرق روسیه، ترکیه، دریای سیاه و مدیترانه ناوه‌ای در حال شکل‌گیری و در حال توسعه به سمت ایران بود. در روز پنجم فروردین (شکل ۲-الف)

اما با افزایش ارتفاع (مرکز کم‌ارتفاع در پنجم ۵۴۷۵ متر و در روز ششم ۵۵۵۰ متر) در بیشتر ایستگاه‌های استان‌های فارس، بوشهر و خوزستان و کهگیلویه و بویر احمد موجب بارش شده است. در روزهای بعد این الگو رو به میرایی رفته، به طوری که در روز نهم فروردین هیچ الگوی قابل توجهی برای ایران مشاهده نمی‌شود؛ اما بر روی عرض‌های بالاتر همچون سیبری و اقیانوس اطلس شمالی الگویی قابل توجه در حال شکل‌گیری و توسعه است. الگوی بلاکینگ از نوع کم‌ارتفاع بریده^۱ به علت قرارگیری پرارتفاع بر روی کم‌ارتفاع در روز ۱۱ فرودین (شکل ۲-ج) مشاهده می‌شود. مرکز کم‌ارتفاع بریده با ارتفاع ۵۵۰۰ متر بر دریای مدیترانه و محور ناوه آن بر روی دریای سرخ و عربستان مستقر است. منطقه جنوب غرب ایران در پاد جریان سوی پشته

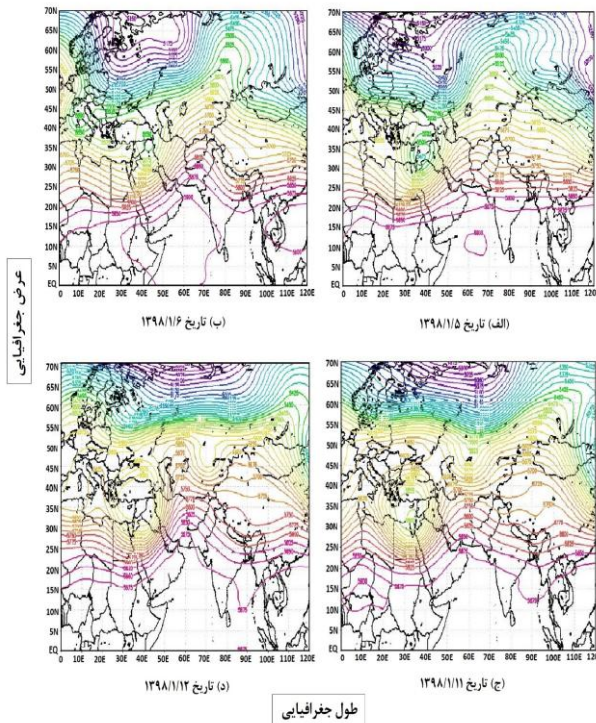
(نزدیک به محور پشته) قرار دارد. این الگو موجب بارش در اکثر ایستگاه‌های استان ایلام و برخی ایستگاه‌های استان لرستان شده است؛ اما محور ناوه این الگو در روز بعد (شکل ۲-د) به ایران نزدیک شده و منطقه مورد مطالعه به خصوص قسمت جنوبی آن در جریان سوی ناوه قرار می‌گیرد و بارش‌های بیشینه در استان‌های فارس و بوشهر موجب شده است. پشته این الگو در منطقه شمال، شمال شرق و شرق کشور مستقر شده است. فراوانی بیشتر بارش بیشینه در روزهای ثانویه دو الگوی بالا، یعنی در روزهای ششم و دوازدهم فروردین بیشتر است.

در ادامه به بررسی نقشه‌های خطوط جریان باد تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۳) به منظور شناسایی رفتار جت‌استریم پرداخته شده است. در این نقشه‌ها می‌توان نحوه تغییرات در الگوی جت را بررسی

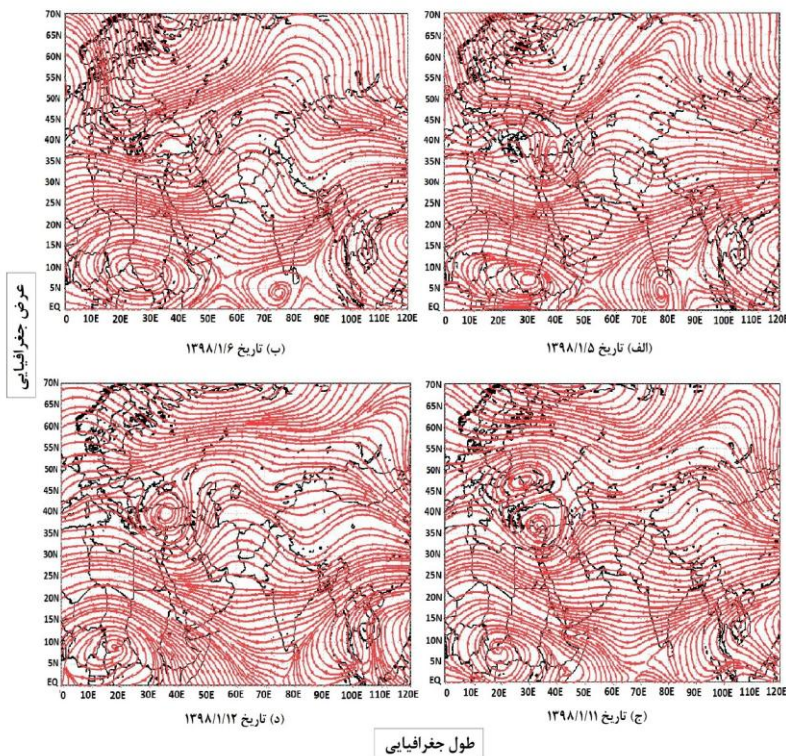
^۱ Cut Off Low

کرد (Salby, 1996). در روز یازدهم فروردین (شکل ۳-ج) در عرض‌های ۳۰ تا ۵۵ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۲۰ تا ۴۰ درجه شرقی دو شاخه شدن مسیر حرکت جت‌استریم کاملاً مشهود است. این امر با شناسایی الگوی بلاکینگ در ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ همین روز مطابقت دارد. در روز بعد یعنی دوازدهم به دلیل

میرایی الگوی بلاکینگ، دو شاخه شدن جت‌استریم در نقشه خطوط جریان باد (شکل ۳-د) ضعیف شده است و به سمت یکپارچگی میل پیدا می‌کند. در روزهای پنجم و ششم (شکل ۳-الف و شکل ۳-ب) اثری از حضوری بلاکینگ و دو شاخه شدن جریان جت وجود ندارد.



شکل ۲: توزیع مکانی الگوی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در روزهای پنجم، ششم، یازدهم و دوازدهم فروردین ۱۳۹۸



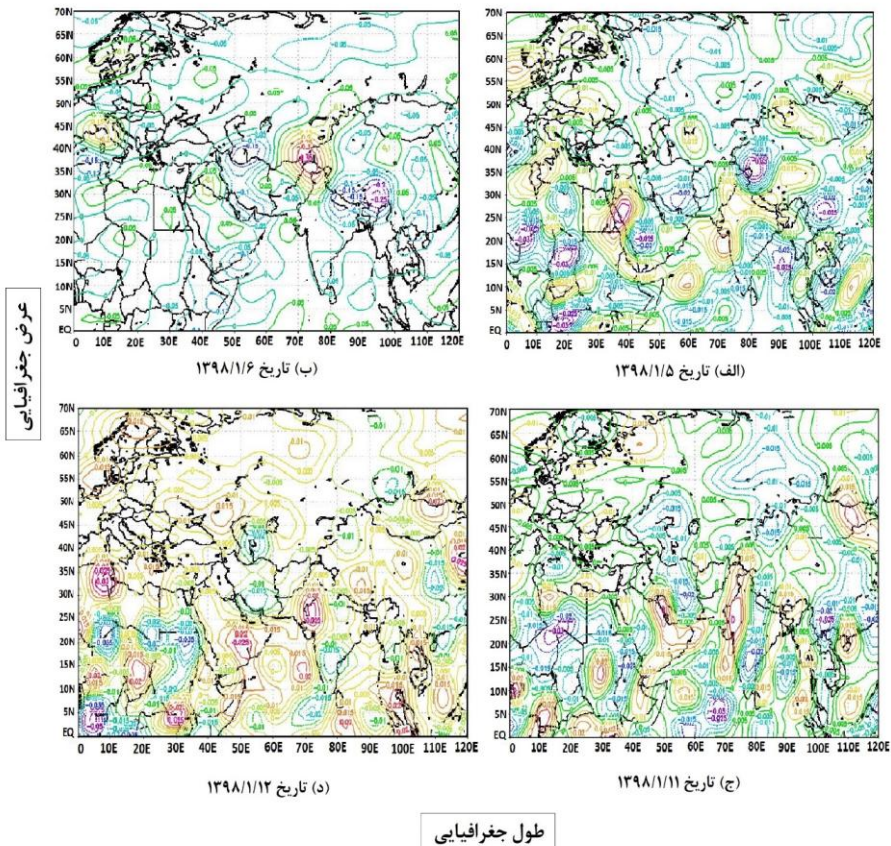
شکل ۳: توزیع مکانی الگوی خطوط جریان باد تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال در روزهای پنجم، ششم، یازدهم و دوازدهم فروردین ۱۳۹۸

نزولی در راستای قائم و فرونشینی هوا است. در روز پنجم (شکل ۴-الف) مقادیر -0.25 و -0.05 پاسکال بر ثانیه در منطقه مورد مطالعه ثبت شده است که بیانگر ناپایداری و حرکت صعودی در این منطقه است. در روز بعد (شکل ۴-ب) این مقدار به -0.75 پاسکال بر ثانیه رسیده

شکل (۴) حرکت قائم در سطح زمین برای روزهای پنجم، ششم، یازدهم و دوازدهم فروردین را نشان می‌دهد. حرکت قائم منفی با توجه به فرمول $W = -\omega$ در دستگاه مختصات هم‌فشار (Holton, 2004)، بیانگر حرکت صعودی و ناپایداری در جو و حرکت قائم مثبت بیانگر حرکت

تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در این روز مطابقت دارد. در نهایت در روز آخر تمام منطقه خطوط با مقادیر منفی مشاهده می‌شود. نتایج حاصل از این نقشه‌ها با نقشه‌های تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال مطابقت دارد.

و همچنان حرکات صعودی بر منطقه جنوب غرب ایران حاکم است. در روز یازدهم (شکل ۴-ج) خطوطی از مقادیر مثبت و هم منفی مشاهده می‌شود که با نتایج حاصل از نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل



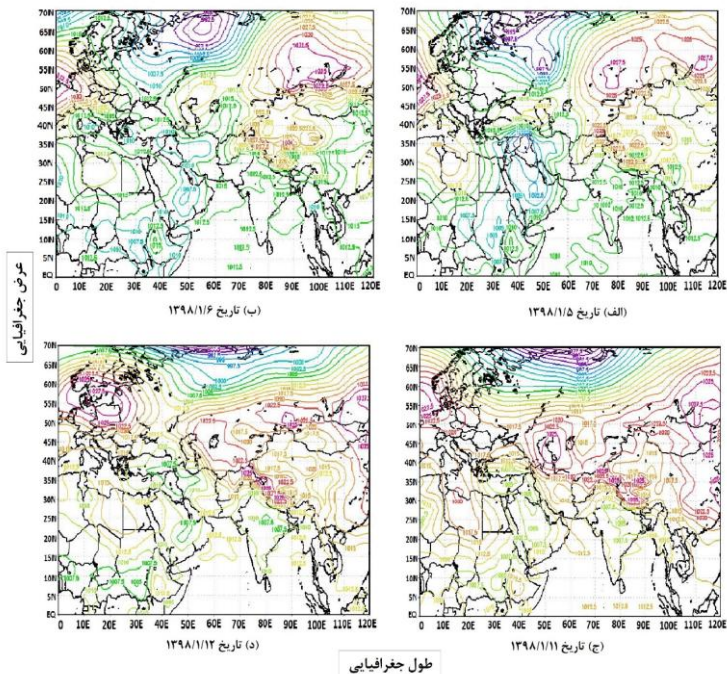
شکل ۴: توزیع مکانی الگوی حرکت قائم (Omega) سطح زمین در روزهای پنجم، ششم، یازدهم و دوازدهم فروردین ۱۳۹۸

یکی از عوامل مهم در ایجاد بارش وجود کم‌فشار در سطح زمین و قرارگیری در زیر سطح جریان‌سوی ناوه در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال به علت وجود یک کج‌شدگی غرب‌سو در راستای قائم جو است؛ یعنی همگرایی باد در سطح باید با واگرایی باد در سطوح بالا مطابقت داشته باشد (Vorobyev, 2005). الگوی فشار سطح دریا برای منطقه مورد مطالعه در شکل (۵) مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به شکل (۵-الف) زبلنه‌های کم‌فشار با فشارهای ۱۰۰۲ و ۱۰۰۵ میلی‌بار شمال‌غرب، غرب و جنوب‌غرب ایران را در بر گرفته‌اند و موجب همگرایی قوی شده‌اند. مرکز این کم‌فشار با فشار ۱۰۰۰ میلی‌بار بر روی عراق و سوریه قرار دارد. در روز ششم (شکل ۵-ب) کم‌فشار در حال فروپاشی است و زبلنه‌های آن با فشارهای ۱۰۱۰ و ۱۰۰۷ میلی‌بار منطقه جنوب‌غرب به‌خصوص استان فارس و بوشهر را تحت پوشش قرار داده است. در شکل (۵-ج) که مربوط به یازدهم فروردین است، بیانگر حضور زبلنه‌هایی با فشار بیشتر ۱۰۱۲/۵ و ۱۰۱۵ میلی‌بار در منطقه مورد مطالعه است که با حضور یک پشته در شکل (۲-ج) مطابقت دارد. در نهایت در روز دوازدهم (شکل ۵-د) با حاکمیت فشارهای ۱۰۰۷/۵ و ۱۰۱۰ میلی‌بار به افزایش میزان بارش در منطقه مورد مطالعه کمک خواهد شد.

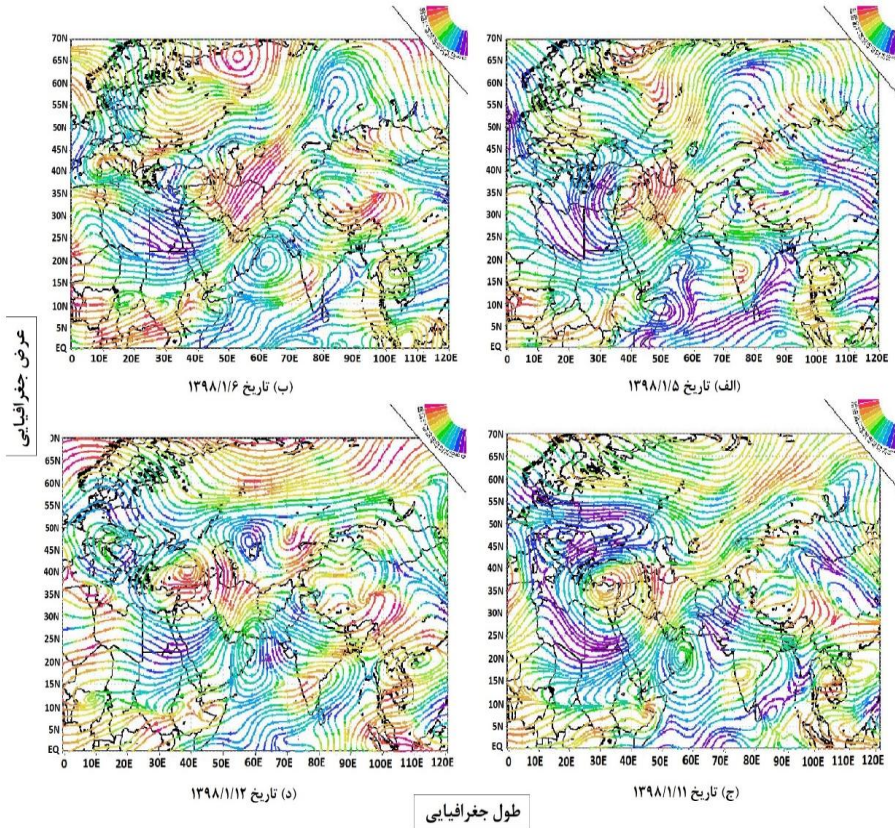
رطوبت به دو شکل دینامیکی (فرارفت رطوبت) و ترمودینامیکی (تبدیل رطوبت) در جو و اقلیم تأثیرگذار است. رطوبت با دما رابطه مستقیم دارد و افزایش دما موجب افزایش رطوبت می‌شود. لذا بیشینه فرارفت رطوبت نسبی و فرارفت هوای گرم دو عامل مهم دیگر در بارش‌های بیشینه هستند. همچنین رطوبت نسبی تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال بیانگر میزان رطوبت جو برای ابرناکی است (Ahrens, 2007). بدین

منظور فرارفت رطوبت نسبی تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال و فرارفت دمای تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال برای روزهای مورد مطالعه تهیه و مورد بررسی قرار گرفت. با بررسی فرارفت رطوبت نسبی تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۶) مشخص شد که در تمام روزها فرارفت رطوبت بالای ۸۰ درصد وجود دارد. رطوبت مورد نیاز برای کامل شدن چرخه بارش در این سامانه از دریای سرخ و دریای مدیترانه تأمین می‌شود. همچنین در شکل (۷) فرارفت دمای تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال مورد بررسی قرار گرفت که دربردارنده فرارفت هوای گرم از عرض‌های پایین‌تر بوده و شرایط برای ایجاد بارش‌های بیشینه در منطقه جنوب غرب ایران در روزهای پنجم، ششم، یازدهم و دوازدهم فروردین ۱۳۹۸ مساعد بوده است.

منظور فرارفت رطوبت نسبی تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال و فرارفت دمای تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال برای روزهای مورد مطالعه تهیه و مورد بررسی قرار گرفت. با بررسی فرارفت رطوبت نسبی تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۶) مشخص شد که در تمام روزها فرارفت رطوبت بالای ۸۰ درصد وجود دارد. رطوبت مورد نیاز برای کامل شدن چرخه بارش در این سامانه از دریای



شکل ۵: توزیع مکانی الگوی فشار سطح دریا (SLP) در روزهای پنجم، ششم، یازدهم و دوازدهم فروردین ۱۳۹۸.



شکل ۶: توزیع مکانی الگوی فرارفت رطوبت نسبی تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال در روزهای پنجم، ششم، یازدهم و دوازدهم ۱۳۹۸.

۴. نتیجه‌گیری

کهگیلیویه و بویر احمد، چهارمحال بختیاری، خوزستان، بوشهر و فارس (شامل ۹۸ ایستگاه همدید) و داده‌های روزانه ارتفاع ژئوپتانسیل در ترازهای ۵۰۰ و ۲۰۰ هکتوپاسکال، رطوبت نسبی تراز ۷۰۰

در این پژوهش با هدف تحلیل همدید بارش‌های بیشینه جنوب غرب ایران در فروردین ۱۳۹۸، از داده‌های بارش روزانه ایستگاه‌های همدید لرستان، ایلام،

۸۵۰ هکتوپاسکال در فروردین ۱۳۹۸

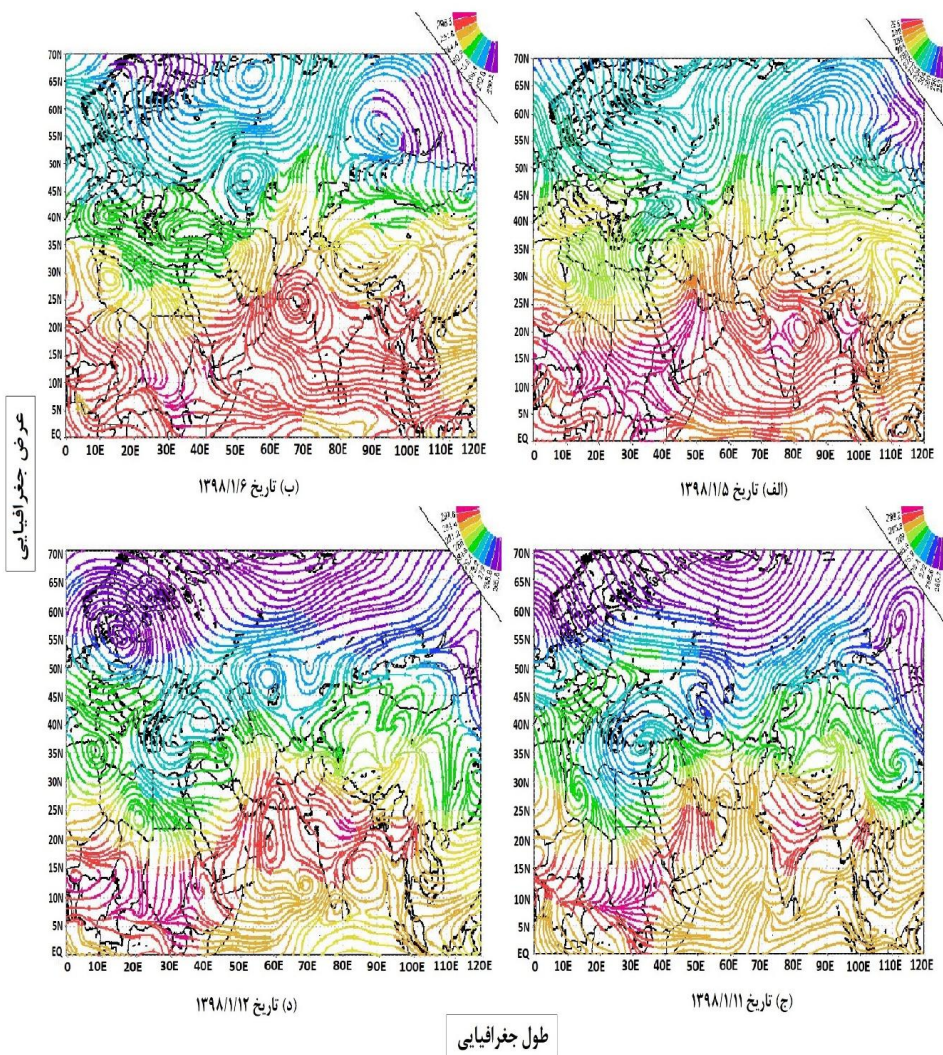
(معادل ۲۱ مارس تا ۲۰ آوریل ۲۰۱۹)

استفاده شد.

هکتوپاسکال، فشار سطح دریا (SLP)،

حرکت قائم در سطح زمین، بادهای مداری

و نصف‌النهاری در ترازهای ۲۰۰، ۷۰۰ و



شکل ۷: توزیع مکانی الگوی فرارفت دمای تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در روزهای پنجم، ششم، یازدهم و دوازدهم فروردین ۱۳۹۸.

با بررسی نمودارهای فراوانی بارش روزانه فروردین در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه برای روزهای پنجم، ششم، یازدهم و دوازدهم فروردین ۱۳۹۸ با دارا بودن بیشترین بارش به منظور تحلیل همبستگی انتخاب شدند. در همین راستا نقشه‌های همبستگی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، خطوط جریان باد تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال، حرکت قائم در سطح زمین، فشار سطح دریا، فرارفت رطوبت نسبی تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال و نقشه فرارفت دمای تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال مورد بررسی قرار گرفت. یافته‌ها بیانگر حضور یک ناوه عمیق با طول موج بلند و ناپایداری در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، حرکات صعودی و حضور کم‌فشار در سطح زمین، فرارفت رطوبت نسبی بالای ۸۰ درصد و فرارفت هوای گرم در ترازهای ۷۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال موجب بارش‌های بیشینه در منطقه جنوب غرب ایران در روزهای پنجم و ششم فروردین ۱۳۹۸ شده است. به عنوان مثال در روز پنجم مقدار ۱۵۳ میلی‌متر بارش در ایستگاه کوه‌رنگ در استان چهارمحال بختیاری و در روز ششم مقدار ۱۱۱ میلی‌متر بارش در ایستگاه یاسوج مرکز استان کهگیلویه و بویر احمد به ثبت رسیده است. در روزهای یازدهم و دوازدهم فروردین وجود الگوی بلاکینگ و دو شاخه شدن خطوط جریان باد در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال و همچنین شرایط لازم در سطح زمین از جمله وجود همگرایی قوی و حرکات صعودی به همراه رطوبت مناسب بالای ۸۰ درصد در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال و فرارفت هوای گرم در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، بارش‌های بیشینه در منطقه مورد مطالعه را موجب شده است. به عنوان مثال در روز یازدهم فروردین مقدار ۶۹/۲ میلی‌متر بارش برای ایستگاه رومشکان و در روز دوازدهم مقدار ۱۰۱ میلی‌متر بارش در ایستگاه نورآباد از استان

لرستان مشاهده شده است. نتایج این پژوهش با نتایج محققان دیگر همچون (Barati, 2012; Arvin & Mohammadinezhad, 2015) مشابهت دارد؛ اما عوامل دیگری نیز در رخداد سیل این مناطق در فروردین ۱۳۹۸ دخیل هستند که ممکن است با تمرکز و پژوهش در مورد آن‌ها نتایج قابل قبولی حاصل شود. از جمله این عوامل می‌توان به شرایط جغرافیایی منطقه، میزان بارندگی در ماه‌های گذشته به دلیل بررسی میزان ظرفیت خاک در پذیرش بارش و بررسی سیاست‌ها و تصمیمات زیرساختی که منجر به تشدید سیل شده است، اشاره کرد.

ملاحظات اخلاقی

حامی مالی: این پژوهش هیچ کمک مالی از سازمان‌های تأمین مالی دریافت نکرده است.
تعارض منافع: طبق اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.
برگرفته از پایان نامه/رساله: این مقاله برگرفته از پایان نامه/رساله نبوده است.

References

- Ahrens, D. (2007). Meteorology today: An introduction to weather, climate, and the environment.
- Arvin, A., & Mohammadinezhad, J. (2015). Synoptic survey of floods caused by heavy rainfall of 4 February 2006 in the Lorestan Basin. Journal of Natural Environmental Hazards, 4, 75–90. (in Persian)
- Asakereh, H. (2012). Frequency distribution change of extreme precipitation in Zanjan

- City. Journal of Geography and Environmental Planning, 23(1), 51–66. (in Persian)
- Barati, G. H., Bodaghjmal, J., & Maleeki, N. (2012). Anticyclones and heavy rainfalls over western Iran. *Physical Geography Research Quarterly*, 44(2), 85–98. (in Persian)
 - Bednorz, E., Wrzesiński, D., Tomczyk, A., & Jasik, D. (2019). Classification of synoptic conditions of summer floods in Polish Sudeten Mountains. *Water*, 11.
 - Cowan, T., Wheeler, M. C., Alves, O., Narsey, S., de Burgh-Day, C., Griffiths, M., Jarvis, C., Cobon, D. H., & Hawcroft, M. K. (2019). Forecasting the extreme rainfall, low temperatures and strong winds associated with the northern Queensland floods of February 2019. *Weather and Climate Extremes*, 26.
 - Fahimi, S., Ahmadi Givi, F., & Mazraeh Farahani, M. (2014). Climatological study of Asian and European blockings by means of two indices in the period of 1950–2010. *Iranian Journal of Geophysics*, 7(4), 31–51. (in Persian)
 - Holton, J. R. (2004). *An introduction to dynamic meteorology*. Academic Press.
 - Mätlik, O., & Post, P. (2008). Synoptic weather types that have caused heavy precipitation in Estonia in the period 1961–2005. *Estonian Journal of Engineering*, 14(3), 195–208.

- Mozaffari, G. H., & Shafiei, S. H. (2017). Temporal-spatial analysis of rainfall days frequency trend of western Iran regions. *Quarterly Geographical Journal of Territory*, 13(52), 77–94. (in Persian)
- Ramis, C., Alonso, S., & Llasat, M. C. (1995). A comparative study between two cases of extreme rainfall events in Catalonia. *Surveys in Geophysics*, 16, 141–161.
- Reborá, N., & Molini, L. (2012). Extreme rainfall in the Mediterranean: What can we learn from observations? *Journal of Hydrometeorology*, 14, 906–922.
- Salby, M. L. (1996). *Fundamentals of atmospheric physics*. Academic Press.
- Sepandar, N., & Omidvar, K. (2020). Analyzing the relationship between heavy rains in the south and southwest of Iran and atmospheric rivers (ARs). *Applied Research Journal of Geographical Sciences*, 61, 295–314. (in Persian)
- Tymvios, F., Savvidou, K., & Michaelides, S. C. (2010). Association of geopotential height patterns with heavy rainfall events in Cyprus. *Advances in Geosciences*, 23, 73–78.
- Vorobyev, V. I., & Tarakanov, G. G. (2005). *Introduction to synoptic meteorology*.