

Synoptic analysis extreme and heavy rainfall in Iran: case study 16-31 st 2019

Nabi Allah Mirzaei¹ | Bohloul Alijan² | Arman Jahedi³

1. Ph.D. Student of Synoptic climatology, University of Kharazmi Tehran

2. Professor, Department of Synoptic climatology, University of Kharazmi Tehran

3. Masters Degree Student of climatology, University of University of Kharazmi Tehran

Article Info:

Article type:

Research Article

history:

Received:

2022/5/25

Received:

2022/7/29

Accepted:

2022/9/6

Published:

2022/10/7

Keywords:

synoptic patterns

heavy rainfall

ECMWF

Cut

off Low

backing system

Goletan

West

Abstract: On December 16, 2019, short-duration heavy rainfall leads to flashfloods occurred in Khuzestan province, causing many problems for the people in Ahvaz and Abadan. In this study, return period of precipitation and atmospheric pressure patterns leading to this flooded was studied. The data recorded in Abadan station in southwest of Iran is obtained from Iranian Meteorological Organization. To select the suitable distribution, the Anderson-Darling test is used. Based on this test, the two-parameter lognormal distribution is distinguished as the best one to be fitted on the recorded precipitation of the Abadan station. The statistical distribution characteristics are extracted by using Minitab software. In this paper the two-parameter lognormal distribution was used to calculate the return period of the maximum daily precipitation in Abadan station. Statistical results showed that the two-parameter lognormal distribution function was the best distribution function for fitting the highest daily and six-hour precipitation data for Abadan station. The highest 24-hour and 6-hour precipitation for Abadan on December 28 was 107 mm with a 11765-year return period and 113 mm with a 4000-year return period respectively. So extensive rainfall with a high return period and lack of necessary infrastructures to collect surface water can be the major causes of flooding in Abadan. Synoptic analyzes showed that crossing pressure patterns, which were associated with atmospheric fronts, over Southwest of Iran could provide conditions for extreme weather events spatially gust fronts and severe convective rainfall in the region. High relative humidity and intense vertical velocity in the lower and middle levels of the troposphere were the main factors affecting heavy convective rainfall in the region; the former was due to the humid and warm southerlies winds at the surface and the latter was due to the cyclonic relative vorticity advection in the middle level troposphere.

Cite this article: Mirzaei, N. A., Alijan, B., & Jahedi, A. (2022). Synoptic analysis extreme and heavy rainfall in Iran: case study 16-31 st 2019. *Climate Change and Climate Disasters*, 1(2), 85-140.

© The Author(s).

Publisher: University of Zanjan.

Homepage: cccd.znu.ac.ir





واکاوی همدید بارش‌های حدی و سیل آسای کشور مطالعه

موردی: ۱۶ تا ۳۱ مارس ۲۰۱۹

نبی اله میرزایی^۱ | بهلول علیجانی^۲ | آرمان جاهدی^۳

۱. دانشجوی دکتری اقلیم شناسی سینوپتیک، دانشگاه خوارزمی تهران

۲. استاد گروه اقلیم شناسی سینوپتیک دانشگاه خوارزمی تهران

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد اقلیم شناسی سینوپتیک دوره روزانه دانشگاه خوارزمی تهران

چکیده: هدف این پژوهش شناسایی الگوهای همدید منجر به بارش‌های شدید و فراگیر ۱۶-۳۱ مارس ۲۰۱۹ در ایران است. بدین منظور داده‌های زمینی (بارش ایستگاه‌های مناطق سیل زده) و جو بالا (پایگاه داده ECMWF) استفاده شد. سه سامانه بارشی منجر به بارش‌های سنگین در کشور بررسی شد. در تمام سامانه‌های بارشی استقرار کم‌ارتفاع بریده نقش بیشتری در بارش‌های سنگین داشته است. در سامانه اول در استان گلستان (آق قلا) عبور سامانه کم فشار دینامیکی و گردش چرخندی آن منجر به آغاز بارش‌ها در منطقه شده است. همزمان با قرار گرفتن سامانه چرخندی بر روی دریای خزر سرعت آن کاهش یافته و تحت تاثیر گرادیان فشار، جریانات مرطوب در تراز پایین جو به سواحل جنوبی و شرقی دریا رسیده است. اوج بارش‌های سنگین زمانی رخ می‌دهد که کم‌ارتفاع بریده بر روی دریای خزر مستقر شده است. به طور کلی بارش‌های سنگین در این ناحیه پشت جبهه سرد رخ می‌دهد که با تشدید گرادیان فشار بین پرفشار سبیری و کم فشار بریده تحت تاثیر همرفت وزشی رطوبت زیادی از سمت دریا به استان گلستان انتقال یافت. ساز و کار اصلی در سامانه‌های دوم و سوم نیز نتیجه ادغام کم فشار سودانی و مدیترانه‌ای است. استقرار و تداوم سامانه بندالی در ترازهای میانی و تشکیل کم‌ارتفاع بریده با انتقال رطوبت از منابع مختلف، همراه بود.

اطلاعات مقاله:

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ‌ها:

دریافت: ۱۴۰۱/۳/۴

بازنگری: ۱۴۰۱/۵/۷

پذیرش: ۱۴۰۱/۶/۱۵

انتشار: ۱۴۰۱/۷/۱۵

واژگان کلیدی:

الگوهای همدید

بارش‌های سنگین

ECMWF

کم ارتفاع بریده

سامانه بندالی

گلستان

استناد: میرزایی، نبی اله، علیجانی، بهلول، و جاهدی، آرمان. (۱۳۹۹). واکاوی همدید بارش‌های حدی و سیل آسای کشور مطالعه موردی: ۱۶ تا ۳۱ مارس ۲۰۱۹. دگرگونی‌ها و مخاطرات آب و هوایی، (۲)۱، ۸۵-۱۴۰.

© نویسندگان .

ناشر: دانشگاه زنجان.

Homepage: cccd.znu.ac.ir



مقدمه

سرزمین ایران با وجود تنوع اقلیمی بسیار زیاد، بیشتر مناطق آن اقلیمی خشک و نیمه خشک دارد. برهم کنش مداوم سامانه‌های گردش جوی در طول سال بطور برجسته و گسترده‌ای چنین تنوعی را موجب گردیده است (علیجانی، ۱۳۷۲). یکی از مولفه‌های اصلی تعیین کننده، اقلیم هر منطقه‌ای بارش است. بارش مهمترین عامل پایداری و توسعه جمعیت‌های انسانی در کره زمین است که میزان نوسانات آن می تواند موجودیت جوامع انسانی، گیاهی و سایر موجودات را تحت الشعاع قرار دهد. در بین عناصر اقلیمی، بارش تغییرات بیشتری نسبت به عناصر دیگر از خود نشان می دهد و نسبت به عناصر اقلیمی دیگر از پیچیدگی رفتاری چشمگیری تری برخوردار است. در اقلیم نیمه خشک ایران بارش سالانه آن حدود یک سوم متوسط بارش سالانه جهان است. در سال‌های هم که ایران بارش نرمال را دریافت می کند، توزیع زمانی-مکانی آن نامنظم است. بگونه‌ای که اغلب مناطق طی مدت زمان کوتاهی حجم زیادی از بارش سالیانه خود را تجربه می کنند. به عبارتی در سرزمین ایران در مدت

کوتاهی از دوره سرد سال بارش‌های رگباری و شدید، سهم بالایی از بارش سالانه را به خود اختصاص می دهد. وقوع بارش‌های حدی تا حدودی زیادی به چگونگی گردش جو و الگوی جریان هوا در یک مکان بستگی دارد. بر پایه مطالعات صورت گرفته اغلب مناطق کشور، بارش‌های با شدت بالا را تجربه می کنند. بارندگی‌های شدید و رگباری در گستره ایران در حال افزایش است (مفاخری و همکاران، ۱۳۹۶) که می تواند تحت تاثیر عوامل سیستم‌های کنترل کننده اقلیم در مقیاس بزرگ از جمله تغییرات آب و هوایی اتفاق بیافتد. این مشخصه‌ها از نظر هیدرواقلیمی باعث شکل گیری رژیم بارشی شده که نوسان‌های زیاد مقدار بارندگی، ریزش رگباری شدید با زمان تدوام کوتاه، از مهمترین شناسه‌های آن به حساب می آید. بارش‌های سنگین و به تبع آن سیل یکی از پدیده‌های پیچیده و مخرب طبیعی است که هر ساله خسارات فراوانی را در کشور ما به دنبال دارد. در این راستا مسعودیان (۱۳۸۷) شرایط همدیدی همراه با بارش‌های ابر سنگین ایران (بارش‌های بیشتر

خسارات بارش‌های سنگین کمک کند. در دهه اخیر بارش‌های سنگین در مناطق کوهستانی غرب ایران روند افزایشی داشته است (مفاخری و همکاران، ۱۳۹۶)، مناطق کوهستانی به دلیل دارا بودن کوهستان، ناحیه مناسبی برای تشدید و گسترش بارندگی و گاهی جاری شدن سیل است. در مناطق غربی کشور به عنوان منطقه-ای که میانگین بارش سالیانه آن از میانگین کشوری بیشتر است در طول سال بارش‌های سنگینی رخ می‌دهد. در این میان آرایش سامانه‌های فشار در غرب ایران، به عنوان ناحیه‌ای با چهره غالب بارش جوی و تندر (مسعودیان، ۱۳۸۲) و منطقه‌ای استراتژیک به لحاظ منابع آب و خاک، به گونه‌ای است که گاه با ورود به منطقه، بارش سنگین به بار می‌آورد. در فصول انتقالی (پاییز و بهار) به دلیل تغییرات شدید فشار، تغییرات مکانی بادهای غربی و وجود شرایط صعود برای توده هوا (رشته کوهستان‌های زاگرس) بیشتر بارش‌های سنگین و تندری این بازه رخ می‌دهد. قویدل رحیمی و همکاران (۱۳۹۳) در بررسی تحلیل فضایی توفان‌های تندری بهاره ایران نشان دادند که کانون اصلی

از ۱۰۰ ملی متر) را با رویکرد محیطی به گردشی مورد کند و کاو قرار داد، ایشان نشان داد که دو الگوی اصلی در رخداد بارش‌های ابر سنگین ایران نقش دارد. الگوی اول با استقرار یک پرفشار بر روی دریای سیاه و گسترش فرود خلیج فارس مشخص می‌شود. در این شرایط شیو شدید فشار از شمال غرب تا جنوب غرب ایران برقرار است و در این شرایط دو سوم بارش‌های ابر سنگین یک روزه‌ی ایران در چنین شرایطی می‌بارد. الگوی دوم با شکل‌گیری فرود بر روی عراق و رخنه‌ی زبانه‌ی پرفشار سبیری-سیاه به درون ایران همراه است. علیجانی (۱۳۸۰) معتقد است که تیپ کم فشار غربی تقریباً در همه جای ایران، شدیدترین بارش‌ها را پدید می‌آورد. در حالی که در نواحی سواحل دریای خزر، تیپ پرفشار غربی شدیدترین بارش‌ها را تولید می‌کند. اقلیم‌شناسی همدید تمام تغییرات هوا یا اقلیم را بر اساس حرکات اتمسفری تبیین و توجه می‌کند (علیجانی، ۱۳۸۱) و تبیین حرکات و جابه‌جایی سامانه‌های جوی در ترازهای مختلف، می‌تواند، زاینده‌ی پیش‌آگاهی‌ها و پیش‌بینی‌های شود که به کاهش

رخداد این پدیده بیشتر در نواحی شمال غرب و غرب کشور است. بر پایه مطالعات پیشین بارش‌های سنگین در غرب کشور به عنوان یک مخاطره طبیعی هر ساله سبب تحمیل خسارات جانی و مالی بسیاری می شود. در زمینه مطالعه بارش‌های سنگین در کشور مطالعات ارزشمند بسیاری با استفاده از تکنیک‌ها، داده‌ها، و روش‌های مختلف، توسط اقلیم شناسان و هواشناسان صورت گرفته است. مطالعات (امیدوار و سپندار، ۱۳۹۷)، (لشکری، ۱۳۷۵)، (کرمپور و همکاران، ۱۳۹۰)، (حلبیان و همکاران، ۱۳۹۱) و (سبزی پرور و همکاران، ۲۰۱۵) نشان می‌دهد که رخداد بارش‌های سیل‌آسا پدیده طبیعی اقلیم ایران زمین است. بنابراین می توان گفت یکی از مشخصه‌های مهم رژیم بارش در ایران سهم بارش‌های سنگین از مجموع بارش سالانه است. به گونه‌ای که بررسی پدیده بارش زمانی آشکارتر است که یک مکان شاهد ریزش ناچیز یا قابل توجه و ناگهانی حجم زیادی از بارش باشد. ایران از جمله مناطقی است که شاهد رفتار ناهنجار و بی قاعده بارش است که یکی از ویژگی‌های مهم

بارش‌های آن، تمرکز بارش در دوره سرد سال است که اغلب به صورت بارش‌های سنگین نمایان می شود. اگرچه جهت ایجاد بارندگی شدید عامل رطوبت مهم‌تر از عامل صعود می‌باشد (علیجانی، ۱۳۸۱) اما بارش‌های سنگین اغلب بر روی قلمروهای کوچک رخ می‌دهند با این حال ممکن است این رویدادها درون سامانه‌های بزرگ مقیاسی لانه کرده باشند و همچنین انرژی و رطوبت‌شان را از مناطق دوردست دریافت کنند (محمدی و مسعودیان، ۱۳۸۹). بررسی و شناخت سازو کار همدید شکل‌گیری این رخدادها به منظور پیش بینی دقیق آن نقش مهمی در مدیریت این حوادث دارد. همچنین الگوی گردش جوی نقش مهمی در پیدایش پدیده‌های محیطی، به ویژه در مناطق معتدله دارند. با شناسایی الگوهای گردش جوی می توان تغییرات و شدت متغیرهای اقلیمی مانند بارش را بررسی و دلایل فیزیکی آن‌ها را بیان کرد (ویستنیب و همکاران، ۲۰۰۶). ارتباط بارش با الگوهای گردش جوی (محمدی و مسعودیان، ۱۳۹۱؛ علیجانی و هارمان،

پرفشار اروپا و دریای سیاه از شمال غرب کشور نفوذ کرده و با کم فشار عراق شیو شدیدی را موجب شده است. تحت این شیو شدید فشار و همچنین ادغام رودبادهای جنب حاره‌ای و جبهه قطبی بر روی عراق، فرود عمیق بر روی قبرس، تغذیه رطوبتی خلیج فارس در ترازهای ۹۲۵، ۸۵۰ هکتوپاسکال، تغذیه رطوبتی دریای سرخ و مدیترانه و سیاه در تراز بالاتر، این بارش‌های سنگین اتفاق افتاده است. در این زمینه شمسی پور و همکاران (۱۳۹۶) الگوهای همدیدی موثر در بارش‌های سنگین غرب و جنوب غرب ایران را بررسی کردند. آن‌ها با تاکید بر شاخص‌های ناپایداری و الگوهای فشار سطح دریا، تشکیل کم فشار بر روی مدیترانه، افزایش چرخندگی و ریزش هوای سرد مراکز پرارتفاع به پشت ناوه را مهمترین عوامل در رخداد بارش سنگین ۱۲-۱۵ آوریل ۲۰۱۶ معرفی کردند. در همین زمینه دارند (۱۳۹۴) بارش‌های سیل-آسای استان کردستان را بررسی کرده و نشان داده بیشترین شار همگرایی رطوبت برای بارش‌های سیل‌آسای فصل مرطوب در ترازهای زیرین جو ۱۰۰۰، ۹۲۵ و ۸۵۰ هکتوپاسکال اتفاق افتاده

۱۹۸۵؛ علیجانی، (۱۳۸۱) و عوامل مختلف مکانی (علیجانی و همکاران، ۲۰۰۸، سبزی‌پرور و همکاران، ۱۳۹۳) با رویکردهای مختلفی در ایران انجام شده است. در حقیقت می توان گفت که بارش‌های سنگین اساسی‌ترین عامل وقوع سیل می باشند، که در اکثر حوضه‌های ایران، سیل‌های مخربی را باعث می شوند. هیچ پدیده محیطی وجود ندارد که الگوی خاصی از توزیع فشار عامل ایجاد آن نباشد (علیجانی، ۱۳۸۱). سبزی پرور (۱۳۷۰)، در بررسی سینوپتیکی سیستم‌های سیل‌زا در جنوب غرب ایران نتیجه گرفته است، که شرایط ایجاد یک طوفان سیل‌زا در منطقه با بلوکه شدن سیستم چرخند در شرق مدیترانه به مدت چهار روز یا بیشتر همراه با ایجاد کمربند واچرخندی در عرض ۴۵ درجه، دینامیکی شدن چرخند سودانی و ادغام آن با سامانه مدیترانه همراه است. محمدی و مسعودیان (۱۳۸۹) تحلیل همدید بارش‌های سنگین ایران (مطالعه موردی آبان ماه ۱۳۷۳) را انجام دادند. آنها نشان دادند که زبانه پرفشار اروپا-کم فشار عراق در رویداد این بارش‌ها موثر بوده است. در این زمان زبانه‌ای از

قوی بین نوسانات مادر جولیان، النینو و تغییرات امواج راسی در وقوع بارش- های سنگین بر روی منطقه وجود دارد. در ایران نیز کرمپور و همکاران (۱۳۹۰) الگوهای همدیدگی حاکم بر بارش های سیل آسای لرستان را بررسی کرده اند. نتایج پژوهش آن ها نشان می دهد، که در ایجاد بارش های سیل آسا در لرستان ۴ الگو جوی موثر است. الگوی اول قرار گیری ناوه عمیقی در غرب روسیه و گسترش دامنه مکانی آن بر روی دریای سرخ است. آن ها الگوی دوم را قوی شدن و گسترش واچرخند سیبری و رسیدن آن به آب های گرم جنوبی ایران، را که سبب انتقال رطوبت به داخل سامانه سودانی می شود مشخص کردند. الگوی سوم با گسترش شمال غربی- جنوب شرقی واچرخند آزور بر روی اقیانوس اطلس و ریزش هوای سرد عرض های شمالی توسط سامانه ایسلند بر روی خاورمیانه و ادغام آن با سامانه سودانی مشخص می گردد. الگوی چهارم ادغام سامانه سودانی و مدیترانه ای با سامانه ایسلند را در بارش های استان لرستان موثر می دانند. در این زمینه

است. همچنین منبع رطوبتی در ترازهای زیرین جو دریاهای عرب، سرخ، عمان، خلیج فارس و مدیترانه است. نقش دریای مدیترانه نسبت به دریاهای گرم جنوبی کمتر است و در بین دریاهای جنوب، دریای عرب سهم بیشتری در تغذیه رطوبتی بارش های سنگین استان داشته است. بارش های سنگین و سیل آسا آمریکا توسط شوماخر^۲ (۲۰۱۷) انجام گرفت که معتقد است درک و پیش بینی بارش- های سیل آسا و تعیین حجم بارندگی به دلیل پیچیدگی مکانیسم حاکم بر آن دچار دگرگونی شده است که این می تواند حاصل از تغییرات آب و هوایی باشد. به عبارتی، تغییرات آب و هوایی بر تغییر رفتار بارش های سیل آسا اثرگذار بوده است. همچنین استایلیس و همکاران^۳ (۲۰۱۸) ارتباط بین بارش- های یونان با الگوهای سینوپتیک را مورد بررسی قرار داده اند. فاسو و همکاران^۴ (۲۰۱۸) در تحلیل بارش های سنگین ماه دسامبر ۲۰۱۵ ایالات میسوری، تغییرات بادهای غربی را در گسترش بارش های سنگین موثر می دانند بطوریکه آن ها نشان دادند ارتباط

4 . Fosu, B., Wang, S., & Pegion

2 . Schumacher

3 . Styllas, M. N., & Kaskaoutis

نشان دادند که پنج نوع توده هوا و سامانه‌های فشاری در ریزش باران جنوب شرق دریای خزر موثر است، که عبارتند از: سامانه پرفشار مهاجر اروپایی، سامانه پرفشار سیبری، پرفشار جنب حاره، کم فشار موسمی و سامانه کم فشار سودانی، بطوریکه شرایط سینوپتیکی لازم برای ایجاد بارش‌های سیل آسا در فصل گرم سال در استان گلستان عبارتند: از فرارفت هوای هوای سرد روی دریای خزر به وسیله سامانه پرفشار اروپایی و همرفت گرم و مرطوب از شرق و جنوب شرق به وسیله کم فشار موسمی، ریزش هوای سرد در منطقه واگرایی ناوه شمال روسیه در تراز فوقانی جو روی دریای خزر، نفوذ پرفشار مهاجر اروپایی از شمال شرق و ریزش هوای سرد جنب قطبی از یکسو و نفوذ زبانه‌های سامانه کم فشار سودان از جنوب غرب، از سوی دیگر در سطح زمین و نفوذ سامانه پرارتفاع جنب حاره‌ای تا بخش‌های مرکزی دریای خزر در لایه‌های میانی جو واقع شدن دریای خزر در منطقه واگرایی ناوه شمال آرال از جمله عوامل موثر در رخداد بارش-های سیل آسا در منطقه هستند. حبیبی

مفیدی و زرین (۱۳۸۴) در مطالعه‌ای با عنوان تحلیل سینوپتیکی بر ماهیت سامانه‌های کم فشار سودانی انجام داده‌اند، آن‌ها بر این باوراند که در رخداد بارش‌های سنگین سامانه سودانی استقرار مناسب خروجی هسته جت جنب حاره‌ای بر روی خاورمیانه به همراه استقرار و تقویت پشته‌ای در تراز میانی و زبانه پرفشار در تراز پایین بر روی دریای عرب جهت تکوین و گسترش کم فشارهای سودانی مهمترین عامل است. پرزاکو و همکاران^۵ (۱۹۹۷) نشان دادند قرارگیری سامانه بندالی روی اقیانوس اطلس و پشته حاصل از آن، بر روی مدیترانه و منطقه خاورمیانه سبب چرخندزایی و تکوین سیکلون بر روی مدیترانه می شود که هماهنگ با جریانات بادهای غربی و با عبور از روی ایران بارش‌های زیادی ایجاد می‌کند. محمدی (۱۳۸۸) با تحلیل نقشه‌های فشار تراز دریا، بر این باور است که الگوی پرفشار اروپایی-کم فشار عراق در وقوع بارش‌های سنگین موثر است. لشکری و همکاران (۱۳۹۶) با تحلیل سینوپتیکی عوامل ایجاد بارش‌های سیل آسا در استان گلستان،

5 . Prezerakos, N. G., & Flocas

(۱۳۸۵) نیز با تحلیل همدیدی-دینامیکی سامانه‌های بندالی معتقد است، در هنگام رخداد بندالی، احتمال پدیده‌های حدی، همچون بارش‌های شدید و سیل آسا افزایش می‌یابد. با مطالعه منابع موجود می‌توان بیان کرد، که بارش‌های حدی و رخداد سیل در کشور به عنوان یک بلای طبیعی در دهه‌های اخیر تلفات جانی و مالی زیادی در پی داشته است. از لحاظ شرایط اقلیمی کشور ما خشک و نیمه خشک بوده و سرزمینی سیل خیز محسوب می‌شود. با توجه به ناگهانی بودن پدیده سیل، و نبود سامانه پایش سیلاب دستیابی به آمار دقیق رخداد سیل و تعداد تلفات جانی در کشور دشوار است، لیکن چنین به نظر می‌رسد که در بین بلاهای طبیعی گذشته از اهمیت خسارات جانی ناشی از زلزله خسارات مالی سیل به لحاظ تناوب زیاد وقوع از یکسو و گسترش وسیع آن از سوی دیگر در مرتبه بالاتری قرار دارد. در واقع بلایای طبیعی حاصل از کنش فعالیت‌های انسانی و پدیده‌های طبیعی است. به عبارتی دیگر در صورت نبود فعالیت‌های انسانی در حوزه عمل پدیده‌های طبیعی، نه تنها پدیده ای طبیعی

کوچک، حتی می‌توان گفت وقوع پدیده‌های بزرگ طبیعی نیز منجر به ظهور بلایای طبیعی نخواهد شد. این امر در مورد سیل به دلیل تمرکز نسبی فعالیت‌های اقتصادی و گسترش فعالیت‌های عمرانی در حاشیه رودخانه‌ها منجر به تشدید بحران و افزایش تعداد تلفات جانی و مالی می‌شود. طی بازه زمانی ۱۶ تا ۳۱ مارس ۲۰۱۹ برابر با ۲۷ اسفند ۱۳۹۷ تا ۱۱ فروردین ۱۳۹۸ بارش‌های فراگیر منجر به رخداد سیل شدیدی در کشور شد. طی این دوره سامانه‌های قدرتمند تقریباً سراسر کشور را تحت تاثیر بارش‌های سنگین خود قرار داده‌اند و در برخی مناطق سیلاب ناشی از آن سبب تلفات جانی و مالی بسیاری شده است. بر پایه آمارهای اولیه در زمان بارش‌های سنگین تعداد ۷۰ نفر فوتی ثبت شده است و میزان خسارات مالی ناشی از سیل بیش از ۲۰ هزار میلیارد تومان برآورده شده است. از جمله عوامل طبیعی موثر بر رخداد سیل در کشور می‌توان به بارش‌های شدید، رگباری و با تداوم چند روز اشاره کرد. باران‌های شدید اساسی‌ترین عامل وقوع سیل است. زمانی که شدت بارش از میزان نفوذپذیری خاک بیشتر باشد

۱- داده ها و رو ها

۱-۲- داده ها

به منظور واکاوی همدید بارش های سنگین کشور روش همدید محیطی به گردشی در نظر گرفته شد. بدین منظور از دو دسته داده های ایستگاه های زمینی و سطوح فوقانی جو برای تحلیل بارش های سنگین کشور استفاده شده است. داده های ایستگاه های زمینی داده های بارش روزانه ۱۶-۳۱ مارس ۲۰۱۹ مناطق سیل زده کشور است که از وبسایت سازمان هواشناسی اخذ شده اند. در جدول (۱) آمار بارش برخی از ایستگاه های هواشناسی مناطق سیل زده کشور آورده شده است.

حجم زیادی از بارش روی سطح زمین باقی می ماند. در این صورت بارش فرصت کافی برای نفوذ پیدا نمی کند. تداوم بارندگی نیز موجب رخداد سیل می شود، بدین ترتیب بارندگی در طول چند روز تداوم پیدا کرده که باعث ایجاد رواناب و با تجمع آن ها سیل رخ می دهد. بنابراین هدف اصلی این مطالعه تحلیل همدید و دینامیکی بارش های حدی و سیل آسا کشور طی بازه زمانی ۱۶-۳۱ مارس است. در این بازه زمانی بارش سنگین در استان گلستان (آق قلا)، مازندران، شیراز، ایلام، پلدختر لرستان و کرمانشاه خسارات زیادی به بر جای گذاشت.

جدول ۱- میانگین بارش سالانه (میلی متر)، مجموع بارش ۱۶-۳۱ مارس ۲۰۱۹ و نسبت بارش دوره مورد مطالعه به بارش کل

ایستگاه	میانگین بارش بلندمدت به میلی-متر	مجموع بارش از ۱۶ تا ۳۱ مارس ۲۰۱۹ سالانه (درصد)	نسبت بارش دوره مورد مطالعه به میانگین سالانه (درصد)	ایستگاه	میانگین بارش بلندمدت به میلی-متر	مجموع بارش از ۱۶ تا ۳۱ مارس ۲۰۱۹	نسبت بارش دوره مورد مطالعه به میانگین سالانه (درصد)
گرگان	۵۸۳/۷	۲۲۷	۳۸/۸	کرمانشاه	۴۳۹/۷	۱۰۶/۲	۲۴/۱
آق قلا	۴۱۵	۲۰۰	۴۸/۱	ثلاث	۵۳۸/۵	۱۹۳	۳۵/۸
مینودشت	۴۵۰	۳۱۵/۲	۷۰	گیلانغرب	۴۵۲/۸	۱۹۵/۲	۴۳/۱
علی آباد	۵۵۰	۱۴۸/۶	۲۷	کنگاور	۴۰۹/۶	۱۷۸/۷	۴۳/۶
گنبد کاوس	۵۰۰	۱۷۶/۳	۳۵/۲	جوانرود	۵۹۴/۷	۱۸۳	۳۰

۲۵/۹	۱۵۱/۶	۵۸۳/۸	ایلام	۴۲/۵	۲۱۷	۵۰۹/۴	خرم آباد
۶۱/۳	۲۱۶/۱	۳۵۲	دره شهر	۶۷/۴	۲۵۱	۳۷۲	پلدختر
۳۷/۴	۲۲۰	۵۸۷	آبدانان	۴۶/۷	۲۵۷/۱	۵۵۰	نور آباد
۲۷	۱۸۷/۱	۶۹۲	ایوانغرب	۵۲/۲	۲۴۰	۴۵۹	بروجرد
۴۱	۱۹۸	۵۰۲/۶	میانگین	۲۷/۶	۱۵۳/۱	۵۸۴	ملکشاهی
				۳۷/۲	۱۶۰/۱	۴۳۰	الیگودرز

۱-۳- روش ها

طی بازه زمانی ۱۶-۳۱ مارس ۲۰۱۹ با ورود سامانه‌های بارشی قدرتمند به کشور بارش‌های شدید و فراگیر منجر به جاری شدن سیل در مناطق مختلف کشور شد. (به‌ویژه سیل آق قلا و گمیشان در استان گلستان و سیل پلدختر در استان لرستان) با استفاده از داده‌های بارش روزانه مناطق یاد شده نقشه‌های هم بارش برای روزهای با بارش سنگین در نرم افزار GIS ترسیم گردید. در این پژوهش سامانه‌ای با بارش فراگیر که دست کم در ۳ ایستگاه بارش بیشتر از ۳۰ میل‌متر داشته است، به عنوان بارش سنگین تعریف شد. با هدف بررسی شرایط حاکم بر بارش‌های سنگین، سه سامانه اصلی با بارش فراگیر مورد تحلیل قرار گرفت. سامانه اول سبب بارش‌های سنگین و سیل آسای در شمال شرق دریای خزر به‌ویژه استان گلستان شده است، که برای تحلیل الگوهای جوی موثر بر آن نقشه‌های سینوپتیکی برای بازه زمانی ۱۶ تا ۱۸ مارس ترسیم شد. سامانه دوم طی

بازه زمانی ۲۴-۲۶ مارس ۲۰۱۹ منجر به بارش‌های سنگین در غرب کشور شد، که به دلیل فراگیر بودن سیستم بارشی مناطق مختلفی از ایران زمین بارش شدید را تجربه کرده‌اند. جهت شناخت نحوه تکوین و گسترش سامانه بارشی نقشه‌های سینوپتیکی از روز ۲۲ مارس تا ۲۶ مارس ترسیم شده است. بارش‌های ناشی از این سامانه موجب بروز سیل شدید در شهر پلدختر شده است. سامانه سوم بارش‌های سنگین و سیل آسا غرب کشور را شامل می‌شود که برای تحلیل الگوهای جوی در زمان بارش‌ها بازه زمانی ۲۹ تا ۳۱ مارس در نظر گرفته شده است. بارش‌های سامانه سوم چند روز بعد از سامانه دوم شروع می‌شود، که نتیجه آن تشدید سیل در مناطق نیمه غربی کشور است. همچنین جهت بررسی بارش نقشه ساعتی (ساعت ۰۰ و ۱۲ گرینویچ) در زمان اوج بارش‌ها برای محدوده ایران زمین ترسیم گردید. داده‌های سطوح فوقانی داده‌های پایگاه داده^۱ ECMWF با تفکیک مکانی ۰/۱۲۵

۱. مرکز اروپایی پیش‌بینی میان مدت هوا

است که شامل داده‌های فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل، مولفه مداری و نصف النهاری باد، امگا (برحسب pascal/s)، تاوایی نسبی (برحسب $10^{-5} s^{-1}$) و رطوبت، می‌باشند، استفاده شد. تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال به دلیل اینکه نزدیک‌ترین سطح به سطح ناوه گراست و برای کمیت‌های جوی از جمله تاوایی مهم است. این تراز به عنوان تراز میانی جو که دارای بیشترین جرم جو بوده نقش مهمی در تحلیل سینوپتیکی الگوهای جوی دارد. به همین دلیل به جز از نقشه فشار سطح دریا که مربوط به سطح زمین (تک ترازه است) می‌باشد و همچنین نقشه‌های شار رطوبت که در تراز ۹۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال ترسیم شد، سایر نقشه‌های سینوپتیک در سطوح فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال ترسیم گردیده اند. لازم به ذکر است بر اساس داده‌های مولفه مداری و نصف النهاری باد، نقشه‌های رودباد (m/s) برای سطوح ۵۰۰ و ۳۰۰ هکتوپاسکال تهیه گردید. نقشه‌های سینوپتیکی با فواصل زمانی ۱۲ ساعت (۰۰ و ۱۲ زولو) و برای محدوده ۹۰ تا ۹۰ شرقی و

۰ تا ۷۰ ترسیم گردید. همچنین با هدف شناسایی چگونگی تکوین و گسترش سامانه‌های بارشی، نقشه‌های مورد نظر از ۴۸ ساعت قبل از شروع بارش‌های سنگین تحلیل شد. بعد از تحلیل نقشه‌های ذکر شده برای برآورد مقدار رطوبت در ترازهای مختلف جو نمودار هوف مولر متغیر رطوبت ویژه در اوج بارش سنگین تحلیل گردید. این نمودار در واقع نیمرخ‌های عمودی فراسنج‌های جوی محسوب می‌شود، که برای ارزیابی یا تشخیص رفتار یک فراسنج در امتداد طول و عرض جغرافیایی در طول زمان به کار می‌رود، که در این پژوهش نمودار مذکور برای ایستگاه‌های که بیشترین بارش را داشته‌اند ترسیم شده است. بنابراین ابتدا نقشه‌های مجموع بارش روزانه و بارش شبکه‌ای (ساعتی) برای هر منطقه به صورت جداگانه تهیه شد، سپس برای تحلیل الگوهای جوی در زمان بارش‌های سنگین نقشه‌های الگوهای جوی تحلیل گردید. جدول ۲- بازه‌های زمانی سامانه‌های بارشی به صورت میلادی و معادل شمسی آن را نشان می‌دهد.

جدول ۲- تاریخ فعالیت سامانه‌های بارشی (میلادی و شمسی)

تاریخ به شمسی	تاریخ به میلادی	سامانه بارشی
۲۵ تا ۲۷ اسفند ۱۳۹۷	۱۶-۱۸ مارس ۲۰۱۹	اول
۲ تا ۶ فروردین ۱۳۹۸	۲۲-۲۶ مارس ۲۰۱۹	دوم
۹ تا ۱۱ فروردین ۱۳۹۸	۲۹-۳۱ مارس ۲۰۱۹	سوم

۲- یافته ها و نتایج

سامانه بارشی اول

این سامانه بارشی منجر به بارش سنگین و سیل آسا در استان گلستان شد، که طی فعالیت این موج بیشترین بارش در شهرهای استان گلستان ثبت شده است. "علت اصلی وقوع بارش سنگین در منطقه تشکیل کم فشار بر روی دریای خزر(موج کوتاه)، عبور سامانه چرخندی(کم فشار) مهاجر غربی، گسترش پرفشار سیبری بر روی دریای خزر و تشدید شیو فشار با شمالی شدن جریانات، استقرار کم فشار بریده در شرق دریای خزر که عامل اصلی تزریق رطوبت به داخل این سامانه گردش چرخندی کم فشار بریده مستقر بر روی دریای خزر می باشد".

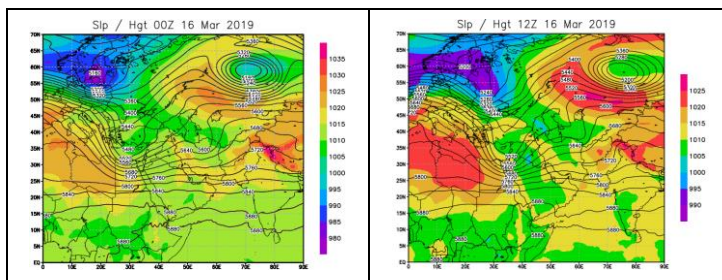
۴۸ ساعت قبل از بارش سنگین

ترکیب همزمان نقشه فشار سطح دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روز ۱۶ مارس ۲۰۱۹ گسترش کم فشار دینامیکی بر روی عرض ۳۵ درجه شمالی را نمایان می سازد که از سمت شمال اروپا به عرض-های پایین تر کشیده شده است. در ساعت ۱۲ زولو (ساعت ۱۵:۳۰) مرکز

کم فشار با پربند ۱۰۰۸ هکتوپاسکال در حاشیه دریای خزر و کم فشار دیگری از شرق دریای سرخ تا شرق مدیترانه و شمال عراق کشیده شده است (شکل ۱-a). همچنین با عقب نشینی موقت پرفشار سیبری کم فشار مستقر در شرق دریای مدیترانه به سمت کشور گسترش یافته است (شکل ۱-a). گسترش زبانه پرفشار اروپایی بر روی دریای مدیترانه و غرب دریای سرخ منجر به تشدید گرادیان حرارتی بین پرفشار شمال آفریقا و کم فشار مستقر در شرق مدیترانه شده است (شکل ۱-b). در این زمان الگوی ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بیانگر تقویت تراف(ناوه) بر روی شرق مدیترانه است، که سبب گسترش جریانات شمالی به سمت عرضهای پایین شده است، که نتیجه آن استقرار تراف بر روی دریای مدیترانه است بطوریکه جهت جنوب غرب-شمال شرق پربندها بیانگر قرارگیری منطقه واگرایی بالایی، تقویت ناپایداری، افزایش چرخندگی و تشدید صعود در محور تراف مذکور شده است. با توجه به موقعیت تراف در این زمان می توان گفت بیشترین میزان واگرایی در نیمه

شرایط سبب ریزش هوای سرد از شمال اروپا به سمت دریا سرخ و مدیترانه شده است (شکل b-۱). بر روی شرق دریای خزر هسته مستقل کم فشاری (۱۰۰۵ هکتوپاسکال) شکل گرفته که در تراز بالا با افزایش واگرایی به صورت یک موج کوتاه ظاهر شده است (شکل b-۱) که با نزدیک شدن تراف از سمت غرب شرایط برای ادغام آن‌ها فراهم شده است (شکل b-۱).

غربی و شمالی ایران زمین وجود دارد. با توجه به قرارگیری منطقه مورد مطالعه در جلو تراف (ناوه) تراز میانی و مسیر حرکت آن می توان نتیجه گرفت که ایران زمین در بهترین حالت در مسیر تراف (ناوه) قرار گرفته است (شکل b-۱). در این زمان تقویت پشته (ریچ) شمال آفریقا سبب افزایش دامنه جریانات بادهای غربی به سمت عرض-های پایین، تشکیل تراف عمیق بر روی شرق مدیترانه شده است، بطوری که این



شکل ۱- وضعیت فشار (Hpa)، ارتفاع ژئوپتانسیل (ژئوپتانسیل متر) روز ۱۶ مارس ۲۰۱۹ (UTC ۰۰ - ۱۲UTC)

قرار دارد (شکل b-۳). نقشه بارش روزانه برای استان گلستان و مازندران نیز بیانگر آغاز بارندگی با شدت کم در منطقه است (شکل ۲). الگوی فشار برای روز قبل از بارش سنگین (شرق دریای خزر) گسترش پرفشار شمال آفریقا به سمت مناطق شرقی (دریای سرخ) و کشیده شدن زبانه کم فشار به

۲۴ ساعت قبل از بارش سنگین

نقشه بارش برای روز ۱۷ مارس نشان دهنده آغاز بارندگی در سطح کشور است، بطوریکه بارش‌های سنگین هنوز به نواحی شمال شرق کشور نرسیده است. در ساعت ۰۰ زولو بیشینه بارش بر روی جنوب و جنوب غرب ایران از جمله مناطق واقع در زاگرس مرکزی

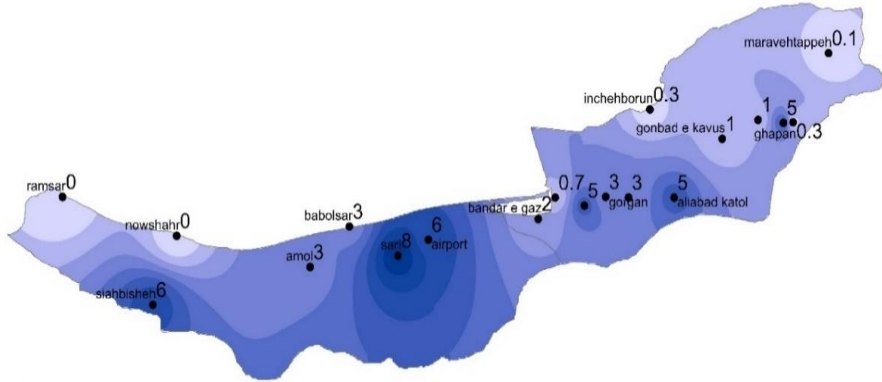
دیگری بر روی فلات تبت و مابین دریاچه‌های بایکال و بالخاش با کانون مرکزی ۱۰۲۰ هکتوپاسکال مشاهده می شود. هماهنگ با این شرایط الگوی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال استقرار فرود عمیق در شرق دریای مدیترانه و عراق را نشان می دهد، و اغلب مناطق کشور در جلو آن قرار گرفته‌اند. در این زمان به دلیل قرار گرفتن پشته قوی بر روی اروپا و با تغییرات نصف النهاری جریانات به سمت عرض‌های پایین هوای سرد از روی دریای شمال و شمال اروپا به عرض‌های پایین‌تر آورده شده است (شکل d-۳). گسترش تراز میانی به سمت شرق (ساعت ۱۲ زولو) هماهنگ با گسترش منطقه واگرایی رودباد جنب حاره بر روی کشور است (شکل f-۳). نرخ تاوایی مثبت در تراز میانی افزایش یافته است (شکل g-۳). نقشه رودباد تراز میانی وجود دو هسته رودباد یکی بر روی شمال عربستان و دیگری بر روی شمال اروپا را نمایان می سازد که زبانه رودباد مستقر بر شمال اروپا بر روی دریای سیاه کشیده شده است (شکل e-۳) در تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال ادغام دو رودباد جنب

سمت عرض‌های بالاتر را نمایان می - سازد. این سامانه کم‌فشار که روز قبل تکوین شده بود تحت تاثیر تقویت پرفشار در غرب به سمت ایران زمین گسترش یافته است (شکل c-۳). جابجای پرفشار مستقر مهاجر شمال آفریقا به سمت شرق سبب حاکمیت الگوی کم فشار با هسته مرکز ۱۰۰۲ هکتوپاسکال بر روی ایران زمین شده است. این شرایط باعث استقرار کم فشار بریده در نیمه شمالی کشور گردیده و تحت تاثیر الگوهای پرفشار در اطرف خود به حالت ایستا (بدون حرکت) در- آمده است، بطوری که گسترش پرفشار در شرق کم فشار مذکور مانع از حرکت آن به سمت شرق شده است (شکل d-۳). قرار گرفتن کم فشار بین دو پرفشار در شرق و غرب خود سبب تکوین و گسترش کم فشار، تقویت ناپایداری و تداوم بارش‌ها بر روی کشور شده است. بر پایه نقشه ترکیبی فشار سطح دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل زبانه پرفشار با کانون مرکزی ۱۰۲۵ هکتوپاسکال مستقر بر روی مدیترانه تا غرب خلیج فارس کشیده شده که منجر به ریزش‌هوای سرد از عرض‌های بالا به سمت منطقه شده است (شکل d-۳). هسته پرفشار

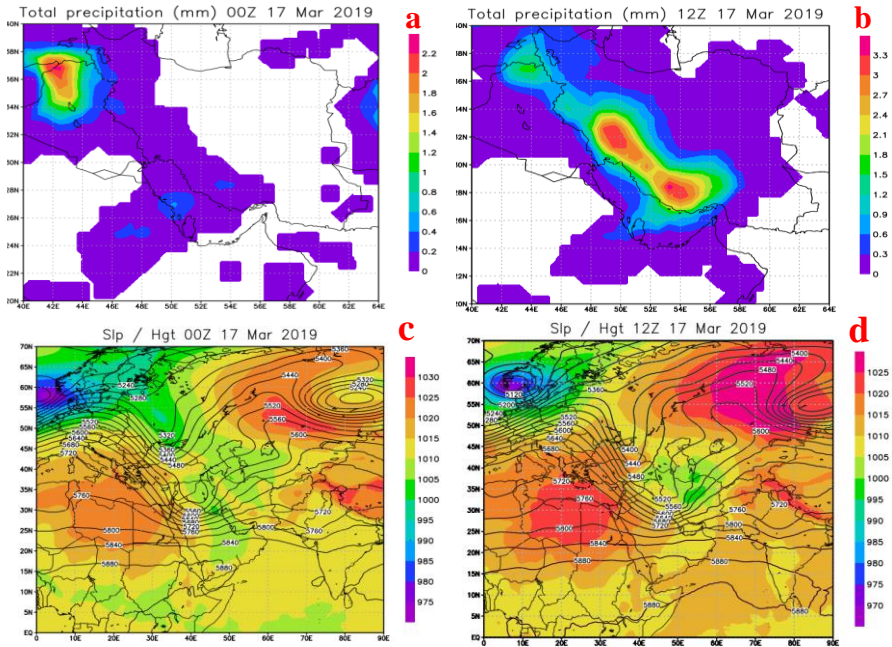
حاره‌ای و جنب قطبی بر روی شرق دریای مدیترانه و قرار گرفتن هسته رودباد (۶۰ متر در ثانیه) جنب حاره بر خلیج فارس را نمایان می‌سازد (شکل ۳-g). قرارگیری رودباد بر روی تاوایی نسبی مثبت در تراز میانی جو هماهنگی زیادی دارد. بطوریکه بیشینه تاوایی نسبی در راستای رودباد تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال دیده می‌شود. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال وجود تاوایی نسبی مثبت در راستای ناوه تراز میانی با وزش باد جنوب غرب-شمال شرق بیانگر فراهم شدن شرایط صعود در منطقه است، بطوریکه بیشینه تاوایی نسبی در مرکز سامانه در شرق مدیترانه به ۱۰ متر بر ثانیه می‌رسد (شکل ۳-g). تقویت تاوایی نسبی در تراز میانی جو بیانگر افزایش ناپایداری و صعود هوا در تراز میانی جو بوده که این شرایط به منزله شروع ناپایداری در منطقه است. وجود حرکات صعودی در نقشه امگا بر روی شرق دریای خزر (شکل ۳-h) افزایش تاوایی تراز بالا و با حاکمیت رودباد تراز بالا شرایط را برای شروع ناپایداری به صورت بارش در کشور فراهم کرده است. با توجه به نقشه امگا بیشترین حرکات صعودی بر روی جنوب شرق دریای خزر دیده می‌شود، که این شرایط بیانگر تقویت حرکات صعودی در این منطقه است که با جابجایی کاملی دارد (شکل ۳-f). با جابجای جت جنب حاره تا عرض ۳۰ درجه شمالی و جابجای جت جنب قطبی به عرض های پایین، دو رودباد مذکور بر روی دریای مدیترانه ادغام شده اند. این شرایط سبب افزایش سرعت جریانات، تقویت ناپایداری و انتقال رطوبت از سمت منابع رطوبتی مذکور بر روی کشور شده است. نقشه‌های وزش رطوبت در تراز ۷۰۰ و ۹۵۰ هکتوپاسکال نشان دهنده وجود همگرایی رطوبت بر روی کشور است. در زمان شروع بارش‌ها در سطح کشور بیشترین رطوبت مربوط به تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال بوده و نقش دریاها و مدیترانه و خلیج فارس در انتقال رطوبت بیشتر می‌باشد. در این تراز جهت جریانات رطوبت از دریای مدیترانه به سمت خلیج فارس است، که با همراهی رطوبت خلیج فارس جهت جریانات مرطوب به سمت ایران زمین انتقال یافته است (شکل ۳-i). در تراز ۹۵۰ هکتوپاسکال نقش دریای عمان، خلیج فارس و اقیانوس هند در تامین

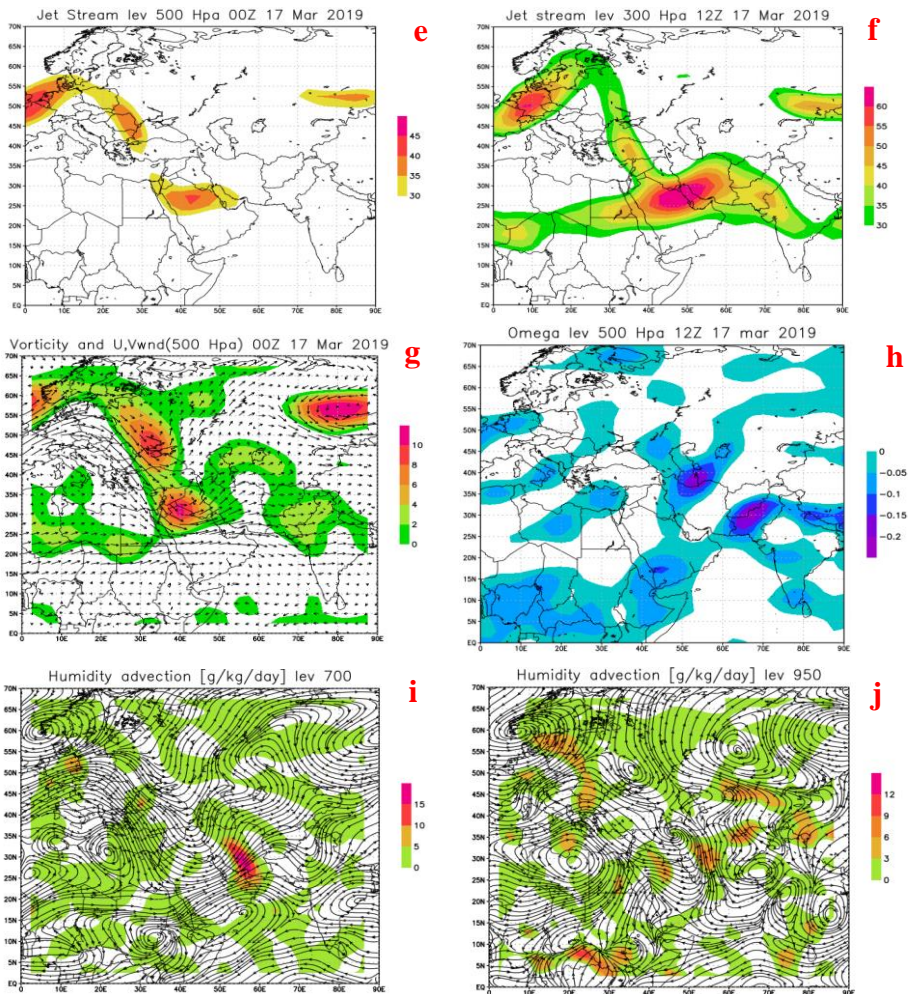
حاره‌ای و جنب قطبی بر روی شرق دریای مدیترانه و قرار گرفتن هسته رودباد (۶۰ متر در ثانیه) جنب حاره بر خلیج فارس را نمایان می‌سازد (شکل ۳-g). قرارگیری رودباد بر روی تاوایی نسبی مثبت در تراز میانی جو هماهنگی زیادی دارد. بطوریکه بیشینه تاوایی نسبی در راستای رودباد تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال دیده می‌شود. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال وجود تاوایی نسبی مثبت در راستای ناوه تراز میانی با وزش باد جنوب غرب-شمال شرق بیانگر فراهم شدن شرایط صعود در منطقه است، بطوریکه بیشینه تاوایی نسبی در مرکز سامانه در شرق مدیترانه به ۱۰ متر بر ثانیه می‌رسد (شکل ۳-g). تقویت تاوایی نسبی در تراز میانی جو بیانگر افزایش ناپایداری و صعود هوا در تراز میانی جو بوده که این شرایط به منزله شروع ناپایداری در منطقه است. وجود حرکات صعودی در نقشه امگا بر روی شرق دریای خزر (شکل ۳-h) افزایش تاوایی تراز بالا و با حاکمیت رودباد تراز بالا شرایط را برای شروع ناپایداری به صورت بارش در کشور فراهم کرده است. با توجه به نقشه امگا بیشترین حرکات صعودی بر روی

رطوبت سامانه بیشتر از سایر منابع رطوبتی دیگر است (شکل-۳).



شکل ۲- بارش تجمعی (میلی متر) ایستگاه‌های استان گلستان و مازندران روز ۱۷ مارس ۲۰۱۹





شکل ۳- وضعیت بارش، فشار (Hpa) ارتفاع ژئوپتانسیل (ژئوپتانسیل متر)، تاوایی نسبی ($10^{-5} s^{-1}$) و باد، امگا (pascal/s)، رودباد (m/s) شار رطوبت (g/kg)، ۱۷ مارس ۲۰۱۹ (UTC - ۰۰) (۱۲UTC)

سنگین بارش‌ها بر روی استان گلستان تمرکز دارد بگونه‌ای که ایستگاه‌های گرگان با ۱۶۸، کلاله ۱۵۹، مینودشت ۱۵۴، گنبد کاوس ۱۰۷ میلی‌متر به ترتیب ۲/۲۷، ۱/۳۱، ۲/۳۴

روز ۱۸ مارس اوج بارش‌های سنگین شکل ۴ مجموع بارش روز ۱۸ مارس ایستگاه‌های استان‌های گلستان و مازندران را نشان می‌دهد. همان‌طوری که ملاحظه می‌شود در این روز هسته

و ۲۱/۴ درصد از بارش (میانگین) سالانه خود را تجربه کرده‌اند (شکل ۴). بر اساس نقشه بارش کشور در روز ۱۸ مارس می‌توان گفت به غیر از مناطق مرکزی و جنوبی کشور مناطق دیگر کشور بارش را تجربه کرده‌اند (شکل a-۵). تحلیل نقشه ترکیبی فشار سطح دریا و ارتفاع ژئوپتانسیلی در اوج بارش-های سنگین، استقرار یک چرخند با پربند بسته ۹۹۵ هکتوپاسکال در شرق دریای خزر را نشان می‌دهد که بخش غربی چرخند یاد شده بر روی منطقه مورد مطالعه قرار گرفته است (شکل c-۵). این کم فشار که در روز قبل وارد کشور شده بود با حرکت به سمت دریای خزر با کاهش سرعت مواجه شده است. در این زمان سامانه مذکور به صورت یک چرخند به صورت ثابت (ایستا) بر روی منطقه مورد مطالعه قرار گرفته است. هسته این کم فشار قوی بر روی شمال شرق است که به وسیله دو پرفشار در اطرف خود به صورت یک چرخند ایستا درآمده است (شکل d-۵). در این زمان الگوی ارتفاع ژئوپتانسیلی تشکیل کم ارتفاع بریده با هسته سرد و حرکات چرخندی در تراز ۵۰۰ را نمایان می‌سازد. در این شرایط بیشترین

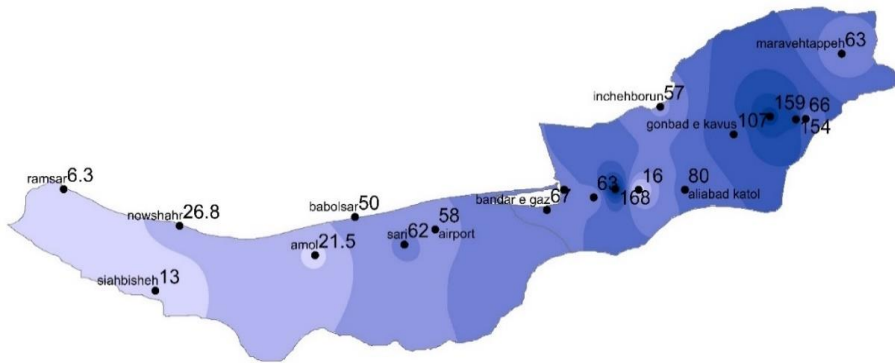
میزان صعود و فرارفت در مرکز سامانه رخ داده است، و مناطق واقع در محدوده کم ارتفاع بریده، شرایط ناپایداری شدیدی را تجربه کرده‌اند (شکل a-۵) و (شکل b-۵). گسترش پرفشار غربی به سمت غرب سامانه مذکور و گسترش پرفشار سیبری بر روی دریای خزر سبب تشدید گرادیان فشار بر روی دریای خزر شده است (شکل d-۵). این شرایط منجر به تقویت چرخندی با هسته مرکزی ۹۹۵ هکتوپاسکال بر روی منطقه مورد مطالعه شده است. همان‌طور که الگوی ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد دو کم ارتفاع بریده در شرق و غرب دریای خزر نمایان گشته است (شکل f-۵). این کم ارتفاع بریده در واقع سرد چال قوی است، به دلیل تغییر شدید نصف النهاری جریانات مداری بادهای غربی ایجاد شده است. این سامانه کم ارتفاع بر روی عرض ۴۰ درجه شمالی و در اطراف دریای خزر بیانگر افزایش گرادیان حرارتی و تقویت ناپایداری در نیمه شمالی کشور است و در اطراف دریای خزر مانند مانعی در مسیر حرکت بادهای غربی سبب دو شاخه شدن آن شده است (شکل d-۵). شاخه

روی دریای خزر جهت باد به تبعیت از الگوی چرخندی گردش می‌کند (شکل ۵-e). الگوی شار رطوبت تراز ۹۵۰ هکتوپاسکال در اوج بارش‌ها نشان دهنده نقش مهم دریای خزر در انتقال رطوبت به درون سامانه بارشی در منطقه مورد مطالعه است. در واقع حرکت چرخندی کم فشار بریده سبب گردش هوا و انتقال رطوبت از روی دریای خزر به سمت منطقه مورد مطالعه شده است. بنابراین در زمان حاکمیت کم فشار بریده در شمال شرق کشور و تشدید حرکات چرخندی آن بر روی دریای خزر نقش دریای خزر در تأمین رطوبت بارش‌های سنگین منطقه را نمایان می‌سازد (شکل ۵-j). از طرفی دیگر گسترش منطقه واگرایی بالایی رودباد جنب حاره‌ای بر روی ایران باعث تشدید ناپایداری بر روی منطقه شده است، بگونه‌ای که در زمان بارش‌های سنگین بیشینه سرعت رودباد به بیش از ۶۰ متر ثانیه می‌رسد، که هسته مرکز آن بر روی نیمه جنوبی ایران و شرق عربستان قرار گرفته است (شکل ۵-h) و (شکل ۵-g). همچنین در زمان بارش‌های سنگین شمال شرق کشور گسترش رودباد در ترازهای ۳۰۰ و

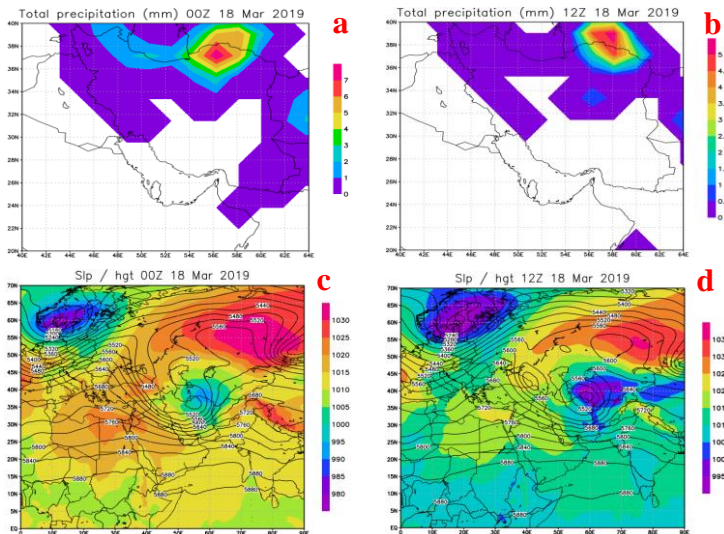
شمالی بادهای غربی به عرض‌های بالا و شمال دریای خزر و شاخه جنوبی آن به طرف جنوب حرکت کرده است (شکل ۵-d). استقرار کم ارتفاع بریده تراز میانی در اوج بارش‌های سنگین با گردش چرخندی بر روی دریای خزر سبب انتقال رطوبت در ترازهای پایین جو بر روی منطقه مورد مطالعه شده است (شکل ۵-i و ۵-j). در این زمان بیشینه تاوایی نسبی در حاشیه جنوبی کم فشار بریده بر روی شمال شرق کشور دیده می‌شود (شکل ۵-e) و بر روی دریا خزر حرکات قائم (امگای منفی) شدید وجود ناپایداری شدید در منطقه را توجیه می‌کند (شکل ۵-b). وجود امگای ۰/۴- پاسکال بر متر بر روی شرق دریای خزر بیانگر صعود شدید هوا در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال است (شکل ۵-f). تشدید حرکات قائم بر روی دریای خزر با گردش چرخند قوی بر روی دریای خزر سبب انتقال رطوبت از روی دریای خزر به درون سامانه شده است. نقشه ترکیبی تاوایی مثبت و باد در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال هسته قوی تاوایی با گردش چرخندی باد در منطقه را نشان می‌دهد، که با کشیده شدن زبانه پرفشار سیبری بر

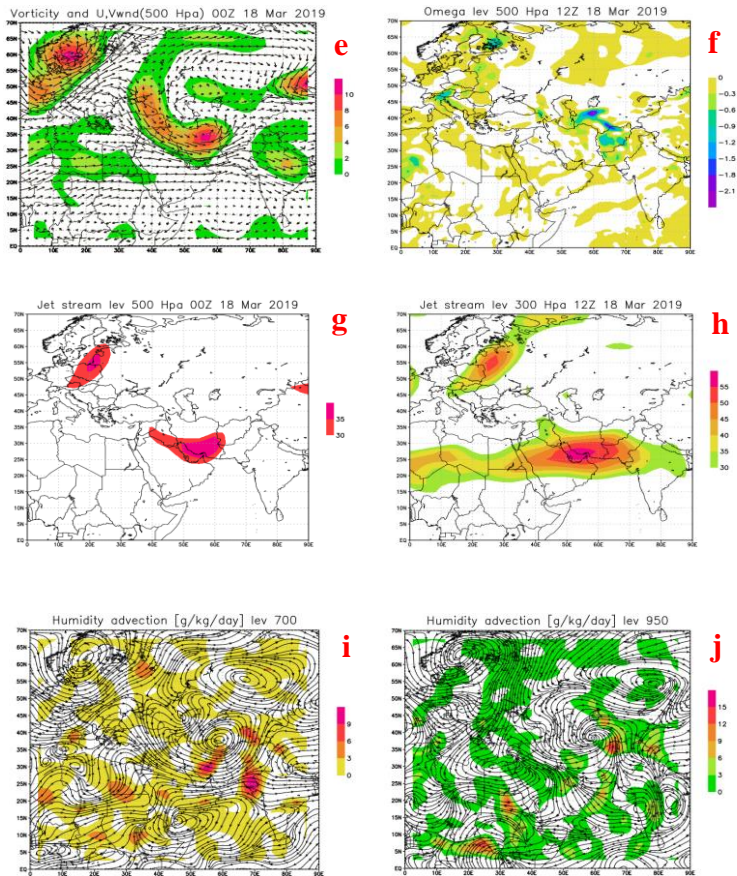
سیبری بر روی دریای خزر سبب تشدید گرادیان فشار گشته، که با شمالی شدن جریانات باد، رطوبت (در ترازهای پایین) از سمت دریای خزر بر روی منطقه مورد مطالعه آورده شده است.

۵۰۰ هکتوپاسکال بر روی کشور بارش- های سنگین منطقه مورد مطالعه را تبیین می کند (شکل h-۵ و g-۵). به طور کلی در زمان اوج بارش های منطقه علاوه بر استقرار کم فشار بریده تراز میانی جو، ریزش هوای سرد پرفشار



شکل ۴- بارش تجمعی (میلی متر) ایستگاه های استان گلستان و مازندران روز ۱۸ مارس ۲۰۱۹



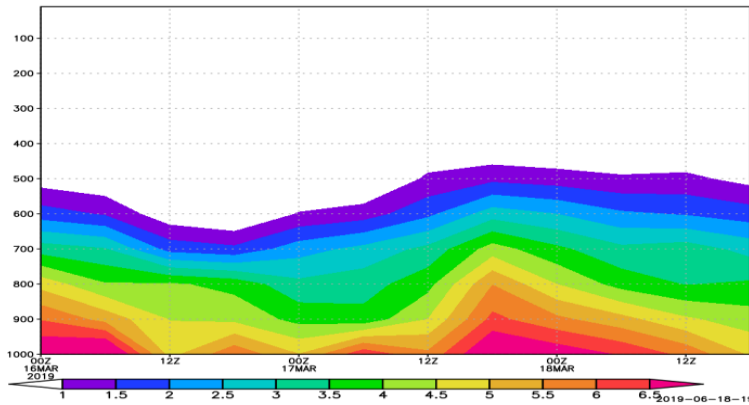


شکل ۵- وضعیت بارش، فشار (Hpa) و ارتفاع ژئوپتانسیل (ژئوپتانسیل متر)، تاوایی نسبی $(10^{-5} s^{-1})$ و باد، امگا (pascal/s)، رودباد (m/s) شار رطوبت (g/kg)، ۱۸ مارس ۲۰۱۹ UTC - ۰۰ (۱۲UTC)

ساعت ۰۰ زولو (ساعت ۱۳:۳۰) به ترتیب در ترازهای ۱۰۰۰، ۹۰۰، ۸۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال بوده است. بنابراین می توان نتیجه گرفت در رخداد بارش های سنگین شرق دریای خزر بیشترین میزان انتقال رطوبت در ترازهای پایین جو صورت گرفته است،

در شکل ۶- نمودار هوف مولر رطوبت ویژه طی بازه زمانی ۱۶-۱۸ مارس برای مختصات طول جغرافیایی ۵۴/۴ درجه شرقی و عرض ۳۷ درجه شمالی که مربوط ایستگاه آق قلا می باشد نشان داده شده است. بر پایه این نمودار در روز ۱۸ مارس بیشینه رطوبت ویژه طی

و نقش دریای خزر در شار رطوبت در زمان بارش‌های سنگین پر رنگ‌تر می‌باشد (شکل ۶).



شکل ۶- نمودار هوف مولر رطوبت ویژه (گرم) روزهای ۱۶ تا ۱۸ مارس

سامانه بارشی دوم

تشکیل کم فشار حرارتی سودانی، گسترش پرفشار مهاجر غربی، استقرار ناوه تراز میانی بر روی ۲۰ درجه شمالی، دینامیکی شدن کم فشار سودانی تحت تاثیر تراف مدیترانه، گسترش کم فشار به سمت شرق مدیترانه و تغذیه رطوبتی دریای سرخ و مدیترانه این سامانه منجر به رخداد سیل در مناطق غربی از جمله لرستان (پلدختر)، ایلام و کرمانشاه شده است.

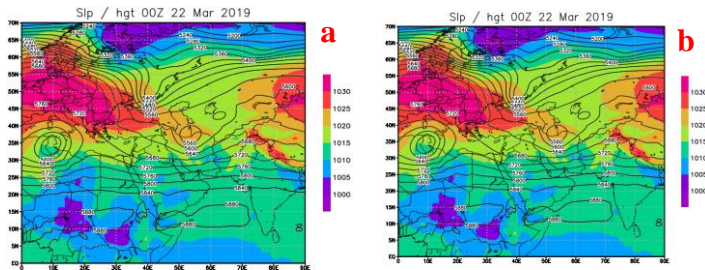
۴۸ ساعت قبل از بارش سنگین

همانطور که در شکل ۷ نشان می‌دهد در روز ۲۲ مارس شرایط پایدار در ایران

زمین حاکم گشته است. در این زمان بر روی گستره ایران زمین زبانه پرفشار قرار دارد که از سمت شمال اروپا گسترش یافته است. در جنوب این پرفشار، کم فشار قوی از شرق آفریقا تا شرق دریای سرخ گسترش یافته است (شکل ۷-b). با توجه به موقعیت هسته کم فشار می‌توان گفت کم فشار مذکور بر روی شرق آفریقا و منطقه سودان تکوین یافته است، بگونه‌ای که هسته مرکزی کم فشار بر روی سودان قرار گرفته است (شکل ۷-a و ۷-b). الگوی فشار سطح دریا در ساعت ۱۲ زولو نشان دهنده پیشروی کم فشار به سمت شمال شرق است (شکل ۷-b) و بر روی

بر روی غرب دریای سرخ قرار گرفته است. نفوذ پرفشار قوی از سمت اروپا و شمال غرب آفریقا و ریزش هوای سرد عرض‌های شمالی به عرض‌های پایین‌تر را نشان می‌دهد (شکل b-۷). این شرایط ضمن افزایش شیب فشار سبب تقویت شمالی شدن جریان‌ها بر روی شرق آفریقا شده است. ریزش هوای سرد به عرض‌های پایین‌تر سبب تشکیل ناوهای در شمال دریای سیاه گشته است (شکل b-۷). گسترش پایین سوی ناهنجاری گردش جو در تراز میانی جو طی این بازه زمانی منجر به تشکیل کم ارتفاع بریده بر روی دریای خزر گردیده است.

عربستان مرکز کم فشار دیگری با فشار مرکزی ۱۰۰۸ هکتوپاسکال تشکیل شده است (شکل b-۷). پرفشار مستقر در شمال آفریقا در غرب سامانه کم فشار سبب جابجایی کم فشار از شرق آفریقا به روی دریای سرخ شده است (شکل a-۷ و b-۷). آرایش الگوی فشار سطح زمین موجب ایجاد گردان فشار از سمت پرفشار مستقر بر روی شمال آفریقا به سمت کم فشار گردیده است. به طور کلی الگوی ترکیبی فشار سطح دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل برای روز قبل از بارش‌های سنگین غرب کشور نشان دهنده تشکیل سامانه کم فشار سودانی بوده که با حرکت به سمت شمال شرق



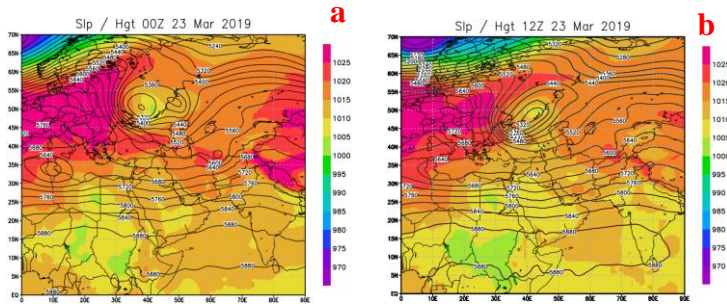
شکل (۷). وضعیت فشار (Hpa)، ارتفاع ژئوپتانسیل (ژئوپتانسیل متر) روز 22 مارس ۲۰۱۹ (UTC ۰۰ - ۱۲ UTC)

عرض‌های پایین‌تر (نسبت به روز ۲۲ مارس) به سمت شرق دریای مدیترانه جابجا شده است (شکل a-۸). گسترش این پرفشار ضمن تقویت کم

۲۴ ساعت قبل از بارش سنگین در این روز کم فشاری حرارتی که روز قبل در شرق آفریقا شکل گرفته بود، تحت تأثیر گسترش پرفشار آفریقا به

فشار باعث دینامیکی شدن آن شده است. الگوهای فشار و ارتفاع ژئوپتانسیلی در ۲۴ ساعت قبل از بارش‌های سیل‌آسای غرب کشور نشان دهنده گسترش سامانه کم فشار بر روی بخش‌های وسیعی از خاورمیانه از جمله غرب ایران است. عقب نشینی پرفشار مستقر بر روی کشور به سمت شرق از یک طرف و گسترش هوای سرد پرفشار در قسمت غرب کم فشار سبب گسترش دامنه مکانی سامانه کم فشار به سمت منطقه مورد مطالعه شده است (شکل- ۸b). این شرایط بیانگر حرکت نصف النهاری سامانه سودانی به سمت عرض- های شمالی بوده که در ساعت ۱۲ زولو سامانه کم فشار به شرق دریای مدیترانه رسیده است. شکل گیری کم فشار سودانی و گسترش آن بر روی جنوب شرق دریای مدیترانه سبب کشیده شدن تاوه قطبی به سمت عرض‌های پایین و استقرار ناوه بر روی شرق دریای سیاه شده است (شکل ۸-b).

پشته بر روی نیمه غربی مدیترانه و غرب اروپا منجر به فشردن شدن کنتورهای ارتفاع ژئوپتانسیل (گرادیان فشار) بر روی اروپا و ریزش هوای سرد عرض‌های شمالی به سمت شرق اروپا و شمال دریای سیاه شده است (شکل- ۸b). تقویت جریانات نصف النهاری بر روی شرق اروپا منجر به استقرار کم ارتفاع بریده در دریای سیاه شده است (شکل ۸-b). به بیانی دیگر گسترش تاوه قطبی از شمال دریا سیاه به سمت عرض‌های پایین منجر به تشکیل تراف بر روی دریای مدیترانه شده است. تغییرات شدید نصف النهاری جریانات بادهای غربی در تراز میانی جو منجر به استقرار پدیده بندالی بر روی شمال دریای سیاه و غرب اروپا شده است. الگوی ارتفاع ژئوپتانسیل پدیده بندالی از نوع رکس (حرف S معکوس) را تبیین می کند، که کم ارتفاع بریده آن با کنتور ۵۳۲۰ ژئوپتانسیل متر ظاهر شده است (شکل ۸-b).



شکل ۸- وضعیت فشار (Hpa)، ارتفاع ژئوپتانسیل (ژئوپتانسیل متر) روز 23 مارس ۲۰۱۹ (۰۰ UTC) - (۱۲ UTC)

روز شروع بارش های سنگین

نقشه های بارش روز ۲۴ مارس بیانگر شروع بارندگی بر روی گستره ایران زمین است بطوریکه ایستگاه های مناطق غربی بارش بیشتری را تجربه کرده اند (شکل b-۱۰). بر پایه شکل ۹ ایستگاه های جوانرود ۴۱، نورآباد ۴۰، پاوه ۳۴، بارش بیشتر از ۳۰ میلی متر داشته اند (شکل-۹). در روز ۲۴ مارس ۲۰۱۹ گسترش کم فشار بر روی شرق دریای مدیترانه سبب تقویت ناپایداری بر روی منطقه خاورمیانه و غرب ایران شده است. این سامانه که در روز قبل (۲۳ مارس) در شرق دریای مدیترانه مستقر بود، در این زمان با حرکت به سمت شرق به مناطق غربی ایران زمین رسیده است بطوریکه با ادغام دو سامانه سودانی و کم فشار اروپایی با مرکزیت غرب مدیترانه و تغذیه رطوبت دریای

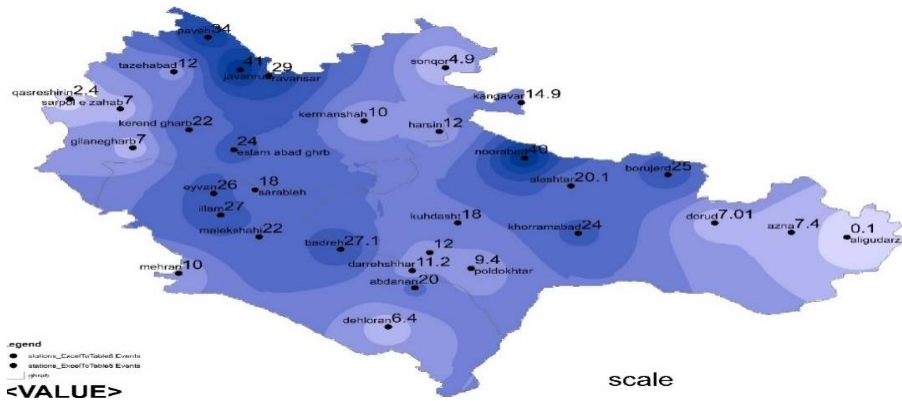
سرخ، مدیترانه، دریای عمان و خلیج فارس شرایط مناسبی برای ناپایداری در غرب کشور فراهم شده است (شکل c-۱۰، d-۱۰، i-۱۰ و j-۱۰). الگوهای ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال عمیق شدن تراف بر روی غرب مدیترانه و قرار گرفتن ایران در جلو محور آن را نمایان می سازد (شکل c-۱۰ و d-۱۰). در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال الگوی بندالی از نوع امگا توسعه یافته است، که بر ارتفاع ناشی از این بندهال بر روی غرب اروپا جای گرفته و کم ارتفاع بریده غرب آن، با کنتور بسته مرکزی ۵۳۶۰ هکتوپاسکال در شمال دریای سیاه کشیده شده است (شکل c-۱۰). همانطور که نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل ساعت ۱۲ زولو نشان می دهد تراف عمیق تراز میانی از غرب روسیه تا شمال آفریقا کشیده شده

است، که شرق مدیترانه و شمال دریای سرخ در منطقه تاوایی مثبت آن قرار دارد. در این زمان جت جنب حاره بر روی شمال آفریقا و نیمه شمالی دریای سرخ شرایط مناسبی برای انتقال رطوبت به درون سامانه فراهم کرده است (شکل f-۱۰). با استقرار خروجی جت جنب حاره بر روی عرض ۱۵ تا ۳۰ درجه شمالی و طول ۵۰ تا ۶۵ درجه شرقی در تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال در زمان بارش‌های سنگین غرب کشور نقش آن در تقویت سامانه بارشی نمایان می‌شود (شکل f-۱۰). تغییر مکان رودباد جنب جنب قطبی به عرض‌های پایین‌تر و حرکت رودباد جنب حاره به سمت شمال شرق شرایط مناسبی برای گسترش تراف (عمیق شدن تراف) به سمت عرض‌های پایین‌تر فراهم کرده است (شکل c-۱۰ و d-۱۰). همزمان با قرارگیری رودباد بر روی شمال آفریقا میزان تاوایی نسبی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بر روی شمال دریای سرخ و شرق مدیترانه تشدید شده است (شکل g-۱۰). در ساعت ۱۲ زولو (۱۵:۳۰) میزان امگا بر روی غرب ایران زمین به ۰/۴- پاسکال بر ثانیه رسیده است (شکل h-۱۰). نمایه امگا منفی به

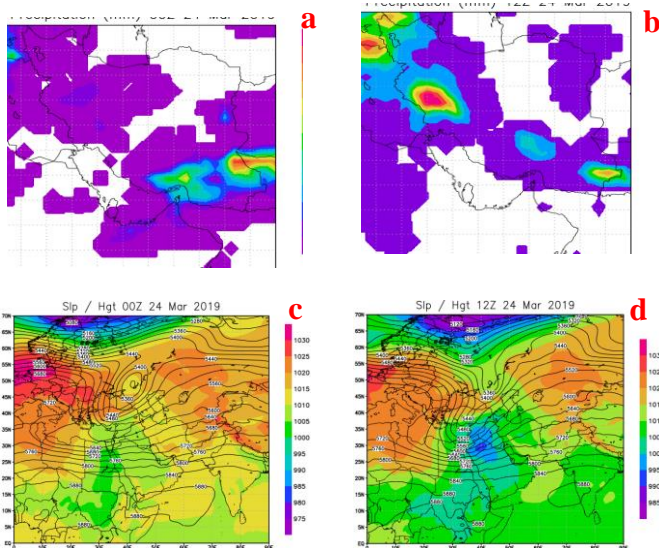
عنوان شاخص ناپایداری تشدید حرکات صعودی هوا در کل نیمه غربی تشدید گردیده، که با تقویت چرخندگی بر روی منابع رطوبتی مانند دریای سرخ و مدیترانه شرایط برای انتقال رطوبت فراهم شده است (شکل i-۱۰) بگونه‌ای که هماهنگ با حرکات صعودی بر روی کشور و حاکمیت جریانات غربی رطوبت بالایی از سمت دریای سرخ به سمت کشور منتقل شده است (شکل i-۱۰). الگوی تاوایی نسبی ۵۰۰ هکتوپاسکال هماهنگی زیادی با تراف مستقر بر شمال دریای سرخ دارد، بطوریکه بیشینه تاوایی نسبی در غرب تراف تراف میانی به ۴-۸ متر بر ثانیه می‌رسد (شکل g-۱۰). نقشه شار رطوبت در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال انتقال رطوبت از سمت دریای سرخ و مدیترانه به سمت غرب ایران زمین را نمایان می‌سازد (شکل i-۹). در تراز ۹۵۰ هکتوپاسکال نیز نقش دریای‌های جنوبی از جمله اقیانوس هند، دریای عمان و خلیج فارس در تغذیه رطوبت سامانه بارشی نمایان می‌شود (شکل j-۱۰). همچنین تراز ۹۵۰ هکتوپاسکال به عنوان تراز نزدیک سطح زمین نقش دریاهای گرم جنوب مانند دریای عمان، اقیانوس هند

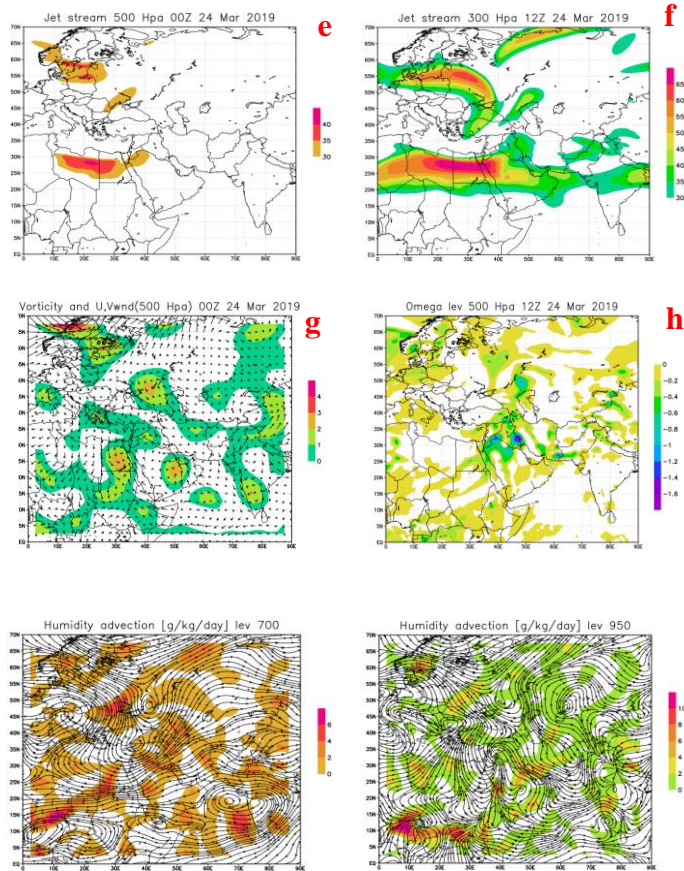
لحاظ منابع تامین رطوبت بارش ها نیز می توان گفت، بیشترین میزان رطوبت از سمت دریای سرخ (تراز ۷۰۰) و دریای عمان (تراز ۹۵۰ هکتوپاسکال) منتقل شده است (شکل ج-۱۰ و ج-۱۱).

را در تغذیه رطوبتی سامانه بارشی را تبیین می کند (شکل ج-۹). بنابراین در زمان بارش های سنگین در غرب ایران زمین قرار گرفتن سامانه ادغامی سودانی- مدیترانه ای بر روی کشور منجر به تشدید بارندگی شده است. از



شکل ۹- بارش تجمعی (میلی متر) استان های ایلام، لرستان و کرمانشاه در روز ۲۴ مارس ۲۰۱۹





شکل ۱۰- وضعیت بارش، فشار (Hpa) ارتفاع ژئوپتانسیل (ژئوپتانسیل متر)، تاوایی نسبی ($10^{-5} s^{-1}$) و باد، امگا (pascal/s)، رودباد (m/s) شار رطوبت (g/kg)، ۲۴ مارس ۲۰۱۹ (UTC - ۰۰) ۱۲UTC

شده است (شکل a-۱۲ و b-۱۲). در این روز بارش شدید منجر به سیل در دروازه قرآن شیراز گردیده است. همزمان با شروع بارش‌های گسترده در غرب ایران الگوهای فشار، ارتفاع ژئوپتانسیلی، تاوایی نسبی، رودباد، شار رطوبتی و بارش به ترتیب بیانگر

شکل ۱۱ مجموع بارش روز ۲۵ مارس استان‌های لرستان، ایلام و کرمانشاه را نشان می‌دهد. در این زمان مرکز سامانه بارشی بر روی نیمه غربی ایران زمین (ساعت ۱۲ زولو) قرار دارد، که با گسترش آن بر روی بخش‌های جنوب غرب و جنوبی سبب بارش‌های شدید

گسترش کم فشار سطح زمین، قرار گرفتن کشور در محور ناوه تراز میانی جو، تشدید حرکات صعودی، استقرار منطقه واگرایی بالایی رودباد بر روی کشور و شار رطوبت از سمت منابع رطوبتی به سمت کشور است. الگوی ترکیبی فشار سطح زمین و ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال گسترش چرخندی بر روی شرق مدیترانه، غرب ایران با فشار ۹۹۵ هکتوپاسکال را نشان می دهد، که با ریزش هوای سرد پرفشار مستقر بر روی آفریقا تقویت شده است (شکل C-۱۲). این سامانه در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال با تراف عمیق همراه بوده، که پربندهای ارتفاع ژئوپتانسیل با جهت جنوب غرب- شمال شرق نشان دهنده افزایش چرخندگی (شکل d-۱۲)، و افزایش ناپایداری در منطقه مورد مطالعه است. تحت تاثیر تغییر شدید جریانات بادهای غربی بر روی مدیترانه پدیده کم ارتفاع بریده غالب گشته است، به نحوی که این سامانه به دلیل عمیق شدن تراف مدیترانه به صورت سردچال قوی بر روی شرق مدیترانه قرار گرفته است (شکل d-۱۲). کم ارتفاع بریده با ناوه عمیق تراز میانی منطقه گسترده ای از شرق مدیترانه تا غرب ایران را در بر گرفته است، که در این حالت منطقه مورد مطالعه (غرب ایران) در بهترین حالت در جلو محور ناوه مذکور قرار گرفته است (شکل d-۱۲). همانطوری که الگوی ارتفاع ژئوپتانسیلی نشان می دهد در زمان بارش های سنگین غرب کشور بیشترین میزان واگرایی در تراز بالا بر روی نیمه غربی کشور قرار دارد (شکل d-۱۲). الگوی ترکیبی تاوایی نسبی و باد در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال هماهنگ با گسترش تراف بر روی شرق مدیترانه بیشینه میزان تاوایی نسبی مثبت را در امتداد بخش غربی کم ارتفاع بریده نشان می دهد (شکل g-۱۲). جهت باد در راستای پربندهای ارتفاع ژئوپتانسیلی با جهت جنوب غرب- شمال شرق هماهنگی بالایی با سامانه مستقر بر شرق مدیترانه دارد. در ساعت ۱۲ گرینویچ (۱۵:۳۰) استقرار کم ارتفاع بسته (۵۵۲۰ ژئوپتانسیل) به عنوان مانعی در مسیر بادهای غربی سبب تشدید شیو فشار در مسیر بادهای غربی شده است. این شرایط باعث فشرده شدن منحنی های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال شده، که نتیجه آن تشدید

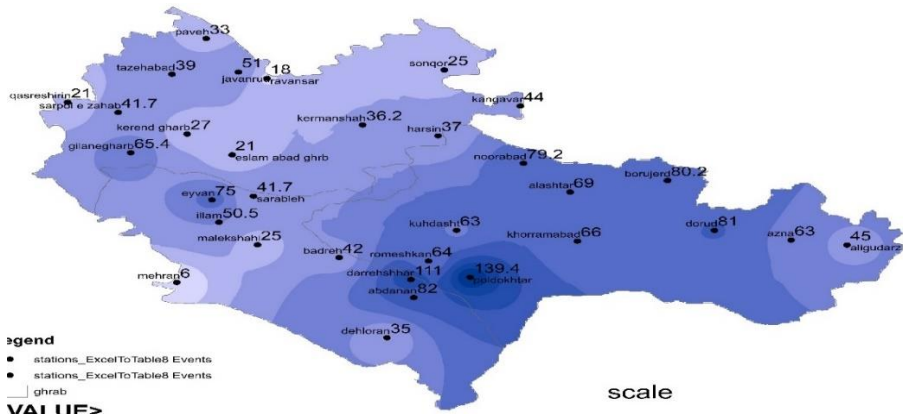
گسترش کم فشار سطح زمین، قرار گرفتن کشور در محور ناوه تراز میانی جو، تشدید حرکات صعودی، استقرار منطقه واگرایی بالایی رودباد بر روی کشور و شار رطوبت از سمت منابع رطوبتی به سمت کشور است. الگوی ترکیبی فشار سطح زمین و ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال گسترش چرخندی بر روی شرق مدیترانه، غرب ایران با فشار ۹۹۵ هکتوپاسکال را نشان می دهد، که با ریزش هوای سرد پرفشار مستقر بر روی آفریقا تقویت شده است (شکل C-۱۲). این سامانه در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال با تراف عمیق همراه بوده، که پربندهای ارتفاع ژئوپتانسیل با جهت جنوب غرب- شمال شرق نشان دهنده افزایش چرخندگی (شکل d-۱۲)، و افزایش ناپایداری در منطقه مورد مطالعه است. تحت تاثیر تغییر شدید جریانات بادهای غربی بر روی مدیترانه پدیده کم ارتفاع بریده غالب گشته است، به نحوی که این سامانه به دلیل عمیق شدن تراف مدیترانه به صورت سردچال قوی بر روی شرق مدیترانه قرار گرفته است (شکل d-۱۲). کم ارتفاع بریده با ناوه عمیق تراز میانی منطقه گسترده ای از

سرعت باد در ترازهای بالایی است. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال همسو شدن محور ناوه عرض‌های میانی در محل خروجی رودباد جنب حاره در شمال دریای سرخ سبب تشدید تاوایی مثبت و افزایش ناپایداری در منطقه شده است (شکل-g-۱۲ و b-۱۲). بگونه‌ای که الگوی رودباد تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال به خوبی استقرار منطقه واگرایی بالایی جت جنب حاره را بر روی کل نیمه غربی کشور تبیین می کند (شکل-f-۱۲). میانگین سرعت رودباد بر روی غرب کشور بین ۴۰ تا ۶۰ متر در ثانیه است، که هسته مرکزی آن بر روی شمال عربستان، دریای سرخ و شرق آفریقا شکل گرفته است (شکل-f-۱۲ و e-۱۲). کم ارتفاع بریده تراز میانی جو با حرکت کند خود سبب تداوم بارش در اغلب مناطق ایران زمین شده است. در زمان بارش‌های سنگین کشور تقویت کم ارتفاع بریده (با حرکت کند) منجر به انتقال رطوبت از دریاهای اطراف به درون سامانه بارشی شده است (شکل-j-۱۲). وجود امگای منفی به عنوان نمایه مهم در حرکات صعود هوا نشان دهنده تشدید امگای منفی بر روی کشور است (شکل-h-۱۲). در این زمان منطقه

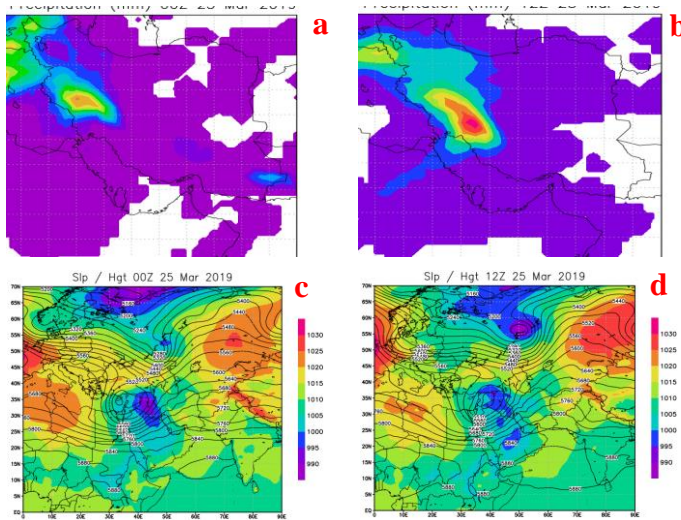
واگرایی بالایی رودباد جنب حاره‌ای بر روی نیمه غربی ایران قرار گرفته است. به نظر می رسد در زمان بارش‌های سنگین کشور عمیق شدن تراف به سمت عرض‌های پایین‌تر، استقرار کم ارتفاع بریده و موقعیت مناسب رودباد جنب حاره بتواند شدت ناپایداری روز ۲۵ مارس را توجیه کند. با توجه به حرکات صعودی در منطقه، بیشینه شار رطوبت در تراز ۷۰۰ از سمت دریای سرخ، مدیترانه و خلیج فارس (شکل-i-۱۲) و در ۹۵۰ هکتوپاسکال از دریاهای جنوب از جمله اقیانوس هند، دریای عمان و اقیانوس هند بوده است (شکل-j-۱۲). همانطوری که الگوی شار رطوبت نشان می‌دهد جریانات از سمت دریای سیاه و مدیترانه به عرض‌های پایین‌تر کشیده شده و با توجه به گردش سیکلونی، جهت جریانات مرطوب به سمت دریای سرخ و خلیج فارس تغییر می کند. این گردش سیکلونی سبب ادغام رطوبت دریای مدیترانه و سیاه با دریای سرخ و خلیج فارس شده است که با عبور جریانات باد از روی آن‌ها رطوبت بسیار زیادی را به منطقه ناپایدار غرب ایران گسیل کرده است (شکل-i-۱۲). بنابراین می‌توان

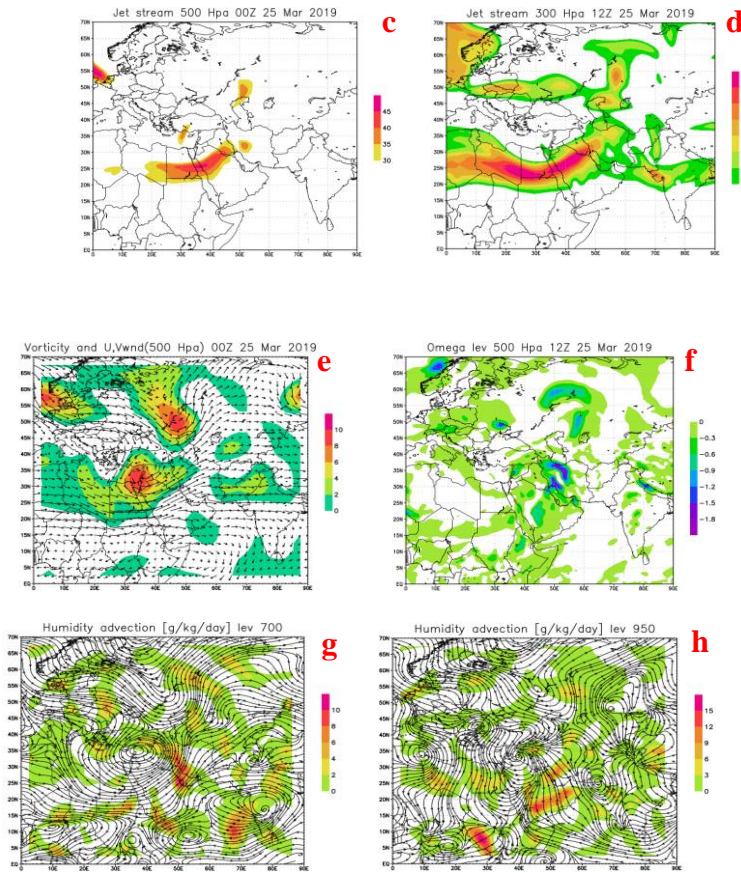
رطوبتی دیگر پررنگ تر می باشد (شکل ۱-۱۲).

گفت اگرچه در زمان بارش های سنگین غرب و جنوب غرب کشور منابع رطوبت مختلفی سبب انتقال رطوبت شده اند اما نقش دریای سرخ نسبت به سایر منابع



شکل ۱۱- بارش تجمعی (میلی متر) استان های ایلام، لرستان و کرمانشاه در روز ۲۵ مارس ۲۰۱۹





شکل ۱۲- وضعیت بارش، فشار (Hpa) ارتفاع ژئوپتانسیل (ژئوپتانسیل متر)، تاوایی نسبی ($10^{-5} s^{-1}$) و باد، امگا (pascal/s)، رودباد (m/s) شار رطوبت (g/kg)، ۲۵ مارس ۲۰۱۹ (۰۰ UTC - ۱۲UTC)

الیگودرز با ۴۴، درود ۳۹، سرپل ذهاب ۳۶، نورآباد ۳۵، بروجرد ۳۴/۱، ازنا ۳۴، کنگاور ۳۰ میلی متر به ترتیب بیشترین میزان بارش را به خود اختصاص داده اند (شکل ۱۳). تحلیل الگوی فشار برای ساعت ۰۰ گرینویچ (ساعت ۱۳:۳۰) بیانگر تداوم فعالیت سامانه کم فشار بر

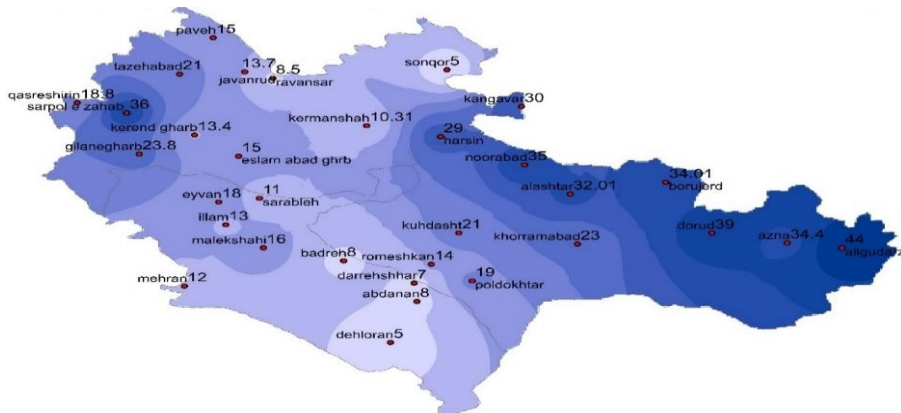
تداوم بارش های سنگین (روز سوم) همانطوری که شکل ۱۳ نشان می دهد در روز ۲۶ مارس مقدار بارش نسبت به روز قبل (۲۵ مارس) کاهش یافته است. در این روز نیز همچنان برخی ایستگاه های غربی کشور بارش بیش از ۳۰ میلی متر ثبت کرده اند و ایستگاه های

است (شکل f-۱۴). حرکت کند سامانه سبب تداوم بارندگی ها در بیشتر مناطق ایران زمین شده است (شکل a-۱۴) که با قرار گیری رودباد سطح بالا بر روی کشور و قرار گرفتن کشور در قسمت واگرایی بالایی آن در تراز بالایی (شکل f-۱۴ و e-۱۴)، حرکات صعودی میانی (شکل h-۱۴ و g-۱۳) و ناپایدار سطحی را به خوبی توجه می کند (شکل a-۱۴ و b-۱۴). همانطوری که ملاحظه می گردد در این زمان بیشترین میزان واگرایی بر روی مناطق واقع در غرب و جنوب غرب کشور قرار دارد که هماهنگ با آن میزان تاوایی مثبت در غرب کم ارتفاع بریده میانی تشدید شده است (شکل g-۱۳). نرخ تاوایی نسبی در مناطقی که بیشترین بارش دریافت کرده اند به ۲-۴ متر بر ثانیه می رسد. در ساعت بعد (۱۲ زولو) سامانه قوی با حرکت به سمت شرق بر روی غرب گسترش یافته است و این شرایط سبب استقرار محور تراف بر بخش های جنوب غرب و مرکز ایران شده است (شکل f-۱۳). بر پایه شکل e-۱۴ و f-۱۴ و i-۱۳) در زمان بارش های سنگین قرار گرفتن رودباد جنب حاره بر روی دریای مدیترانه، سرخ و خلیج فارس منجر به

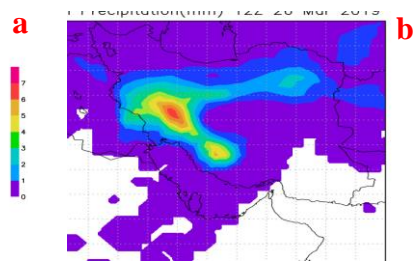
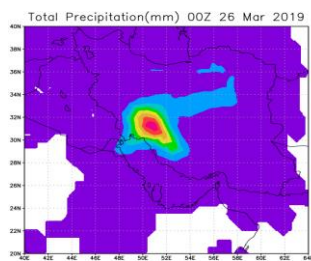
روی کشور است، که پربند ۱۰۰۵ هکتوپاسکالی بر روی گستره کشور گویای این قضیه است (شکل c-۱۴). بر پایه نقشه ترکیبی فشار سطح دریا و ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال سامانه کم فشار که روز قبل منجر به بارش های سنگین شده بود در این روز تضعیف شده است، اما همچنان در اغلب مناطق ایران شرایط ناپایداری و بارندگی فراهم کرده است (شکل a-۱۴ و b-۱۴). در تراز میانی جو استقرار کم ارتفاع بریده با پربند ۵۵۲۰ هکتوپاسکال بر روی غرب ایران نشان دهنده حرکت کند سامانه است که نسبت به روز قبل تغییرات زیادی نداشته است، که در این حالت ایران زمین شرایط ناپایداری را تجربه می کند (شکل d-۱۴). در این زمان بر روی اروپا کم ارتفاع بریده دیگری با پربند ۵۵۲۰ هکتوپاسکال منجر به دو شاخه شدن بادهای غربی بر روی منطقه شده است، که شاخه جنوبی آن نیز در شرق دریای مدیترانه تشکیل یک کم ارتفاع بریده داده است (شکل f-۱۴). بررسی موقعیت مکانی سردچال در روز ۲۶ مارس نسبت به روز قبل نشان دهنده حرکت آرام سردچال به سمت شرق

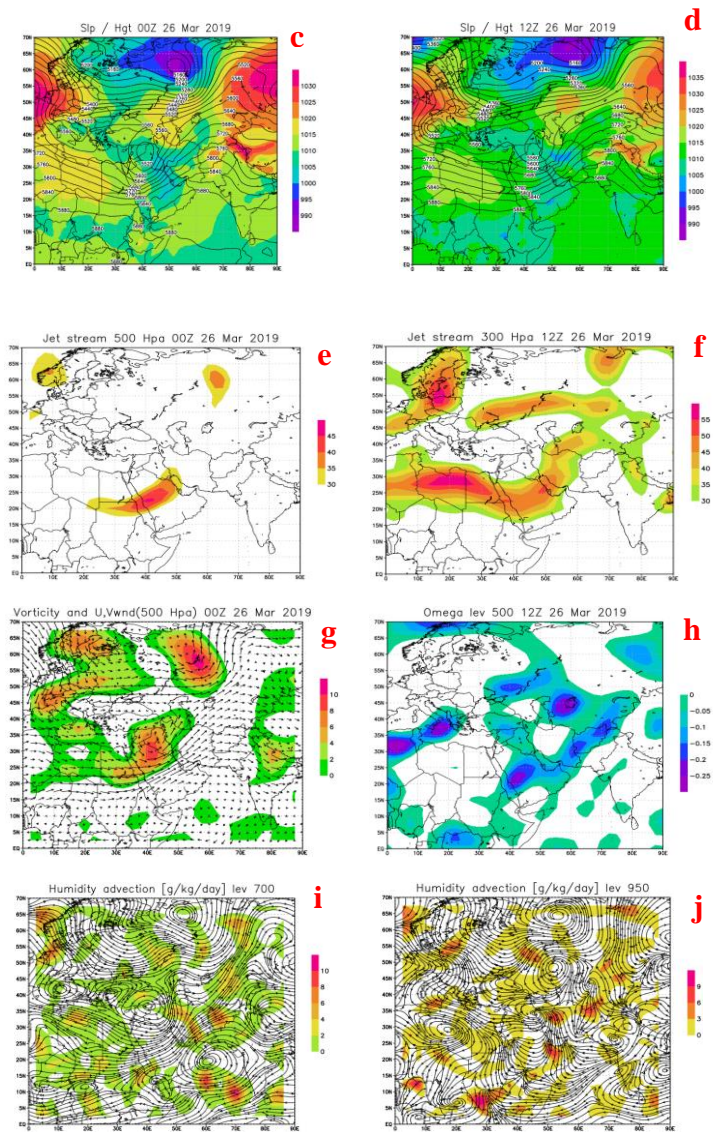
(تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال) تبیین کننده ناپایداری و رخداد بارش بر روی منطقه مورد مطالعه است. بنابراین در روز ۲۶ مارس نقش تغذیه رطوبتی دریاهای جنوب تا حدی بیشتر از مدیترانه است، اما مانند روز قبل ادغام رطوبت دریای مدیترانه، دریای سرخ، خلیج فارس، دریای عمان و اقیانوس هند موجب رخداد بارش‌های سنگین ایران شده است (شکل ۱-۱۴ و ۱۴-ج).

شار رطوبت از سمت این منابع رطوبتی شده است، بگونه‌ای که در این روز نقش خلیج فارس در انتقال رطوبت به داخل سامانه بارشی پررنگ‌تر است (شکل ۱-۱۴ و ۱۴-ج). مرکز اصلی رودباد با سرعت ۵۵-۵۰ متر در ثانیه از شرق آفریقا به سمت دریای سرخ و عربستان است. وجود تاوایی مثبت در تراز میانی با شار رطوبت از سمت خلیج فارس، اقیانوس هند، دریای عمان (تراز ۹۵۰) دریای سرخ، مدیترانه و خلیج فارس



شکل ۱۳- بارش تجمعی (میلی متر) استان‌های ایلام، لرستان و کرمانشاه روز ۲۶ مارس ۲۰۱۹





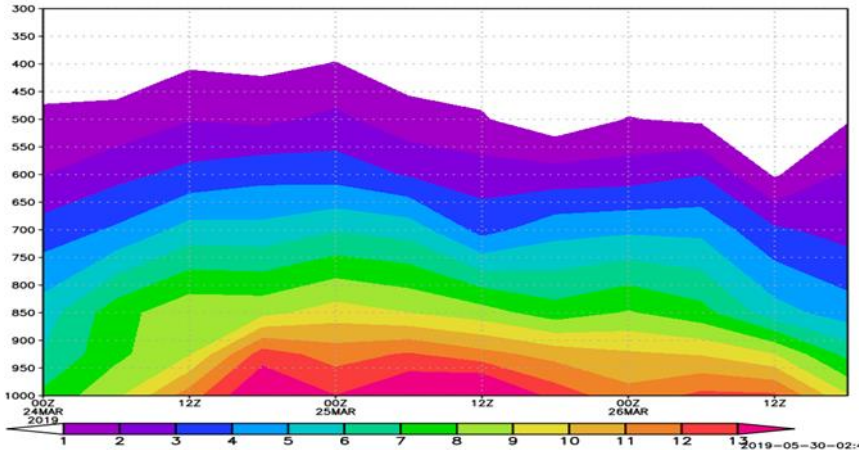
شکل ۱۴- وضعیت بارش، فشار (Hpa) ارتفاع ژئوپتانسیل (ژئوپتانسیل متر)، تاوایی نسبی ($10^{-5} s^{-1}$) و باد، امگا (pascal/s)، رودباد (m/s) شار رطوبت (g/kg)، ۲۶ مارس ۲۰۱۹ (UTC - ۰۰) (۱۲UTC)

درجه شرقی (شهر پلدختر) نشان دهنده حجم بالای رطوبت در ترازهای بین ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ هکتوپاسکال می باشد. از

در شکل ۱۵- نمودار هوف مولر متغیر رطوبت ویژه برای ۲۴-۲۶ مارس و مختصات عرض ۳۳ درجه شمالی و ۴۷

مشاهده می‌شود، که هماهنگی کاملی با اوج بارش‌های سنگین کشور دارد.

لحاظ زمانی بیشترین میزان رطوبت طی بازه زمانی ۱۲ زولو ۲۴ مارس تا ۱۲ زولو ۲۶ مارس در ترازهای پایینی جو



شکل ۱۵- نمودار هوف مولر رطوبت ویژه (گرم) روزهای ۲۴-۲۶ مارس

سامانه بارشی سوم

ادغام کم‌فشار سودانی-مدیترانه‌ای- ترکیب تراف مدیترانه با تراف اروپایی و استقرار کم ارتفاع بریده، بارش‌های این سامانه موجب سیل در غرب ایران زمین شده است.

۴۸ ساعت قبل از بارش‌های سنگین

همانطور که مشاهده می‌گردد، در این روز سامانه کم فشاری با فشار مرکزی ۱۰۰۵ هکتوپاسکال از شرق آفریقا تا مدیترانه گسترش یافته است (شکل ۱۶-ا). بررسی الگوهای فشار و ارتفاع ژئوپتانسیل در ۴۸ ساعت قبل از شروع بارش‌های سنگین در کشور نشان

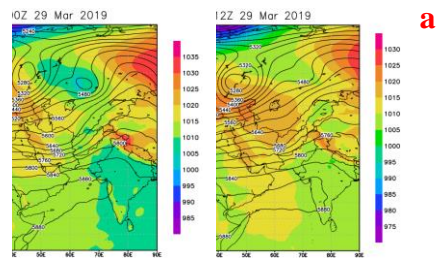
داد، که هوای سرد از شمال اروپا به شرق آفریقا و غرب دریای سرخ ریزش کرده است، که در جلو این هوای سرد کم فشار گسترده‌ای در شرق آفریقا و منطقه مدیترانه شکل گرفته است (شکل ۱۶-ا و ۱۶-ب). ریزش هوای سرد در این زمان منجر به تشدید شیو فشار در اطراف دریای سرخ و مدیترانه گشته است (شکل ۱۴-ا). در ساعت بعد این کم فشار به عرض‌های بالاتر پیشروی نموده است (شکل ۱۶-ب). همانطور که ملاحظه می‌گردد با تزریق هوای سرد پرفشار مهاجر عرض‌های بالایی به نیمه غربی مدیترانه و غرب کم‌فشار مستقر بر

اروپا به عرض‌های پایین‌تر منجر به تشکیل ترف با جهت شمال شرق- جنوب غرب بر روی دریای مدیترانه شده است (شکل b-۱۶)، که کشیده شدن آن بر روی دریای سرخ بیانگر همراهی جریانات مرطوب جنوبی (دریای سرخ) در سامانه مذکور است (شکل b-۱۶). در راستای ناوه مذکور در عرض‌های بالاتر ناوه دیگری مشاهده می‌شود که سبب تکوین کم ارتفاع بریده‌ای (۵۲۸۰ هکتوپاسکال) شده است (شکل b-۱۶). به عبارت دیگر در روز ۲۹ مارس با تشکیل یک ناوه دو دامنه ۷ بر روی شرق اروپا و منطقه مدیترانه تاوه قطبی به عرض‌های پایین‌تر کشیده شده است (شکل b-۱۶).

شکل (۱۶). وضعیت فشار (Hpa)، ارتفاع ژئوپتانسیل (ژئوپتانسیل متر) روز ۲۹ مارس ۲۰۱۹ (۰۰ UTC-۱۲ UTC)

۲۴ ساعت قبل از بارش‌های سنگین نقشه‌های بارش برای این زمان بیانگر شروع بارندگی در غرب ایران زمین است (شکل ۱۷، a-۱۸ و b-۱۸). الگوهای فشار سطح دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل

شرق آفریقا (سودان) شرایط مناسبی برای تشکیل تقویت کم فشار سودانی فراهم کرده است. گسترش هوای سرد به سمت عرض‌های پایین‌تر منجر به جابجایی سامانه کم‌فشار مذکور به سمت مدیترانه شده است (شکل b-۱۶). به عبارتی دیگر در این زمان بر روی منطقه سامانه ترکیبی مدیترانه‌ای-سودانی تشکیل شده است (شکل b-۱۶). بطوری‌که در این زمان سامانه مذکور بر روی مدیترانه روند تکوین خود را طی می‌نماید (شکل b-۱۶). متناسب با کم‌فشار سطح زمین در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال قرار گرفتن الگوی بندالی بر روی اروپا و دریای مدیترانه بر روی نقشه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل ظاهر گشته است. گسترش جریانات از سمت



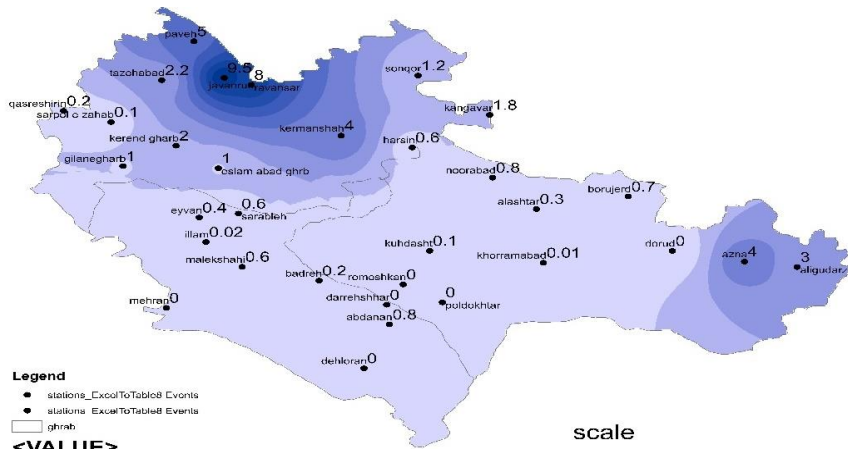
۷. ناوه دو دامنه: یعنی در راستای یک ناوه در عرض‌های بالاتر یک ناوه دیگر شکل بگیرد.

برای روز قبل از بارش‌های سنگین استقرار سامانه کم فشار در شرق دریای مدیترانه را نشان می‌دهد که قسمت جنوبی آن بر روی دریای سرخ مستقر شده است (شکل C-۱۸). الگوی کم‌فشار سطحی در تراز میانی با تغییرات شدید جریانات از مداری به نصف‌النهاری به صورت بندال ظاهر شده است، که با شکل‌گیری الگوی بندالی از نوع رکس (حرف S معکوس) بر روی اروپا و غرب آسیا همراه است. همانطور که شکل C-۱۸ نشان می‌دهد، با قرار گیری پر ارتفاع بر روی اروپا و کم ارتفاع بر روی مدیترانه جریانات بین کم ارتفاع و پر ارتفاع به صورت بندالی در آمده است. این سامانه یک سردچال عمیق می‌باشد، که از سطح زمین با زبانه کم فشار ظاهر شده است و با همراهی رطوبت دریای سرخ- مدیترانه تقویت می‌شود (شکل I-۱۸). این پدیده به تدریج با گذشت زمان ضمن گسترش تراف به عرض‌های پایین‌تر به سمت شرق دریای مدیترانه پیشروی کرده است (شکل d-۱۸). استقرار یک کم ارتفاع بریده (سردچال) در وردسپهر میانی به همراه یک چرخند ساکن بر روی مدیترانه و واچرخند گسترده

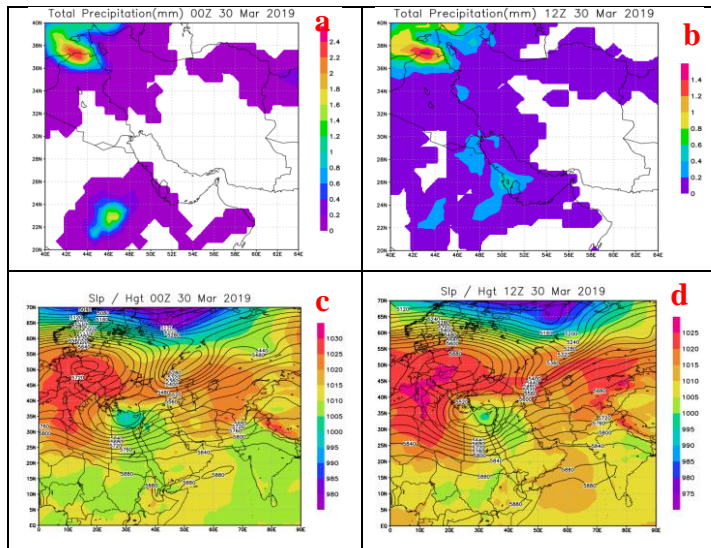
ساکن بر روی شمال اروپا در وردسپهر زیرین، بلاکینگ (S معکوس) از مهمترین مولفه‌های در رابطه با نقشه فشار و ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال است (شکل C-۱۸ و C-۱۸) پدیده بلاکینگ هوای سرد (پشته) در سطوح میانی جو را به درون ناوه تراز میانی جو انتقال داده است و سبب تشدید گرادیان فشار شده است (شکل d-۱۶). در این شرایط اختلاف دما سطوح پایین و سطح بالاتر تشدید شده و ناپایداری در راستای محور ناوه مذکور تشدید شده است (شکل d-۱۸). در این زمان مرکز کم ارتفاعی با منحنی بسته ۵۵۲۰ بر روی شرق دریای مدیترانه تشکیل شده است، که به عنوان یک سردچال قوی منجر به حاکمیت نصف‌النهاری بادهای غربی بر روی منطقه شده است (شکل d-۱۸). گسترش جریانات غربی به سمت عرض‌های پایین منجر به کشیده شدن ناوه اروپایی به عرض‌های پایین‌تر شده است، و در راستای فرود مدیترانه در عرض‌های بالاتر یک فرود دیگر نمایان شده است (شکل d-۱۸). به عبارت دیگر جابجایی جت جنب قطبی به عرض‌های پایین‌تر منجر به گسترش ناوه اروپایی تا

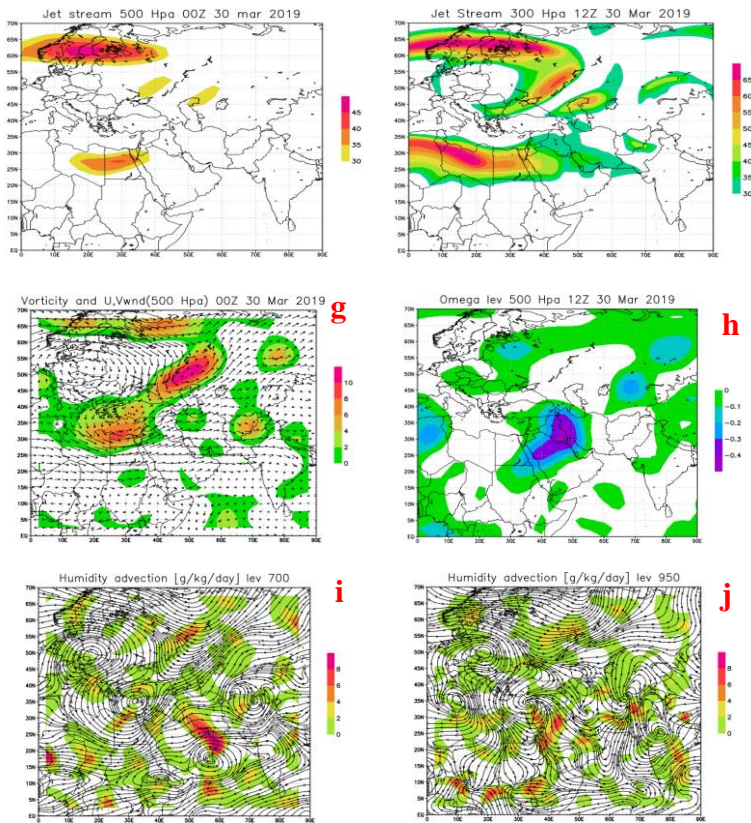
مطالعه فراهم کرده است. الگوی شار رطوبت در روز قبل از بارش سنگین نشان می‌دهد، که تغذیه رطوبتی کم فشار توسط منابع رطوبت جنوب از جمله دریای سرخ، دریای عرب و اقیانوس هند صورت می‌گیرد، لذا بارندگی‌های آن غالباً به شکل رگبارهای شدید می‌باشد (شکل ۱۸-۱). الگوی واچرخندی بر روی جنوب خلیج فارس و دریای عرب بیانگر حرکات واچرخندی پرفشار عربستان است، که گردش واچرخندی آن نقش مهمی در همگرایی رطوبت دریای عرب و اقیانوس هند به درون سامانه بارشی دارد. در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال جریانات مرطوب به تبعیت ناوه مستقر بر روی دریای مدیترانه و سرخ نقش بسیار مهمی در انتقال رطوبت در زمان شروع بارش‌های شدید غرب ایران داشته است (شکل ۱۸-۱). در تراز ۹۵۰ هکتوپاسکال نیز جریانات مرطوب از سمت دریای عمان و دریای عرب به سمت مرکز سامانه کم فشار سبب شار رطوبت در شرق دریای مدیترانه شده است. بنابراین می‌توان گفت در روز قبل از بارش سنگین غرب کشور رطوبت کافی برای شروع بارندگی در منطقه فراهم شده است.

شمال دریای سیاه شده است (شکل ۱۸-d). این شرایط منجر به تغییر جریان بادهای غربی از مداری به نصف النهاری گشته است، که با گسترش فرود عمیق به عرض پایین به دلیل دور زدن پشته مستقر شمال اروپا سامانه کم ارتفاعی بین عرض ۲۰ تا ۶۰ شمالی را به وجود آورده است (شکل ۱۸-c و ۱۸-d). استقرار پشته قوی بر روی شمال آفریقا سبب دو شاخه شدن جریانات بادهای بر روی شرق مدیترانه شده است، بطوری که نقشه رودباد تراز ۳۰۰ هکتوپاسکالی استقرار منطقه واگرایی بالایی رودباد جنب حاره بر روی منطقه را نشان می‌دهد (شکل ۱۸-f). در این زمان رودباد جنب حاره بخش وسیعی از مناطق واقع در عرض ۲۰ تا ۳۵ درجه از جمله ایران را در بر گرفته است، و در عرض‌های بالاتر رودباد جنب قطبی به سمت عرض‌های پایین‌تر گسترش یافته است (شکل ۱۸-f و ۱۸-e). گسترش رودباد جنب حاره بر روی منطقه با تشدید جریانات صعودی (امگای منفی) در غرب ایران زمین (شکل ۱۸-h) و تقویت میدان تاوایی مثبت در غرب کم ارتفاع بریده شده است (شکل ۱۸-g) و شرایط برای ناپایداری در منطقه مورد



شکل ۱۷- بارش تجمعی (میلی‌متر) استان‌های ایلام، لرستان و کرمانشاه در روز ۳۰ مارس ۲۰۱۹





شکل ۱۸- وضعیت بارش، فشار (Hpa) ارتفاع ژئوپتانسیل (ژئوپتانسیل متر)، تلاوی نسبی
 (۱۰^{-۵} s^{-۱}) و باد، امگا (pascal/s)، رودباد (m/s) شار رطوبت (g/kg)، ۳۰ مارس ۲۰۱۹ UTC - ۰۰
 (۱۲UTC)

روز اوج بارش های سنگین

بر اساس شکل b-۲۰ در روز ۳۱ مارس ۲۰۱۹ هسته بارش های سنگین بر روی بخش های غربی ایران زمین قرار دارد. همانطور که الگوی بارش نشان می دهد، در این زمان بیشینه بارش ها بر روی مناطق واقع در استان ایلام و لرستان

قرار دارد، بگونه ای که در روز اوج بارش- های سنگین ایستگاه های آبدانان با ۷۳، بدره ۷۰/۷، نورآباد ۷۰، رومشکان ۶۹/۲، دره شهر ۶۸ و پلدختر ۵۵/۸ میلی متر بیشترین مقدار بارش را داشته اند (شکل ۱۹). الگوهای بارش شبکه ای نیز در ساعاتی ۰۰ و ۱۲ گرینویچ بیانگر تمرکز بارش ها با شدت ۳/۵ میلی متر

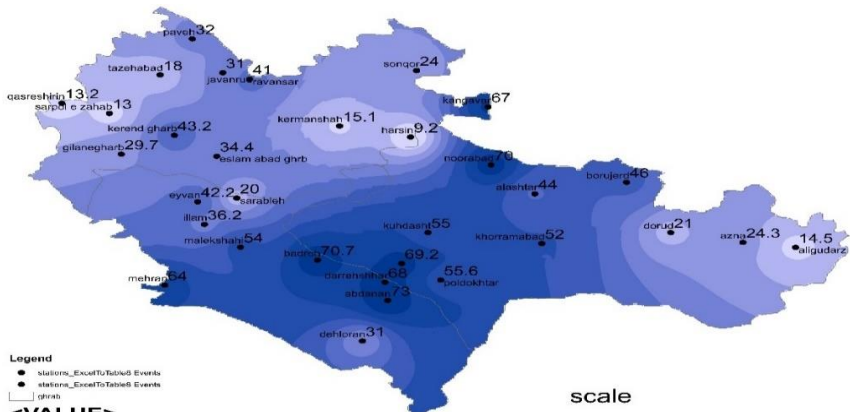
در ساعت بر روی منطقه است (شکل b-۲۰). تحلیل الگوهای فشار سطح دریا در این زمان بیانگر استقرار مرکز کم فشار در شرق دریای مدیترانه، عراق و عربستان است، که با حرکت غربی- شرقی به مناطق غربی ایران رسیده است. این سامانه از نوع کم فشار سودانی بوده است، که مناطق وسیعی از شرق آفریقا تا غرب ایران را در بر گرفته است (شکل c-۲۰ و b-۲۰). ریزش هوای سرد پشته مستقر در غرب سامانه کم فشار نقش مهمی در تشدید گرادیان فشار و تقویت کم فشار داشته است، که با حرکت پرفشار سرد به سمت عرض- های پایین تر حرکت چرخند (کم فشار) به سمت شمال شرق بیشتر شده است (دینامیکی شدن) (شکل c-۲۰ و d-۲۰). الگوی ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز تشکیل سرد چال عمیق که در سطح زمین با مرکز کم فشار همراه می باشد را به خوبی نشان می دهد (شکل d-۲۰) این الگو تحت تاثیر گسترش فرود بلند ورتکس قطبی بر روی اروپا تکوین یافته که تراف عمیق ناشی از آن تا جنوب دریای سرخ کشیده شده است، بطوریکه در این زمان کشور در بهترین حالت در جلو محور

ناوه تراز میانی قرار گرفته است (شکل b-۲۰). قرار گرفتن کم ارتفاع بریده (۵۵۲۰ ژئوپتانسیل متر) بر روی شرق دریای مدیترانه به خوبی دو شاخه شدن بادهای غربی را توجیه می کند (شکل d-۲۰). شاخه جنوبی بادهای غربی با تغییر مسیر به سمت عرض های پایین باعث فشرده شدن کنتورهای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال شده است (شکل d-۲۰). تغییر مسیر بادهای غربی به سمت عرض های پایین تر سبب استقرار تراف بر روی دریای سرخ شده است (شکل d-۲۰). در این زمان نیمه غربی ایران در سمت راست محور تراف قرار می گیرد که با افزایش تلاویی مثبت در راستای سردچال تراز میانی و تشدید امگای منفی (حرکات صعودی ۴/۰-) میزان ناپایداری در نیمه غربی ایران تشدید شده است (شکل h-۲۰ و b-۲۰). الگوی کم ارتفاع بریده تراز میانی با حاکمیت پشته بر روی اروپا بر روی شرق مدیترانه تشکیل شده است، بگونه ای که بر روی شمال آفریقا پشته و بر روی شرق مدیترانه ناه عمیق شکل گرفته است (شکل d-۲۰). گسترش نصف النهاری سرد چال از یک طرف و قرار گرفتن آن بین دو پشته بیانگر تداوم شرایط ناپایدار

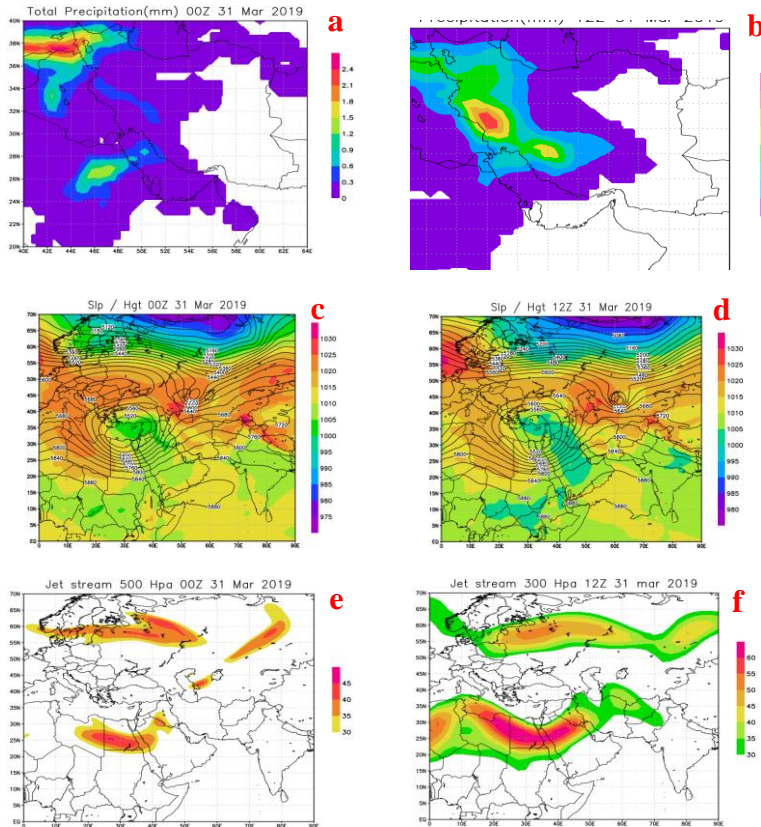
در منطقه است، که با قرار گرفتن مرکز کم ارتفاع بر روی دریای مدیترانه و دریای سرخ شرایط برای تزریق رطوبت به درون این سامانه بارشی فراهم شده است (شکل ۲۰-ج) به دلیل تشدید جریانات نزولی شاخه جنوبی بادهای غربی با افزایش سرعت جت استریم جنب حاره (تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال) همراه شده است (شکل ۱۸-ف). در این شرایط خروجی جت جنب حاره بر روی بخش های غربی قرار گرفته و تحت مکانیسم واگرایی در لایه تراز فوقانی جو مناطق غربی کشور ناپایداری شدید را تجربه می کنند (شکل ۲۰-ف). گسترش رودباد از تراز ۳۰۰ تا تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بر روی دریای سرخ نشان دهنده تشدید ناپایداری در ترازهای بالا و میانی جو است. بنابراین در اوج بارش های سنگین غرب کشور استقرار رودباد (تراز ۳۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال) بر روی دریای سرخ می تواند نقش دریای سرخ در تامین رطوبت بارش های سنگین را روشن سازد (شکل ۲۰-ه و ۲۰-ف).

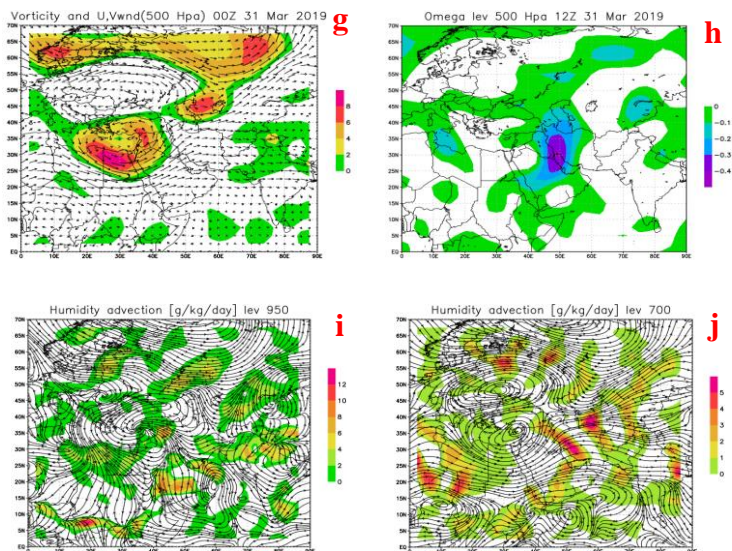
منفی) بر روی غرب ایران همزمان با استقرار جت جنب حاره از طرف دیگر مکانیسم حاکم بر بارش های نیمه غربی ایران را تبیین می کند (شکل ۲۰-ا). در روز اوج بارش های سنگین غرب کشور، سردچال تراز میانی به صورت امتزاجی رطوبت دریای سرخ، مدیترانه همراهی می کند. نقشه شار رطوبت با جریانات قابل توجه رطوبت همزمان با گردش چرخندی هوا از سمت جنوب غرب به سمت شمال شرق (ایران) در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال نقش دریای سرخ در شار رطوبت را روشن می سازد. همانطور که نقشه های رطوبت نشان می دهد، در سطح ۷۰۰ و ۹۵۰ هکتوپاسکال نقش دریاهای جنوبی در تامین رطوبت بارش ها پر رنگ تر است، بطوری که در تراز ۷۰۰ دریای سرخ و مدیترانه، در تراز ۹۵۰ هکتوپاسکال علاوه بر دریای سرخ و مدیترانه نقش اقیانوس هند، دریای عرب و دریای عمان در شار رطوبت در زمان بارش های سنگین نمایان است (شکل ۲۰-ا و ۲۰-ج).

همچنین وجود حرکات صعودی (امگا



شکل ۱۹- بارش تجمعی (میلی متر) استان‌های ایلام، لرستان و کرمانشاه در روز ۳۱ مارس ۲۰۱۹

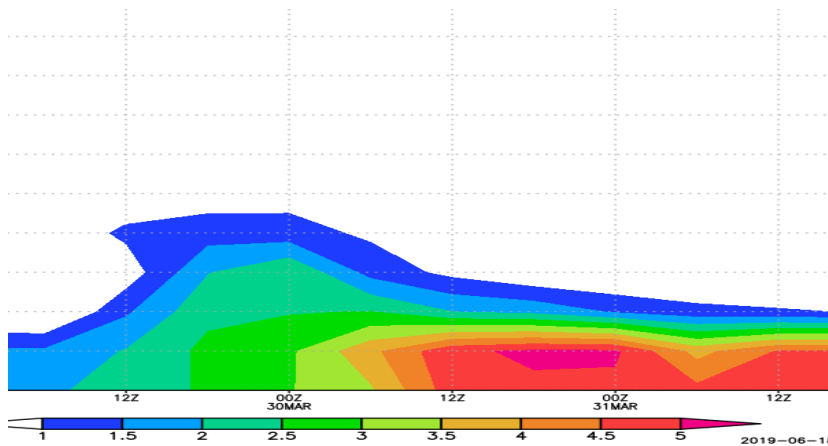




شکل ۲۰- وضعیت بارش، فشار (Hpa) ارتفاع ژئوپتانسیل (ژئوپتانسیل متر)، تاوایی نسبی ($10^{-5} s^{-1}$) و باد، امگا (pascal/s)، رودباد (m/s) شار رطوبت (g/kg)، ۳۱ مارس ۲۰۱۹ (UTC - ۰۰) (۱۲UTC)

میزان رطوبت قابل ملاحظه‌ای در ترازهای پایین جو (۸۵۰ تا ۱۰۰۰) دیده می‌شود، که بیشترین میزان رطوبت در تراز ۹۰۰ هکتوپاسکال قابل مشاهده است.

شکل ۲۱ نمودار هوف مولر (نیمرخ عمودی) رطوبت ویژه برای عرض ۳۲/۹ درجه شمالی و طول ۴۷/۴ شرقی (مختصات شهر آبدانان) را نشان می‌دهد. همانطوری که ملاحظه می‌گردد طی ساعت ۱۲ زولو ۳۱ مارس



شکل ۲۱- نمودار هوف مولر رطوبت ویژه (گرم) روزهای ۲۹-۳۱ مارس

نتیجه گیری

در این پژوهش یک دوره ۱۵ روزه (۱۶ تا ۳۱ مارس) با بارش های فراگیر و منجر به سیل در کشور انتخاب شد. نتایج بررسی همدید در زمان بارشها نشان داد طی بازه زمانی مورد مطالعه سه موج بارشی فعال منجر به بارش های سنگین در کشور شده است، که مکانیسم حاکم بر تکوین آنها را می-توان در سه دسته قرار داد. سامانه اول: گسترش سامانه کم فشار غربی- تشکیل کم فشار بریده، سامانه دوم: ادغامی مدیترانه - سودانی همراه با ایجاد کم ارتفاع بریده بر روی شرق مدیترانه، سامانه سوم: ترکیب کم فشار سودانی- مدیترانه-ادغام تراف مدیترانه با تراف اروپایی، استقرار کم ارتفاع بریده در اثر

پدیده بلاکینگ (S معکوس) جای داد، بطوریکه در تمامی سامانه های بارشی نقش کم ارتفاع بریده در تداوم و تشدید بارشها نمایان است. بررسی همدید الگوهای جوی در زمان بارش های سنگین نشان داد، در سه سامانه بارشی کم فشار سطح زمین و تراف عمیق تراز میانی با همراهی واگرایی بالایی رودباد جنب حاره همراه بوده است. بررسی وضعیت همدیدی در سامانه اول بیانگر گسترش سامانه کم فشار مهاجر از سمت غرب بر روی کشور است که با گسترش بیشتر آن شرایط برای شروع بارندگی فراهم شده است. بررسی نقشه های فشار سطح دریا در روزهای قبل از بارش- سنگین شرق دریای خزر نشان داد، که همزمان با تشکیل سامانه کم فشار

پژوهش حلبیان و همکاران (۱۳۹۵) هماهنگ است. اوج بارش‌های سنگین زمانی رخ داده است که بر روی منطقه کم ارتفاع بریده با گردش چرخندی بر روی دریای خزر تشکیل شده است. قرار گرفتن کم ارتفاع بریده بر روی شرق مدیترانه منجر به افزایش چرخندگی و شاررطوبت از طرف دریای خزر به درون سامانه بارشی شده است. به طور کلی نتایج تحلیل الگوی های جوی در زمان بارش‌های سیل آسای شرق دریای خزر نشان داد که بارش‌های منطقه پشت جبهه سرد با کشیده شدن پرفشار بر روی دریای خزر تشدید گردان فشار بین پرفشار سیبری و کم فشار شرق دریا تحت تاثیر همرفت وزشی از سمت دریای خزر رخ داده است. در سطوح فوقانی استقرار جت جنب حاره بر روی خلیج فارس و در سطح تروپوسفر وجود ناوه غربی سبب صعود دینامیکی توده- های گرم و مرطوب دریای خزر در شرق دریای خزر شده است. سامانه دوم: در زمان حاکمیت این سامانه بارش‌های فراگیر و سنگین در نیمه غربی ایران منجر به سیل شده است. تحلیل الگوهای جوی در روزهای قبل از بارش- های سنگین بیانگر شکل گیری کم

مهاجر غربی بر روی شرق دریای خزر هسته کم فشار مستقل (موج کوتاه) تکوین یافته است. گسترش مرکز کم فشار به سمت دریای خزر با پدیده کم فشار بریده ظاهر شده است، و حرکت کند آن باعث تقویت چرخند بر روی دریای خزر گشته است. حرکات چرخندی سامانه کم فشار که در تراز بالا با کم ارتفاع بریده همراه می‌شود از دریای خزر رطوبت زیادی را به منطقه شرقی دریای خزر منتقل کرده است. همزمان با رسیدن سامانه کم فشار غربی به دریای خزر با کاهش سرعت همراه شده است. در زمان بارش‌های سنگین استان گلستان (آق قلا) از یک طرف با ادغام کم فشار مهاجر غربی با کم فشار تکوین یافته روی دریای خزر چرخند فعالی بر روی منطقه تشکیل شده است، و از طرف دیگر با گسترش هوای سرد پرفشار سیبری بر روی دریای خزر (گرم) و گردان حرارتی بین هوای سرد و دریا شرایط برای ایجاد جبهه و ناپایداری فراهم شده است، بطوریکه با عبور جبهه سرد و تشدید شیو فشار جریانات مرطوب هوا از سمت دریا به خشکی (سواحل شرقی خزر) وزش داشته است. نتایج این قسمت با نتایج

فشار قوی بر روی شرق آفریقا (سودانی)، ریزش هوای سرد عرض‌های بالا بر روی شمال آفریقا، دینامیکی شدن کم فشار سودانی توسط تراف مدیترانه و ادغام سامانه سودانی، مدیترانه‌ای با سامانه ایسلند، نتایج این قسمت همانند پژوهش کرم پور و همکاران (۱۳۹۰) ادغام سامانه سودانی - مدیترانه را عامل اصلی بارش‌های سیل آسای غرب ایران زمین را آشکار می‌کند. سامانه سوم که به مدت چند روز متوالی بر روی منطقه سبب ناپایداری و بارش‌های فراگیر در بخش وسیعی از کشور شده است، نتیجه گسترش پدیده بندال رکس (S معکوس) بر روی مدیترانه است، که با استقرار کم ارتفاع (سردچال) ناشی از آن شرایط را برای تداوم ناپایداری فراهم کرده است. در این شرایط ناوه عمیق بر روی مدیترانه و دریای سرخ همسو با رودباد جنب حاره‌ای سبب انتقال رطوبت به درون سامانه شده است. از لحاظ منابع تامین کننده بارش‌ها نیز همزمان با استقرار ناوه عمیق بر روی دریای مدیترانه و دریای سرخ افزایش واگرایی تراز بالا در نتیجه استقرار جت جنب حاره بر روی دریای سرخ و

افزایش تاوایی نسبی تراز میانی جو شرایط برای شار رطوبت از سمت دریای مدیترانه و دریای سرخ فراهم شده است. اگر چه منابع رطوبتی مختلفی سبب انتقال رطوبت در زمان بارش‌های سنگین شده اند اما نقش دریای سرخ، مدیترانه در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال خلیج فارس، دریای عمان و اقیانوس هند در تراز ۹۵۰ هکتوپاسکال پررنگ‌تر می باشد. در سامانه سوم مکانیسم حاکم بر تکوین و گسترش آن شباهت زیادی به سامانه دوم دارد. این سامانه نیز با شکل گیری کم ارتفاع قوی بر روی مدیترانه سبب بارش‌های گسترده‌ای در نیمه غربی ایران شده است. همانند سامانه دوم تزریق رطوبت از سمت دریای سرخ، مدیترانه در تراز میانی و دریای عمان، دریای عرب و اقیانوس هند در ترازهای پایین (تراز ۹۵۰) نقش مهم‌تری در تأمین رطوبت بارش‌های سنگین داشته است. نتایج این قسمت با یافته‌های زرین و مفیدی (۱۳۸۴) هماهنگ است. مقدار بارش حاصل از فعالیت سامانه دوم بیشتر از سامانه سوم (۳۰ تا ۳۱ مارس) بوده است و بارش‌های این سامانه منجر به بارش‌های فراگیر و شدید در غرب کشور شده

ادغام سامانه‌های سودانی-مدیترانه‌ای و بلوکه شدن سامانه‌های کم فشار داشته است. بنابراین با توجه به نتایج این پژوهش می توان گفت در رخداد بارش-های سیل آسا در کشور عوامل مختلفی از جمله استقرار رودباد تراز بالا، شار رطوبت از سمت منابع مختلف، ادغام سامانه‌های سودانی (هسته گرم)-مدیترانه‌ای (هسته سرد) و ایجاد کم ارتفاع بریده نقش داشته‌اند. همچنین وجود ارتفاعات زاگرس در غرب ایران به عنوان مانع در مقابل سامانه‌های بارشی نقش بسیار مهمی در تشدید ناپایداری و صعود بیشتر آن‌ها داشته است. به طور کلی در رخداد بارش‌های سیل آسا در غرب کشور علاوه بر ادغام سامانه‌های هسته گرم سودانی و هسته سرد مدیترانه عوامل دیگری از جمله گسترش رودباد تراز میانی، استقرار کم ارتفاع بریده و صعود کوهستانی (دیواره بزرگ زاگرس) فراهم بوده است. همچنین قرار گرفتن قسمت خروجی رودباد جنب حاره بر روی منطقه از جمله عوامل مهم در گسترش ناوه عمیق بر روی منطقه بوده است، که با تقویت هسته رودباد بر روی دریای سرخ حجم زیادی از رطوبت به درون سامانه بارشی انتقال یافته

است. بنابراین می توان نتیجه گرفت، در زمان بارش‌های سامانه دوم رطوبت مناسب در منطقه حاکم بوده است، که با شروع سامانه سوم رطوبت موجود در جو سبب تقویت بارش‌های سامانه سوم شده است. با بررسی منابع رطوبت در زمان بارش‌های این سامانه می توان گفت شارش گرمای محسوس و نهان دریا‌های جنوب (دریای سرخ و دریای عمان) به درون سامانه کم فشار منجر به افزایش حجم رطوبت در سامانه بارشی شده است. بنابراین علت اصلی بارش‌های سنگین سامانه سوم علاوه بر شکل‌گیری کم ارتفاع بریده و ماندگاری چند روز آن شار رطوبت از سمت دریا‌های جنوب بوده است. از جمله نتایج دیگر می توان به استقرار منطقه واگرایی جت جنب حاره‌ای بر روی کشور در زمان بارش‌های سنگین اشاره کرد، که با نتایج مطالعات سبزی پرور (۱۳۷۰)، مسعودیان و محمدی (۱۳۹۰) هماهنگ است. در این شرایط هسته رودباد جنب حاره بر روی دریای سرخ مشاهده شده است، که محور خروجی آن بر روی کشور قرار داشته است. همچنین در این زمان نزدیک شدن محور جت جنب قطبی و جت جنب حاره نقش مهمی در

است. نتایج این قسمت با نتایج پژوهش مسعودیان و محمدی (۱۳۸۹) تحت عنوان تحلیل همدید بارش‌های سنگین ایران هماهنگ است. در بارش‌های سیل‌آسای استان گلستان تحت تاثیر همرفت وزشی در ترازهای پایین جو سبب رخداد بارش‌های شدید شده است، و شدت بارش‌ها در این منطقه نسبت به تداوم آن نقش بیشتری در رخداد سیل داشته است. در رخداد سیل در غرب کشور تداوم بارش به دلیل استقرار کم ارتفاع بریده از یک طرف و شدت بارش به دلیل استقرار جت جنب حاره و شار رطوبت از سمت منابع رطوبتی از مهمترین عوامل ایجاد بارش- های سنگین در کشور است. به طور مثال طی دوره مورد مطالعه ایستگاه مینودشت ۶۰، آق قلا ۴۲، پلدختر ۳۷ و دره شهر ۳۱ درصد از بارش سالانه خود را طی ۲۴ ساعت ثبت کرده اند. همچنین طی بازه زمانی مورد مطالعه ایستگاه‌های مینودشت ۷۰، پلدختر ۶۷/۴، دره شهر ۶۳/۳، بروجرد ۵۲/۲ و آق قلا ۴۸/۱ درصد از بارش سالانه خود را تجربه کرده‌اند. آنچه مهم است حاکمیت سامانه‌های مختلف بر روی کشور و بارش‌های سیل

آسا با تقویت سامانه‌های جنوبی و منابع رطوبت دریاهای جنوبی است، که سبب ایجاد بارش‌های شدید و رگباری با بازه چند روزه در کشور است. به طور کلی تقویت سامانه کم فشار سودانی مهمترین عامل در رخداد بارش‌های نیمه غربی کشور طی بازه زمانی مورد مطالعه است. نتایج این قسمت با نتایج پژوهش لشکری (۱۳۸۱) با عنوان مسیریابی سامانه کم فشار سودانی به ایران هماهنگ است. با توجه به اینکه بارش‌های حدی مورد بررسی سهم بالای در بارش سالانه مناطق مختلف کشور داشته است، طبیعی است ریزش حجم زیادی از بارندگی در بازه کوتاه مدت منجر به سیل شود. با توجه به شرایط اقلیمی کشور از جمله رخداد بارش‌های شدید طی روزهای کوتاهی از سال برای کاهش خسارات ناشی از آن باید تهمیدات لازم اندیشیده شود. بنابراین می توان نتیجه گرفت با برنامه ریزی علمی بتوان میزان خسارات ناشی از بارش‌ها را تا حد ممکن کاهش داد. به این صورت که برای هر منطقه (اقلیم) برنامه ریزی بر اساس توان محیطی و شرایط حاکم صورت گیرد. تدوین برنامه کلی برای کل کشور بدون توجه به

شرایط طبیعی مناطق مختلف ارزش علمی نداشته و تبعات زیادی مانند خسارات جانی و مالی در پی خواهد داشت.

منابع

- کم فشار سودانی (مطالعه موردی: توفان دسامبر ۲۰۰۱)، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی سرزمین، شماره ۶، صص ۲۴-۴۸.
- سبزی پرور، علی اکبر (۱۳۷۰)، بررسی همدیدی سیستم‌های سیل زا در جنوب غرب ایران. پایان نامه کارشناسی ارشد، موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران.
- شمسی پور، علی اکبر؛ کاکلی، سیف‌اله؛ جعفری، ایوب و جاسمی، سیدمیثم (۱۳۹۶) واکاوی همدیدی-ترمودینامیکی بارش‌های سنگین غرب و جنوب غرب ایران (مطالعه موردی ۱۲ تا ۱۵ آوریل ۲۰۱۶). نشریه علمی-پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، دوره ۲۲، شماره ۶۴: ۱۶۷-۱۴۹.
- علیجانی، بهلول (۱۳۷۲) مکانیزم صعود بارندگی های ایران، مجله دانشکده ادبیات دانشگاه تربیت معلم، ش ۸۵.
- علیجانی، بهلول (۱۳۸۱) آب و هواشناسی سینوپتیک، انتشارات: سمت، تهران.
- امیدوار، کمال؛ سپندار، نساء؛ شفیعی، شهاب (۱۳۹۷) تحلیل سینوپتیک و ترمودینامیک بارش‌های سنگین و سیلابی روزهای ۵ تا ۸ آبان ۱۳۹۴ در استان کرمانشاه. فصلنامه علمی پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، دوره ۲۷، شماره ۱۰۷: ۱۶-۱.
- حلبیان، امیر حسین؛ دهقانپور، علیرضا، عاشور قلعه رودخانی، زینب (۱۳۹۵). تحلیل همدید بارش‌های حدی و فراگیر در کرانه‌های شرقی دریای خزر. جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۱۹: ۳۷-۵۷.
- حبیبی، فریده (۱۳۸۵)، تحلیل همدید و دینامیکی سامانه‌های بندالی، روش تشخیص سامانه ی بندالی و تاثیر آن روی ایران، مجله ژئوفیزیک زمین و فضا، شماره ۳۲: ۸۹-۶۹.
- دارند، محمد (۱۳۹۴) تحلیل همدید بارش‌های سیل آسای استان کردستان. نشریه تحقیقات علوم جغرافیایی، دوره ۱۵ شماره ۳۷: ۷۰-۴۷.
- زرین؛ آذر؛ مفیدی، عباس (۱۳۸۴)، تحلیل سینوپتک ماهیت سامانه های

- علیجانی، بهلول (۱۳۸۰) تیپ های هوا و اثر آن بر اقلیم ایران. کاوش نامه، ۴۹-۲۱:۳.
- قویدل رحیمی، یوسف؛ باغبانیان، پرستو و فرج زاده، منوچهر (۱۳۹۳) تحلیل فضایی مخاطره‌ی توفان‌های تندری بهاره ایران. نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال اول، شماره پیاپی ۳، ۷۰-۵۹.
- کرمپور، مصطفی؛ معصوم پور سما کوش، جعفر، میری، مرتضی و یوسفی، یدالله (۱۳۹۰) بررسی الگوهای همدید بارش هاس سیل آسا در استان لرستان. فصلنامه علمی- پژوهشی فضای جغرافیایی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر. دوره شماره ۴۳: ۹۹-۱۱۳.
- کرمپور، مصطفی؛ معصوم پور سماکوش، جعفر؛ میری، مرتضی، یوسفی. (۱۳۹۰) بررسی الگوی همدید بارش‌های سیل آسا در استان لرستان.
- لشکری، حسن؛ اصغر پور، منیره و متکان، علی اکبر. ۱۳۸۶. تحلیل سینوپتیکی عوامل ایجاد بارش های
- سیل آسا در استان گلستان. فصلنامه مدرس علوم انسانی. دوره ۱۲ (۲).
- لشکری، حسن، (۱۳۷۵)، الگوی سینوپتیکی بارش‌های شدید جنوب و جنوب غرب ایران، پایان نامه دکتری، استاد راهنما دکتر هوشنگ قایمی، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم انسانی، گروه جغرافیا.
- مفاخری، امید؛ سلیقه، محمد؛ علیجانی، بهلول و اکبری، مهری (۱۳۹۶) مخاطرات ناشی از تمرکزگرایی بارش در ایران. جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۲۳: ۱۶۲-۱۴۳.
- محمدی، بختیار (۱۳۸۹) تحلیل همدید بارش‌های ابر سنگین ایران. رساله دکتری اقلیم شناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه اصفهان.
- محمدی، بختیار و مسعودیان، ابوالفضل (۱۳۸۹) تحلیل همدید بارش‌های سنگین ایران. جغرافیا و توسعه. ۱۹: ۷۰-۴۷.
- مسعودیان، ابوالفضل (۱۳۸۷) شناسایی شرایط همدید همراه با بارش های

- between winter orographic precipitation with synoptic and large-scale atmospheric circulation: the case of Mount Olympus, Greece. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 52(1): 45-70.
- Prezerakos, N. G., & Flocas, H. A. (1997). The role of a developing upper diffluent trough in surface cyclogenesis over central Mediterranean. *Meteorologische Zeitschrift*, 108-119.
 - Schumacher, R. S. (2017). Heavy rainfall and flash flooding. In *Oxford Research Encyclopedia of Natural Hazard Science*.
 - Sabziparvar, A. A., Movahedi, S., Asakereh, H., Maryanaji, Z., & Masoodian, S. A. (2015). Geographical factors affecting variability of precipitation regime in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 138(2), 171-184.
 - Alijani, B., & Harman, J. R. (1985). Synoptic climatology of precipitation in Iran. *Annals of the Association of American Geographers*, 75(3), 404-416.
 - Alijani, B., O'Brien, J., & Yarnal, B. (2008). Spatial analysis of precipitation intensity and concentration in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 94(1-2), 107-124.
 - Fosu, B., Wang, S., & Pegion, K. (2018). Synoptic and Climate Attributions of the December 2015 Extreme Flooding in Missouri, USA. *Water*, 10(4), 350.
 - Styllas, M. N., & Kaskaoutis, D. (2018). Relationship

circulation at 476 different spatial scales on winter drought variability through a semi-arid climatic gradient in 477 northeast Spain. *Int. J. Climatol.* 26:1427-1453

Applied Climatology, 120(1-2), 367-376.

- Vicente-serrano s m, Lopez-moreno J I .2006. the influence of atmospheric