



Research Paper

Thermal-Synoptical Analysis of the Arabian and Mediterranean Seas' Contribution to the Supply of Moisture from Heavy Rainfalls in the Northwest Zagros Wet Region

Mostafa Razi Kazem^a, Hasan Zolfaghari^{b*}, Shoaieb Abkharabat^c

^a Ph.D Student of Climatology, Department of Geography, Faculty of Literature and Humanities, Razi University, Kermanshah, Iran.

^{b*} Associate Professor, Department of Geography, Faculty of Literature and Humanities, Razi University, Kermanshah, Iran.

^c Ph.D Student of Climatology, Department of Geography, Geography Faculty, Tabriz University, Tabriz, Iran.

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 12 May 2024;

Accepted: 21 September 2024

Available online 2 December 2024

Keywords:

Synoptic Climatology,
Heavy Precipitation,
Arabian Sea,
Mediterranean Sea,
Northwest Zagros..

ABSTRACT

In this study, it has been examined how the Arabian and Mediterranean seas contribute to the heavy wintertime precipitations in the northwest Zagros wet region by providing moisture. Thus, the Arabian Sea, the Arabian/Mediterranean Sea, and the Mediterranean Sea were recognized as the three humidity transport patterns. In the Arabian sea pattern, strong and wide cores of humidity flux divergence are formed over the Arabian Sea. The anticyclonic rotation of the winds at lower levels of the atmosphere has also transferred humidity to the east and center of the Arabian Peninsula, as well as in a south-north direction to northern Iraq and northwest Iran. In the Arabian Sea region, this pattern's average humidity flux divergence is $-6.79 \times (10^{-5} \text{ g.kg.s}^{-1})$ and in the Mediterranean Sea region, it is $-0.3 \times (10^{-5} \text{ g.kg.s}^{-1})$. Although the Arabian Sea continues to be the primary source of moisture supply for rainfall in the region in the combined Arab/Mediterranean Sea pattern, the Mediterranean Sea's influence has grown, causing humidity flux divergence centers to emerge in the eastern or central Mediterranean Sea. And during the cyclonic circulation of the air in the lower levels of the atmosphere, this moisture is transmitted to the western winds in the area. In the Arabian Sea region, this pattern's average humidity flux divergence is $-5.74 \times (10^{-5} \text{ g.kg.s}^{-1})$ and in the Mediterranean Sea region, it is $-1.78 \times (10^{-5} \text{ g.kg.s}^{-1})$. Due to the wind patterns in the area, the Arabian Sea's humidity first moved east of the Arabian Peninsula in the Mediterranean Sea's humidity pattern. It is then shifted to Iran's southwest in a southwest northeast direction, leaving the northwest of the Zagros unoccupied. In the Mediterranean region, this pattern's typical humidity flux divergence is $-0.87 \times (10^{-5} \text{ g.kg.s}^{-1})$.

1. Introduction

Most of the Middle East is made up of deserts with little rainfall, but here the mountains particularly the Zagros mountain range, have produced areas with sufficient and even high rainfall. On the western slopes of the Zagros mountain range, in the northwest, is one of these high rainfall regions. According to the research, this area is known as the northwest Zagros wet region and includes a part of the mountainous border strip in northwestern Iran and it also includes the mountains of northeastern and northern Iraq. Therefore, considering the

importance of precipitation in this region, identifying the main sources of moisture supply of precipitation systems will provide new information on the knowledge of climatology in the region.

2. Methodology

The data from Baneh synoptic station has been used in this study as a sample of the area in order to identify the systems with significant rainfall in the winter season (2001-2020). Dynamic computations of moisture flow divergence/convergence were carried out after

*Corresponding Author.

Email Addresses: MRKazem@gmail.com (M.R.Kazem), h.zolfaghari2002@yahoo.com (H. Zolfaghari), kharabatian@yahoo.com (Sh.Abkharabat).

To cite this article:

Razi-Kazem, M., Zolfaghari, H., Abkharabat, Sh. (2024). Thermal-Synoptical Analysis of the Arabian and Mediterranean Seas' Contribution to the Supply of Moisture from Heavy Rainfalls in the Northwest Zagros Wet Region. Journal of Geographical Studies of Mountainous Areas, 5 (19), 17-32



Doi: 10.22034/gasma.2024.719230

determining the necessary rainy days, and matching humidity maps were created. Following that, these values were numerically calculated in the vicinity of the Arabian Sea and the Mediterranean Sea.

3. Results

Three humidity patterns related to the research areas were discovered.

1. The Arabian Sea's humidity pattern.

The Arabian Sea is the primary supply of humidity for the rainfall systems over this pattern (14 days), and the Mediterranean Sea has a very minor influence. The Arabian Sea plays a major role in humidity transfer, as evidenced by the average of humidity flux divergence on this pattern being $-6.79 \times (10^{-5} \text{ g.kg.s}^{-1})$ in the Arabian Sea region and $-0.3 \times (10^{-5} \text{ g.kg.s}^{-1})$ in the Mediterranean Sea region (Table 1).

2. The Arabian/Mediterranean Sea humidity pattern

Nine days were discovered in this pattern. In contrast, the Mediterranean Sea's contribution to the region's rainfall has increased, even though the Arabian Sea still contributes more moisture to the region than the Mediterranean Sea does. Average of Humidity flux divergence on this pattern in the Arabian Sea region is $-5.74 \times (10^{-5} \text{ g.kg.s}^{-1})$, whereas it is $-1.78 \times (10^{-5} \text{ g.kg.s}^{-1})$ in the Mediterranean region, clearly demonstrating the Mediterranean Sea's expanding importance in moisture transport (Table 2).

3. The Mediterranean Sea's pattern

Six days in this pattern were found. The Mediterranean Sea is the primary supply of moisture for the rainfall systems over this pattern and the Arabian Sea has a very low influence.

4. Discussion

Results analysis reveals that when western winds wave enter the research location, the north of Iraq and the northwest of Iran are where the east of trough is situated. The Arabian Sea (during an anticyclonic circulation) and the Mediterranean Sea (during a cyclonic circulation) both frequently

transmit humidity to the front of the trough in the low levels of the atmosphere, and receives heavy rainfall. Three humidity patterns were found in this area. In the Arabian Sea's humidity pattern. Strong cores of humidity flux divergence are created in the lower layers of the atmosphere above the Arabian Sea; The majority of the rain's humidity comes from this precipitation, which is initially transported to the Arabian Peninsula's core regions before traveling south-north to northern Iraq and the western edge of northwestern Iran. And just a very little amount of humidity from the Mediterranean Sea is involved in this pattern. In a combined pattern over the Mediterranean and Arabian Sea. Strong cores of humidity flux divergence over the Arabian Sea, just like in the previous pattern, propel the humidity transport flow in front of the trough. And the primary source of moisture for rainfall is Arabian Sea, Additionally, over the eastern and central parts of the Mediterranean Sea, humidity flux divergence cores have developed. This outperforms the first model in strength. And during the cyclonic wind circulation, this humidity is moved to the front of the trough. They also produce rainfall in the area, following the pattern of the Mediterranean Sea, with the assistance of the Arabian Sea's moisture. Nevertheless, throughout the Arabian Sea, there are still significant and powerful centers of moisture flux divergence. However, this moisture does not get to the northwest, humid Zagros region. And the Mediterranean Sea is the primary source of moisture for heavy precipitations.

5. Conclusion

Lastly, the wet northwest part of Zagros receives considerable rainfall due to the Arabian Sea's substantially greater transfer of moisture from the Mediterranean Sea. and three patterns of humidity were found to be responsible for the region's excessive rainfall: a) the Arabian Sea; b) the Arabic/Mediterranean Sea; and c) the Mediterranean Sea.



دانشگاه لرستان

شاپای الکترونیکی: ۲۷۱۷-۲۳۲۵

فصلنامه مطالعات جغرافیایی مناطق کوهستانی

<http://www.gsma.lu.ac.ir>



مقاله پژوهشی

تحلیل ترمیکی - همدیدی نقش دریا‌های عرب و مدیترانه در تأمین رطوبت بارش‌های سنگین ناحیه مرطوب شمال غرب زاگرس

مصطفی راضی کاظم^۱؛ حسن ذوالفقاری^{۲*}؛ شعیب آب‌خرابات^۳

^۱ دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

^{۲*} دانشیار آب و هواشناسی، گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

^۳ دکتری آب و هواشناسی، گروه جغرافیا، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

اطلاعات مقاله

دریافت مقاله:

۱۴۰۳/۰۲/۲۳

پذیرش نهایی:

۱۴۰۳/۰۶/۳۱

تاریخ انتشار:

۱۴۰۳/۰۹/۱۲

واژگان کلیدی:

آب و هواشناسی همدید،

بارش سنگین، دریای عرب،

دریای مدیترانه، شمال غرب

زاگرس.

چکیده

در این پژوهش نقش دریا‌های عرب و مدیترانه در تأمین رطوبت بارش‌های سنگین ناحیه مرطوب شمال غرب زاگرس در فصل زمستان مورد مطالعه قرار گرفته است. ایستگاه سینوپتیک بانه بعنوان نماینده منطقه انتخاب و روزهای بارشی استخراج گردیدند. سپس محاسبات همگرایی/واگرایی شار رطوبت (۷۰۰-۱۰۰۰ هکتوپا سکا) از ۲۴ ساعت قبل از بارش محاسبه گردید. سپس با توجه به میزان رطوبت انتقال یافته از این پهنه‌های آبی به درون سامانه‌های بارشی، سه الگوی انتقال رطوبتی: دریای عرب (۱۴ روز)، دریای عرب/مدیترانه (۹ روز) و دریای مدیترانه (۶ روز) شناسایی شد. الگوهای رطوبتی، دریای عرب اصلی‌ترین تأمین کننده رطوبت بارش‌های منطقه می‌باشد، بطوری که هسته‌های قوی از واگرایی شار رطوبت بر روی دریای عرب تشکیل شده و چرخش آنتی‌سیکلونی بادهای سطوح زیرین آتمسفر، رطوبت را به شرق و مرکز شبه جزیره عربستان و سپس در مسیر جنوب-شمال به شمال عراق و نوار کوهستانی شمال غرب ایران در جلو فرود بادهای غربی در منطقه منتقل می‌کنند. میانگین واگرایی شار رطوبت این الگو در منطقه دریای عرب $(10^{-5} \text{ g.kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}) * 6/79$ - و در منطقه دریای مدیترانه $(10^{-5} \text{ g.kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}) * 0/3$ - می‌باشد. در الگوی ترکیبی دریای عرب/مدیترانه، دریای عرب هم‌چنان منبع اصلی تأمین رطوبت بارش‌های منطقه است، اما نقش دریای مدیترانه نیز افزایش یافته، هسته‌هایی از واگرایی شار رطوبت بر روی شرق یا مرکز دریای مدیترانه شکل گرفته و این رطوبت طی گردش سیکلونی به جلو فرود بادهای غربی در منطقه منتقل می‌گردد. میانگین واگرایی شار رطوبت این الگو در منطقه دریای عرب $(10^{-5} \text{ g.kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}) * 5/74$ - و در منطقه دریای مدیترانه $(10^{-5} \text{ g.kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}) * 1/78$ - است. در الگوی رطوبتی دریای مدیترانه، هم‌چنان پهنه‌های وسیعی از واگرایی شار رطوبت بر روی دریای عرب تشکیل می‌شوند، اما بدلیل الگوی وزشی مستقر بر منطقه، ابتدا جریان رطوبت به شرق شبه جزیره عربستان و سپس به جنوب غرب ایران منتقل می‌شود و شمال غرب زاگرس از آن بی‌بهره می‌ماند. میانگین واگرایی شار رطوبت این الگو در منطقه دریای مدیترانه $(10^{-5} \text{ g.kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}) * 0/87$ - می‌باشد.

*نویسنده مسئول:

پست الکترونیک نویسندگان: MRKazem@gmail.com (م. راضی کاظم)؛ h.zolfaghari2002@yahoo.com (ح. ذوالفقاری)؛ kharabatian@yahoo.com (ش. آب‌خرابات).

نحوه استناددهی به مقاله: راضی کاظم، مصطفی، ذوالفقاری، حسن، آب‌خرابات، شعیب (۱۴۰۳). تحلیل ترمیکی - همدیدی نقش دریا‌های عرب و مدیترانه در تأمین رطوبت بارش‌های سنگین ناحیه مرطوب شمال غرب زاگرس. فصلنامه مطالعات جغرافیایی مناطق کوهستانی. سال پنجم، شماره ۳ (۱۹)، صص ۳۲-۱۷.

۱. مقدمه

بیشتر مناطق خاورمیانه را سرزمین‌های بیابانی و کم بارش در بر گرفته است، با این وجود در این منطقه، کوهستان‌ها و بویژه رشته کوه زاگرس، مناطقی با بارش مناسب و حتی در برخی مناطق کانون‌های پر بارش ایجاد کرده‌اند. یکی از این مناطق پر بارش در دامنه‌های غربی زاگرس شمال غرب قرار گرفته است. در این پژوهش این منطقه به عنوان ناحیه مرطوب زاگرس شمال غرب نامگذاری شده است و شامل قسمتی از نوار مرزی کوهستانی ایران از پاره تا پیرانشهر می‌باشد و گسترش آن کوهستان‌های شمال شرق و شمال عراق را نیز در بر می‌گیرد و مشخص کردن کمی، اصلی‌ترین منابع تامین کننده رطوبت بارش‌های آن، اطلاعات نوینی از دانش آب و هواشناسی منطقه ارائه خواهد داد. در ارتباط با منابع تامین کننده رطوبت بارش‌های خاورمیانه و بویژه ایران (Alijani 1995: 36) سیکلون‌های مدیترانه‌ای را مهم‌ترین عامل بارش‌های ایران بیان نمود و برای چندین سال نظریه غالب در این زمینه بود. اما در این خصوص پژوهش‌های جامع دیگری نیز انجام گرفته که علاوه بر رطوبت دریای مدیترانه، نقش کم فشارهای سودانی و رطوبت دریای سرخ نیز بطور برجسته‌ای محور پژوهش قرار گرفت که (Sabziparvar & Taghizadeh 1987: 35) پژوهش‌هایی را در (Mofidi & Zarin 2005: 134) این راستا انجام دادند، اما (Lashkari 1996: 145, 2002: 154) جامع‌ترین تحقیقات در این خصوص را انجام و موفق به آشکارسازی فرایندهای شکل‌گیری و نحوه تاثیر این سامانه‌های بارشی گردید. (Alpert & Shay 1993: 190) نیز در بررسی‌های مربوط به بارش خاورمیانه در مسیر این سامانه‌های سودانی متوجه شدند که در بیابان‌های شمال عربستان و جنوب عراق با اینکه بارش اندک می‌باشد ولی بر روی این منطقه چاهک رطوبتی قابل توجهی در فصل زمستان وجود دارد. در سال‌های بعد نیز جدیدترین نظریات بر نقش برجسته شار رطوبت از بخش‌های شمال غربی اقیانوس هند به داخل سامانه‌های بارشی ایران تاکید کردند. (Karimi & Farzjzadeh 2007: 157) و (Karimi 2011: 190) این نظریه را اثبات و به علوم آتمسفری ایران وارد نمودند.

(Abkharabat 2016: 119) نظریات مربوط به شار رطوبت از شمال غرب اقیانوس هند به درون سامانه‌های بارشی ایران را گسترش داده و علاوه بر تعیین مسیرهای انتقال رطوبت این پهنه

آبی، میزان شار رطوبت این آن را در فازهای مثبت/منفی انسو نیز بررسی و مشخص نمود که غالب مناطق اقلیمی ایران بجز سواحل جنوبی دریای خزر، در فازهای مثبت انسو رطوبت بیشتری از دریای عرب به درون سامانه‌های بارشی آنها تزریق می‌گردد و در فازهای منفی انسو نیز شار رطوبت کمتری از این پهنه آبی به درون سامانه‌های بارشی این مناطق جریان می‌یابد. در خصوص منابع رطوبتی مطالعات دیگری برای مناطق مختلفی از ایران نیز انجام گرفته، بدین ترتیب که (Alijani et al 2010; 10) با بررسی بارش ۶ ژانویه ۲۰۰۸ در جنوب شرق ایران، مهم‌ترین منابع تامین رطوبت این بارش فراگیر را خلیج فارس معرفی کردند. (Alijani et al 2011: 224) بارش‌های ماه ژوئیه ۱۹۹۴ جنوب شرق ایران را نیز بررسی و دریای عمان را منبع اصلی تامین رطوبت عنوان کردند. (Rezaeibavafshe et al 2013; 81) در تحلیل منابع شار رطوبت بارش‌های سنگین شمال غرب ایران، بیان داشتند دریای خزر، خلیج فارس و دریای مدیترانه در تامین رطوبت این بارش‌ها موثر بوده و نقش دریا‌های سیاه، مدیترانه و سرخ به دلیل دوری از پهنه مورد مطالعه در درجه دوم اهمیت قرار دارند. (Abkharabat 2016: 118)، نقش باد سیستان را در ارتباط با انتقال رطوبت مورد بررسی و بیان داشت که در دوره گرم سال دو الگوی وزشی باد سیستان و باد خراسان در شرق و شمال فلات ایران شکل می‌گیرد و در زمان وزش باد سیستان علاوه بر اینکه هسته‌ای از واگرایی شار رطوبت در شرق و مرکز ایران ایجاد و رطوبت منطقه را تخلیه می‌کند، مانع از ورود رطوبت دریای عمان و شمال اقیانوس هند به جنوب شرق ایران نیز می‌شود. اما در زمان عدم تضعیف باد سیستان، که همزمان با تقویت باد شرقی خراسان در حاشیه شمال فلات ایران است، علاوه بر از بین رفتن هسته واگرایی شار رطوبت در شرق ایران، هسته‌ای از همگرایی شار رطوبت در جنوب شرق ایران شکل گرفته و رطوبت اقیانوس هند به منطقه وارد می‌شود. همچنین، (Abkharabat et al 2016: 348)، در مطالعه منابع رطوبت بارش‌های تابستانه جنوب شرق ایران، شمال دریای عرب و پس از آن غرب دریای عرب را مهم‌ترین منابع تامین رطوبت بارش‌های جنوب شرق ایران معرفی نمودند. (Jana & et al 2017: 4850) اصلی‌ترین منابع تامین رطوبت بارش‌های تابستانه جنوب غرب ایالات متحده را ۴ پهنه آبی خلیج کالیفرنیا، خلیج و خشکی مکزیک و اقیانوس آرام معرفی کردند.

میلیمتر در سال است، بارشی سنگین محسوب گردید که طی ۲۴ ساعت، ۳۴/۵ میلیمتر یا بیشتر باریده و فراگیر باشد، که ۲۹ روز بارشی شناسایی گردید. جهت تایید فراگیری روزهای بارشی نیز از داده‌های ایستگاه‌های مریوان، سردشت و پیرانشهر استفاده گردید. در ادامه با توجه به تعداد نسبتاً کم روزهای بارشی و هم چنین کیفیت بهتر گروه‌بندی دستی، از این روش برای دسته‌بندی الگوهای سینوپتیکی بارشی اقدام گردید (Alijani et al; 2014: 164). سایر داده‌های مورد نیاز از جمله ارتفاع ژئوپتانسیل، باد مداری (U)، باد نصف‌النهاری (V)، نم و یژه (shum) نیز از داده‌های شبکه‌ای مرکز NCEP/NCAR تهیه گردیدند. پس از شناسایی روزهای بارشی مورد نظر، محاسبات دینامیکی واگرایی/همگرایی شار رطوبت انجام و نقشه‌های رطوبتی مربوطه ترسیم گردیدند. برای به دست آوردن واگرایی شار رطوبت، از رابطه واگرایی افقی شار رطوبت استفاده می‌گردد، که در آن مقادیر مثبت، همگرایی شار رطوبت و مقادیر منفی، واگرایی شار رطوبت می‌باشد (Farajzadeh et al; 2009: 196). برای به دست آوردن مقادیر واقعی شار رطوبت نیاز به محاسبه مجموع قائم آن در در حد فاصل ترازهای مختلف می‌باشد که در این پژوهش محاسبات واگرایی/همگرایی شار رطوبت برای سطوح ۷۰۰-۱۰۰۰ ه.پ انجام شده است که بیشترین موجودی و انتقال رطوبت سامانه‌های بارشی در این سطوح انجام می‌گیرد. باید توجه داشت که محاسبه مذکور برای یک بازه زمانی خاص است (داده‌های شبکه‌ای مورد استفاده در بازه زمانی ۶ ساعته تهیه گردیده‌اند). با توجه به اینکه بارش طی یک دوره یک یا چند روزه رخ می‌دهد، بنابراین محاسبات باید برای یک یا چند روز (چندین بازه زمانی ۶ ساعته) انجام گیرد، که می‌توان با مشاهده الگوهای وزشی هر سامانه به بازه زمانی مورد نیاز برای محاسبه شار رطوبت پی‌برد (Farajzadeh et al; 2009: 196). در این پژوهش بازه زمانی محاسبات شار رطوبت از ۲۴ ساعت قبل از بارش تا روز بارش انجام گرفته است. از طرف دیگر اقدام به محاسبه عددی این مقادیر در منطقه دریای عرب و دریای مدیترانه جهت درک بهتر و هم‌چنین مقایسه این مقادیر با یکدیگر گردیده است. این محاسبه که موسوم به مجموع ناحیه‌ای شار رطوبت است به معنی مجموع رطوبت در یک ناحیه مشخص در دوره زمانی معلوم می‌باشد (همان). برای

(Yamin & et al (2018: 79) در بررسی رطوبت بارش‌های مونسون تابستانه چین، مهمترین منابع تامین رطوبت این بارش‌ها در جنوب چین را به ترتیب دریای جنوبی چین و بدنبال آن دریای عرب، شبه جزیره هند، خلیج بنگال و غرب اقیانوس آرام بیان می‌دارند. (Guo & et al (2019: 669) در بررسی منابع رطوبت بارش‌های شرق آسیا دریافتند که بطور کلی دریاهای گرمسیری منابع اصلی تامین رطوبت جنوب شرق منطقه بوده و برای سایر مناطق، منابع فراگرمسیری منبع اصلی تامین رطوبت هستند. Coll-Hidalgo & et al (2022: 13) در بررسی سیکلون‌های شبه استوایشکیل شده در دریای مدیترانه بیان داشتند که غرب دریای مدیترانه، افریقای شمالی، مرکز مدیترانه، اروپای غربی، شمال شرق اطلس و دریای مدیترانه شرقی به ترتیب با سهم ۳۵/۰۹، ۲۷/۶، ۱۸/۶۲، ۶/۱۰، ۷۹/۴، و ۱/۵ درصد در تامین رطوبت این سامانه‌های بارشی نقش دارند. Krog & et al (2022: 3227)، بارش‌های سیل‌آسای تابستانه اروپای مرکزی را بررسی و مهمترین منابع تامین رطوبت این سیکلون‌ها را رطوبت بازیافتی قاره اروپا، دریای شمال، دریای بالتیک، اطلس شمالی و دریای سیاه عنوان می‌دارند.

۲. روش تحقیق

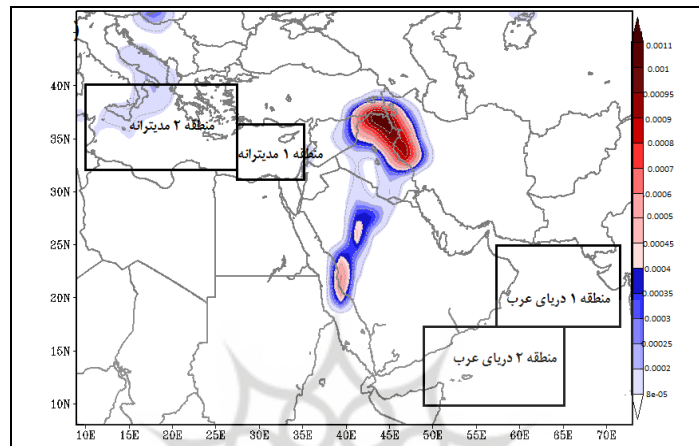
در انجام این پژوهش برای شناسایی سامانه‌های با بارش سنگین فصل زمستان (طی دوره ۲۰۲۰-۲۰۰۱)، از داده‌های ایستگاه سینوپتیک بانه بعنوان نماینده منطقه استفاده گردیده است. بطور کلی تعریف جامعی از بارش‌های سنگین و فوق سنگین در ایران و جهان وجود ندارد (Alijani et al; 2010: 2). یکی از رایج‌ترین روش‌ها، استفاده از شاخص پایه‌ی صدک است، که روزه‌های برابر و بالاتر از صدک ۹۹ام را بارش‌های حدی در نظر می‌گیرند (Halabian & Porjazi; 2012: 107). از سویی (Mofidi et al (2008: 4) بیان می‌دارند بارشی سنگین تلقی می‌شود که مقدار آن در ۲۴ ساعت، برابر و یا بیشتر از ۰/۰۵ مقدار متوسط بارش سالانه باشد، که در این پژوهش نیز از روش مفیدی و همکاران استفاده گردیده است و ملاک بارش سنگین، بارشی است که طی ۲۴ ساعت به مقدار ۰/۰۵ بارش سالانه یا بیشتر باشد. با توجه به اینکه بارش میانگین ایستگاه سینوپتیک بانه حدود ۶۸۸

² - National Center for Environmental Prediction/ National Center for Atmospheric Research

^۳ Special humidity

وزش بادهای غالباً شمالی در سطوح زیرین آتمسفر، رطوبت را به مناطق استوایی انتقال می‌دهند و در قالب دو منطقه تعریف شده دریای عرب قرار داده نشدند. تمام این محاسبات با استفاده از توابع همگرایی/واگرایی شار رطوبت در محیط نرم افزار GrADS قابل انجام است (Gavidelrahimi; 2010: 181).

انجام این کار دریای عرب به دو منطقه شمالی (منطقه ۱: 25°N - 17°N و 57°E - 71°E) و جنوبی (منطقه ۲: 17°N - 10°N و 65°E - 49°E) و دریای مدیترانه نیز به دو منطقه شرقی (منطقه ۱: 36°N - 31°N و 26°E - 35°E) و مرکزی (منطقه ۲: 40°N - 32°N و 26°E - 10°E) تقسیم گردید. دلیل این کار پوشش بهتر پهنه‌های آبی است که از تقسیمات پیکسلی جغرافیایی تبعیت نمی‌کنند (شکل ۱). از سویی بطور تجربی مشخص گردید که مناطق شرقی دریای عرب یا دارای همگرایی شار رطوبت بوده و یا اینکه به دلیل



شکل ۱. مناطق چهارگانه تعریف شده در پهنه‌های آبی دریاهای عرب و مدیترانه. نمونه بارش فراگیر رخ داده منطقه در ۲۸ ژانویه

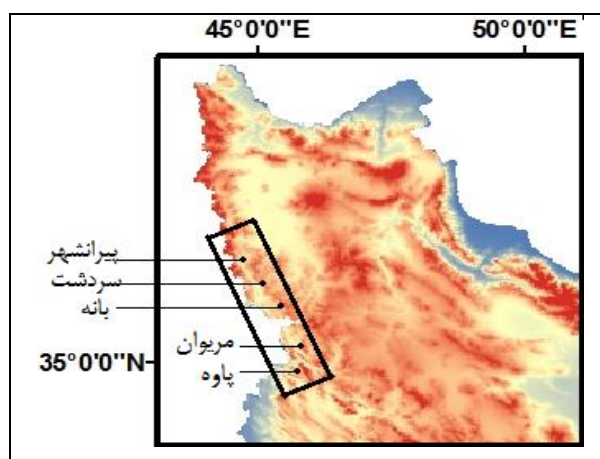
۲۰۱۹. Research findings (2024)

۱.۲. معرفی محدوده مورد مطالعه

در این مطالعه ناحیه مرطوب شمال غرب زاگرس به حاشیه نوار مرزی کوهستانی شمال غرب ایران از پايه تا پیرانشهر اطلاق می‌شود که کوهستان‌های مرتفع این منطقه از زاگرس، کانونی از بیشینه بارش ایجاد کرده‌اند و با فاصله گرفتن از نوار مرزی به داخل سرزمین ایران، بارش‌ها نیز کاهش قابل توجهی می‌کنند. در واقع این بخش از نوار مرزی ایران، ادامه کوهستان‌های شمال شرقی عراق می‌باشد و این کانون بیشینه بارش در شمال شرق و شمال عراق نیز ادامه داشته و سرچ در این مطالعه ناحیه مرطوب شمال غرب زاگرس به حاشیه نوار مرزی کوهستانی شمال غرب ایران از پايه تا پیرانشهر اطلاق می‌شود که کوهستان‌های مرتفع این منطقه از زاگرس، کانونی از بیشینه بارش ایجاد کرده‌اند و با فاصله گرفتن از نوار مرزی به داخل سرزمین ایران، بارش‌ها نیز کاهش قابل توجهی می‌کنند. در واقع این بخش از نوار مرزی ایران، ادامه کوهستان‌های شمال شرقی عراق می‌باشد و این کانون بیشینه بارش

در شمال شرق و شمال عراق نیز ادامه داشته و سرچشمه رودخانه‌های پر آبی چون سیروان، زرينه رود، سیمینه رود، زاب کوچک و زاب بزرگ را تشکیل می‌دهد (شکل ۲). میانگین بلند مدت بارش سالانه در ایستگاه‌های سینوپتیک پايه ۷۹۰، مریوان ۹۳۱، بانه ۶۸۸، سردشت ۸۲۹ و پیرانشهر ۶۵۹ میلیمتر، می‌باشد که گویای وجود این کانون بیشینه بارشی است و در ترسالی‌ها نیز می‌توان به مقادیری چون مریوان ۱۴۲۲ م.م (۱۹۹۴)، سردشت ۱۲۰۲ م.م (۲۰۰۲) و ... اشاره کرد.

شبه رودخانه‌های پر آبی چون سیروان، زرينه رود، سیمینه رود، زاب کوچک و زاب بزرگ را تشکیل می‌دهد (شکل ۲). میانگین بلند مدت بارش سالانه در ایستگاه‌های سینوپتیک پايه ۷۹۰، مریوان ۹۳۱، بانه ۶۸۸، سردشت ۸۲۹ و پیرانشهر ۶۵۹ میلیمتر، می‌باشد که گویای وجود این کانون بیشینه بارشی است و در ترسالی‌ها نیز می‌توان به مقادیری چون مریوان ۱۴۲۲ م.م (۱۹۹۴)، سردشت ۱۲۰۲ م.م (۲۰۰۲) و ... اشاره کرد.



شکل ۲. موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک ایران در ناحیه مرطوب شمال غرب زاگرس، (Research findings (2024)

۳. یافته‌های پژوهش

در ادامه با بررسی نتایج بدست آمده از محاسبات همگرایی/واگرایی شار رطوبت و آرایش سینوپتیکی روزهای بارشی مورد مطالعه، سه الگوی رطوبتی: دریای عرب، دریای عرب/مدیترانه و دریای مدیترانه در ارتباط با بارش‌های سنگین منطقه مورد مطالعه شناسایی گردیدند که در ادامه آورده شده‌اند.

۱.۳ الف) الگوی رطوبتی دریای عرب

طی دوره مورد مطالعه در ۱۴ روز منبع اصلی تامین کننده رطوبت سامانه‌های بارشی، پهنه آبی دریای عرب بوده است که در ادامه در ۴ گروه (آرایش سینوپتیکی) دسته‌بندی و مطالعه شده است. در جدول ۱، روزهای بارشی این الگوی رطوبتی و میزان همگرایی/واگرایی شار رطوبت رخ داده از ۲۴ ساعت قبل از بارش در دو منطقه تعریف شده دریای عرب و دو منطقه تعریف شده دریای مدیترانه آورده شده است. مجموع میانگین واگرایی شار رطوبت روزهای بارشی این الگوی رطوبتی در مناطق ۱ و ۲ دریای عرب $(10^{-5} \text{g.kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}) * 6/79 -$ و در مناطق ۱ و ۲ دریای مدیترانه $(10^{-5} \text{g.kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}) * 0/3 -$ می‌باشد، که نقش غالب انتقال

رطوبت از دریای عرب در مقایسه با دریای مدیترانه را نشان می‌دهد (جدول ۱).

۱.۳.۱. گروه اول: ۳ فوریه ۲۰۰۶

در این الگوی سینوپتیکی ۷ روز قرار گرفته (جدول ۱)، که ۳ فوریه ۲۰۰۶ بعنوان روز نماینده آن انتخاب شده است. در شکل ۳ الف، آرایش سینوپتیکی این روز بارشی آورده شده است. در این شکل در تراز ۵۰۰ ه.پ فرود عمیق و قوی از بادهای غربی بر روی شرق مدیترانه قرار گرفته است که نیمه شرقی آن بیشتر مناطق شرق دریای مدیترانه تا غرب و شمال غرب ایران را در بر گرفته است، شیب تغییرات فشار آن شدید بوده و به طبع آن منطقه وسیعی از همگرایی و صعود هوا در نیمه شرقی فرود شکل گرفته است و ارتفاع مرکز فرود نیز به ۵۵۰۰ ژئوپتانسیل متر رسیده است. در سطوح زیرین آتمسفر که بیشترین گنجایش رطوبتی و شار رطوبت آتمسفر در آن رخ می‌دهد، در شرق و مرکز مدیترانه هسته‌های ضعیفی از واگرایی شار رطوبت شکل گرفته که میزان

جدول ۱. روزهای بارشی الگوی رطوبتی دریای عرب؛ مقدار همگرایی (اعداد مثبت)/واگرایی (اعداد منفی) شار رطوبت $(10^{-6} \text{g.kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1})$ ، دریای عرب و دریای مدیترانه؛ ۲۴ ساعت منتهی به بارش.

گروه	روز بارش	بارش ۲۴ ساعته بانه mm	منطقه ۱ دریای عرب	منطقه ۲ دریای عرب	منطقه ۱ مدیترانه	منطقه ۲ مدیترانه
۱	۱۵ فوریه ۲۰۰۱	۳۹	-۴/۴۸	-۲/۷۸	-۰/۲۶	-۱/۴۳
۱	۱۲ فوریه ۲۰۰۲	۳۹	-۴/۰۳	-۳/۲	۰/۹۹	-۱/۵۶
۱	۱۳ ژانویه ۲۰۰۴	۳۵	-۳/۳۱	-۲/۸۳	۱/۲۷	-۱/۲۳

۱	۳ فوریه ۲۰۰۶	۸۳	-۳/۹۳	-۳/۰۴	-۰/۸۶	-۰/۷۱
۱	۴ فوریه ۲۰۰۷	۴۱	-۳/۵۷	-۰/۷۸	۰/۱۳	-۰/۳۸
۱	۲۹ ژانویه ۲۰۱۳	۵۰/۱	-۱/۹	-۲/۶	-۰/۴۵	**۱/۸۹
۱	۲۸ ژانویه ۲۰۱۹	۵۱	-۴/۶۶	-۳/۳۴	۰/۴۹	**۰/۶۸
۲	۴ ژانویه ۲۰۰۲	۴۰	-۱/۷۹	-۴/۷۲	-۰/۳۵	-۰/۱۸
۲	۲۹ ژانویه ۲۰۰۲	۳۹	-۲/۳۱	-۳/۶۳	-۰/۰۱	-۰/۹۶
۲	۱۹ ژانویه ۲۰۰۵	۳۵	-۳/۱۸	-۳/۷۲	۰/۸۷	-۰/۳۶
۲	۱ فوریه ۲۰۰۹	۳۵/۶	-۲/۹۲	-۳/۳۹	۰/۵۶	-۰/۵۸
۳	۱۰ مارس ۲۰۰۵	۴۳	-۱/۰۹	-۴/۴۶	-۰/۰۵	**۰/۰۳
۳	۸ مارس ۲۰۱۱	۴۶	-۳/۷۵	-۴/۲۱	۰/۵۹	-۱/۶۸
۴	۲۵ فوریه ۲۰۲۰	۳۹	-۱/۹۸	-۳/۸۳	۰/۰۵	-۰/۶۹
	میانگین الگو		-۳/۴۷	-۳/۳۲	۰/۲۱	-۰/۵۱
			-۶/۷۹			-۰/۳

Research findings (2024)

واگرایی شار رطوبت صورت گرفته در منطقه ۱ تعریف شده مدیترانه (شرق مدیترانه) به مقدار $(10^{-5} \text{g.kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}) * ۰/۸۶ -$ و در منطقه ۲ مدیترانه (مرکز مدیترانه) به میزان $(10^{-5} \text{g.kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}) * ۰/۷۱ -$ می باشد (جدول ۱) که نشان از واگرایی شار رطوبت ضعیف است. این رطوبت طی یک چرخش سیکلونی تقریباً منطبق با الگوی فرود تراز ۵۰۰ ه.پ به نیمه شرقی و سپس شمال شرقی فرود منتقل می گردد. از سویی بخشی از این جریان رطوبت وزشی که طی همان چرخش سیکلونی به جنوب محور فرود منتقل گردیده و در ترکیب با رطوبت واگرا شده از شمال دریای سرخ، هسته ای دیگر از واگرایی شار رطوبت را ایجاد کرده است. از سوی دیگر چرخش هوا بر روی دریای عرب و جنوب شبه جزیره عربستان آنتی سیکلونی بوده و در ترازهای میانی آتمسفر نیز نیمه شرقی پرفشار جنب حاره بر روی این منطقه گسترش یافته و در انطباق با آن است. هسته های وسیعی از واگرایی شار رطوبت در ترازهای زیرین آتمسفر بر روی دریای عرب شکل گرفته که در منطقه ۱ دریای عرب به میزان $(10^{-5} \text{g.kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}) * ۳/۹۳ -$ و در منطقه ۲ دریای عرب به میزان $(10^{-5} \text{g.kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}) * ۳/۰۴ -$ (جدول ۱) شکل گرفته که بوسیله وزش آنتی سیکلونی باد سطوح زیرین آتمسفر، ابتدا به شرق و جنوب شبه جزیره عربستان و پس از آن به مرکز شبه جزیره منتقل شده و از آنجا با تغییر جهت باد و وزش جنوب - شمال، این رطوبت در مسیر مناطق کم ارتفاع بین النهرین تا شمال عراق و شمال غرب رشته کوه زاگرس پیش رفته و به بخش زیرین نیمه شرقی فرود بادهای غربی مستقر در سطوح میانی و بالایی آتمسفر

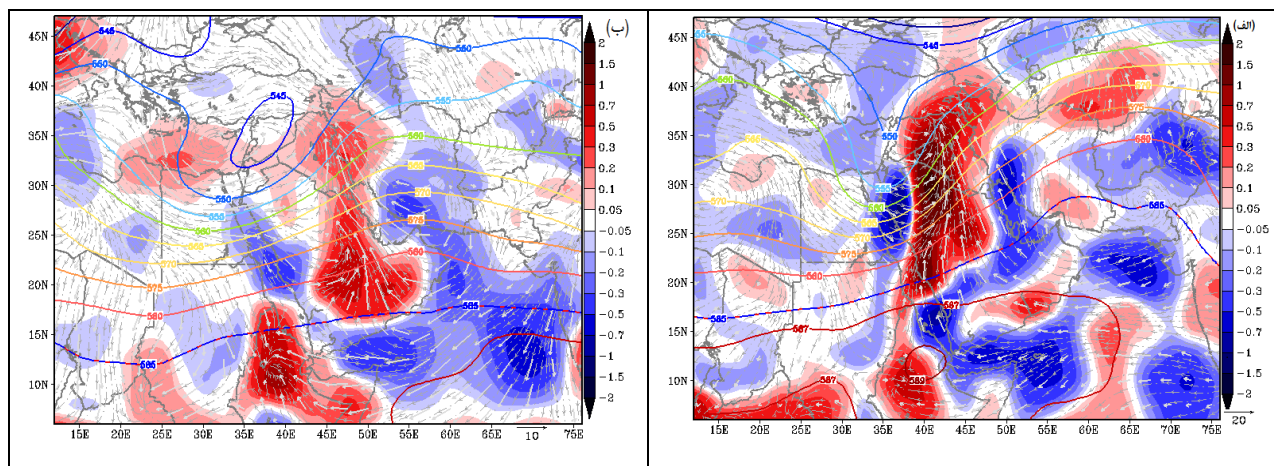
منطقه تزریق شده است و بخش عمده رطوبت بارش های این منطقه را فراهم کرده است.

۲.۱.۳. گروه ۲: ۱۹ ژانویه ۲۰۰۵

در این الگوی سینوپتیکی ۴ روز بارشی قرار گرفته اند (جدول ۱)، که ۱۹ ژانویه ۲۰۰۵ بعنوان نماینده آن انتخاب گردیده است. در شکل ۳ ب، آرایش سینوپتیکی این روز بارشی آورده شده است. در تراز ۵۰۰ ه.پ فرودی از بادهای غربی بر روی شرق مدیترانه قرار گرفته است که در مقایسه با گروه اول از عمق و شیب فشار کمتری برخوردار است و به تبع آن همگرایی شار رطوبت نیمه شرقی فرود نیز از شدت کمتری برخوردار است. در منطقه ۱ دریای مدیترانه همگرایی ضعیفی از شار رطوبت به مقدار $(10^{-5} \text{g.kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}) * ۰/۸۷$ رخ داده، و در منطقه ۲ در یای مدیترانه نیز مجموع پهنه های همگرایی و واگرایی شکل گرفته، واگرایی ضعیف شار رطوبت به مقدار $(10^{-5} \text{g.kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}) * ۰/۳۶ -$ را سبب شده اند (جدول ۱). از سوی دیگر بر روی جنوب دریای عرب مرکزی از پرفشار جنب حاره در تراز ۵۰۰ ه.پ بر روی این منطقه گسترش یافته است و در سطوح زیرین آتمسفر نیز هسته های وسیعی از واگرایی شار رطوبت بر روی دریای عرب شکل گرفته که در منطقه ۱ دریای عرب به مقدار $(10^{-5} \text{g.kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}) * ۳/۱۸ -$ و در منطقه ۲ دریای عرب به مقدار $(10^{-5} \text{g.kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}) * ۳/۷۲ -$ می باشد (جدول ۱)، که طی چرخش آنتی سیکلونی بادهای این سطوح، ابتدا به جنوب و شرق شبه جزیره عربستان منتقل شده

تغییرات فشار کمتر فرود بادهای غربی و به تبع آن همگرایی و صعود کمتر هوای نیمه شرقی آن است.

است و پس از آن در مرکز شبه جزیره عربستان با تغییر جهت، در مسیر جنوب به شمال، تا شمال عراق و شمال غرب زاگرس پیش رفته و عمده رطوبت بارش‌های منطقه را فراهم کرده است. تفاوت اصلی این الگوی سینوپتیکی نسبت به گروه اول در عمق و شیب



شکل ۳. ارتفاع ژئوپتانسیل متر ۵۰۰ پ (منحنی‌های ممتد)؛ بردارهای سرعت و جهت باد ۵۸۵۰ پ ($m.s^{-1}$)؛ هسته‌های همگرایی/واگرایی شار رطوبت ۷۰۰-۱۰۰۰ پ ($10^{-5}g.kg^{-1}.s^{-1}$)؛ الف) ۳ فوریه ۲۰۰۶. ب) ۱۹ ژانویه ۲۰۰۵. **Research findings** (2024)

۳، ۱، ۳. گروه ۳: ۸ مارس ۲۰۱۱

در الگوی سینوپتیکی این گروه ۲ روز بارشی قرار گرفته‌اند (جدول ۱)، که ۸ مارس ۲۰۱۱ بعنوان نماینده انتخاب گردیده است. در شکل ۴ الف، آرایش سینوپتیکی ۸ مارس ۲۰۱۱ آورده شده است، در تراز ۵۰۰ پ فرودی از بادهای غربی بر روی کشورهای یونان و ایتالیا قرار گرفته است که نیمه شرقی آن بطوری گسترده از مناطق شرقی دریای مدیترانه تا شمال غرب ایران را در بر گرفته است. در منطقه ۱ دریای مدیترانه همگرایی شار رطوبت به مقدار $(10^{-5}g.kg^{-1}.s^{-1})$ و در منطقه ۲ دریای مدیترانه و اگرایی شار رطوبت به مقدار $(10^{-5}g.kg^{-1}.s^{-1})$ (جدول ۱) می‌باشد که بخشی از آن به منطقه همگرایی و صعود هوای نیمه شرقی فرود از شرق مدیترانه تا غرب ایران تزریق و بخش بزرگتری از آن بوسیله وزش بادهای سطوح زیرین آتمسفر به شمال افریقا منتقل می‌گردد.

از سوی دیگر پرفشار جنب حاره با ارتفاع ۵۸۵۰ ژئوپتانسیل متر در تراز ۵۰۰ پ از دریای عرب تا شرق افریقا را در بر گرفته که در مقایسه با الگوهای دیگر ضعیف تر بوده و مرکز بیشینه آن بر روی مناطق غربی تر افریقا قرار گرفته است. در سطوح زیرین آتمسفر نیز هسته گسترده‌ای از واگرایی شار رطوبت شمال، مرکز و غرب دریای عرب را در بر گرفته که واگرایی شار رطوبت در منطقه ۱

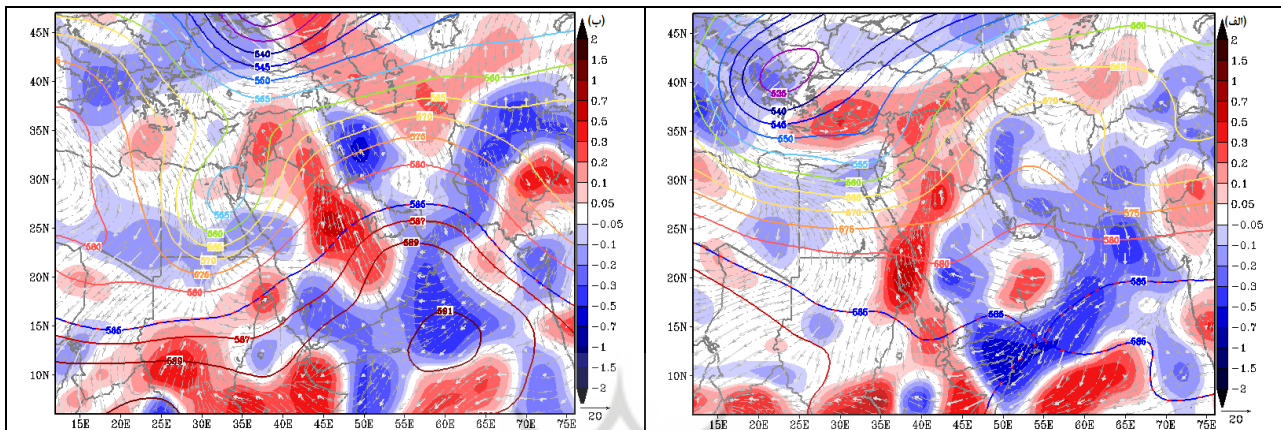
دریای عرب به مقدار $(10^{-5}g.kg^{-1}.s^{-1})$ و در منطقه ۲ دریای عرب نیز به مقدار $(10^{-5}g.kg^{-1}.s^{-1})$ می‌باشد که وزش آنتی سیکلونی بادهای سطوح زیرین آتمسفر بخش عمده این رطوبت را همانند گروه‌های ۱ و ۲ به جنوب و شرق شبه جزیره عربستان انتقال داده و سپس در مرکز شبه جزیره با حرکت شمال سو، رطوبت را به بین‌النهرین و شمال عراق منتقل می‌کنند. تفاوت اصلی این الگوی سینوپتیکی با سایر گروه‌ها در محل قرار گیری فرود بادهای غربی در مناطق مرکزی تر دریای مدیترانه است.

۴، ۱، ۳. گروه ۴: ۲۵ فوریه ۲۰۲۰

در این الگوی سینوپتیکی تنها یک روز بارشی، ۲۵ فوریه ۲۰۲۰ شناسایی گردید (شکل ۴ ب). در تراز ۵۰۰ پ فرود بادهای غربی بصورت یک سردچال بر روی شمال غرب افریقا قرار گرفته است و نیمه شرقی آن از شمال عربستان تا شمال عراق را در بر گرفته است و فرودی دیگر از بادهای غربی بر روی دریای سیاه مستقر و جنوب نیمه شرقی آن نیز شمال غرب ایران و شمال عراق را متاثر کرده است و منطقه مورد مطالعه از هر دو این سامانه‌ها بهره گرفته است. همگرایی شار رطوبت در منطقه ۱ دریای مدیترانه $(10^{-5}g.kg^{-1}.s^{-1})$ و در منطقه ۲ واگرایی ضعیف

آنتی سیکلونی بادهای سطوح زیرین آتمسفر به شرق شبه جزیره منتقل شده و پس از آن در مسیر جنوب شرق-شمال غرب تا شمال عراق جریان می یابد و بخش اصلی رطوبت بارش های منطقه مورد مطالعه را فراهم می نماید.

شار رطوبت ($10^{-5} \text{g.kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) * ۰/۶۹- رخ داده است (جدول ۱). بر روی دریای عرب در تراز ۵۰۰ ه.پ نیز هسته ای قوی از پرفشار جنب حاره با ارتفاع ۵۹۱۰ ژئوپتانسیل متر قرار گرفته است. در سطوح زیرین آتمسفر نیز هسته های وسیعی از واگرایی شار رطوبت شکل گرفته که در منطقه ۱ دریای عرب به مقدار ($10^{-5} \text{g.kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) * ۱/۹۸- و در منطقه ۲ دریای عرب ($10^{-5} \text{g.kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) * ۳/۸۳- می باشد (جدول ۱)، که بخش عمده آن طی وزش



شکل ۴. ارتفاع ژئوپتانسیل متر ۵۰۰ ه.پ (منحنی های ممتد)؛ بردارهای سرعت و جهت باد ۸۵۰ ه.پ (m.s^{-1})؛ هسته های همگرایی/واگرایی شار رطوبت ۷۰۰-۱۰۰۰ ه.پ ($10^{-5} \text{g.kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)؛ (الف) ۸ مارس ۲۰۱۱. (ب) ۲۵ فوریه ۲۰۲۰. [Research findings \(2024\)](#)

شار رطوبت روزهای بارشی این الگوی رطوبتی در مناطق دریای عرب ($10^{-5} \text{g.kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) * ۵/۷۴- بوده که کاهش اندک را نسبت به الگوی رطوبتی دریای عرب نشان می دهد اما در مناطق دریای مدیترانه ($10^{-5} \text{g.kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) * ۱/۷۸- می باشد که بطور آشکاری افزایش نقش دریای مدیترانه در انتقال رطوبت را نشان می دهد (جدول ۲).

۲.۳. (ب) الگوی رطوبتی ترکیبی دریای عرب/مدیترانه در الگوی رطوبتی دریای عرب/مدیترانه ۹ روز شناسایی گردید (جدول ۲)، که در این الگو دریای عرب تا حدودی واگرایی شار رطوبت کمتری نسبت به الگوی اول داشته اما نقش دریای مدیترانه در تامین رطوبت بارش های منطقه بیشتر شده است، اگر چه هم چنان دریای عرب نسبت به دریای مدیترانه بطور آشکاری نقش بیشتری در انتقال رطوبت به منطقه دارد. در این الگوی رطوبتی دو گروه تشخیص داده شد که روزهای بارشی هر گروه در جدول ۲ آورده شده است. مجموع میانگین واگرایی

جدول ۲. روزهای بارشی الگوی رطوبتی دریای عرب/مدیترانه؛ مقدار همگرایی (اعداد مثبت)/واگرایی (اعداد منفی) شار رطوبت ($10^{-5} \text{g.kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)، منطقه دریای عرب و منطقه دریای مدیترانه (۲۴ ساعت منتهی به بارش).

گروه	روز بارش	بارش ۲۴ ساعته mm	منطقه ۱ دریای عرب	منطقه ۲ دریای عرب	منطقه ۱ مدیترانه	منطقه ۲ مدیترانه
۱	۷ ژانویه ۲۰۰۲	۴۷	-۳/۶۴	-۱/۵۷	-۰/۶۱	-۱/۱۷
۱	۷ مارس ۲۰۰۳	۳۶	-۴/۵۴	-۳/۲۶	-۰/۰۷	-۱/۸۳
۱	۲۸ دسامبر ۲۰۰۶	۴۵	-۳/۲	-۲/۸	-۱/۲۶	-۱/۳۶
۱	۴ فوریه ۲۰۰۶	۹۲	-۳/۳	-۱/۱۲	-۰/۸۷	-۱/۲
۱	۱ ژانویه ۲۰۱۶	۴۵	-۲/۹۵	-۳/۵۲	-۱/۰۹	-۰/۰۹
۱	۱۵ فوریه ۲۰۱۷	۴۷	-۲/۸۸	-۲/۱۷	-۰/۲۶	-۲/۰۳
۱	۱۸ فوریه ۲۰۱۸	۷۸/۲	-۱/۰۱	-۴/۰۶	-۰/۳۴	-۲/۴۱
۲	۱۴ مارس ۲۰۰۸	۴۳	-۳/۱۳	-۳/۰۲	۰/۴۸	-۲/۴

۲	۲۸ ژانویه ۲۰۱۴	۳۵	-۴/۲۶	-۱/۲۶	-۱/۰۶	۲/۷۲*
	میانگین الگو		-۳/۲۱	-۲/۵۳	-۰/۵۶	-۱/۲۲
				-۵/۷۴	-۱/۷۸	

Research findings (2024)

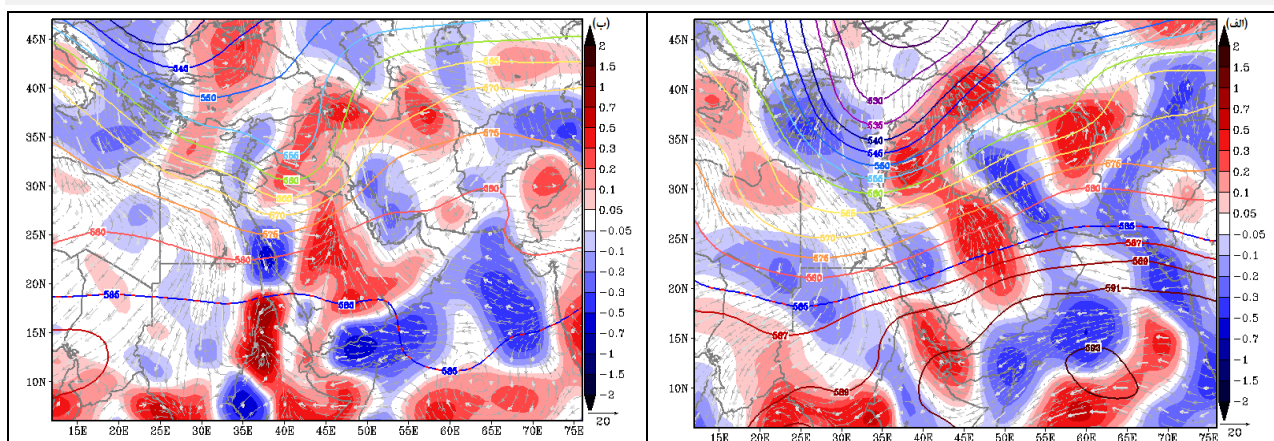
۱، ۲، ۳. گروه ۱: ۱ ژانویه ۲۰۱۶

در این الگوی سینوپتیکی ۷ روز بارشی قرار دارد (جدول ۲)، که در آن فرودی از بادهای غربی در سطوح میانی آتمسفر بر روی شرق مدیترانه و سرزمین‌های شرق این پهنه آبی قرار دارد. در شکل ۵ الف، آرایش سینوپتیکی ترازهای میانی و زیرین ۱ ژانویه ۲۰۱۶ که بعنوان نماینده این الگوی سینوپتیکی انتخاب شده، آورده شده است. در تراز ۵۰۰ ه.پ فرودی از بادهای غربی بر روی شرق دریای مدیترانه قرار گرفته است که نیمه غربی آن بر روی مدیترانه شرقی قرار گرفته و نیمه شرقی فرود نیز بر روی سرزمین‌های شرق این پهنه آبی قرار دارد و غرب و شمال غرب ایران و شمال عراق را نیز در بر گرفته است و شرایط همگرایی و صعود هوای زیرین آتمسفر را فراهم کرده است. در سطوح زیرین آتمسفر هسته‌ای از واگرایی شار رطوبت بر روی مدیترانه شرقی شکل گرفته که طی وزش باد این سطوح بخشی از آن به نیمه شرقی فرود منتقل می‌گردد و تا شمال عراق و شمال غرب ایران پیش می‌رود و بخشی دیگر از آن نیز به سمت شمال آفریقا جریان می‌یابد. واگرایی شار رطوبت در منطقه ۱ دریای مدیترانه به مقدار $10^{-5} \text{g.kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ و در منطقه ۲ دریای مدیترانه به مقدار $10^{-5} \text{g.kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ و در منطقه ۱ $10^{-5} \text{g.kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ و در منطقه ۲ $10^{-5} \text{g.kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ می‌باشد (جدول ۲). از سوی دیگر در تراز ۵۰۰ ه.پ، مرکز پرفشار جنب حاره بر روی دریای عرب قرار گرفته و در سطوح زیرین آتمسفر این منطقه نیز هسته‌هایی از واگرایی شار رطوبت شکل گرفته است که واگرایی شار رطوبت بر روی منطقه ۱ دریای عرب به مقدار $10^{-5} \text{g.kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ و در منطقه ۲ دریای عرب به مقدار $10^{-5} \text{g.kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ می‌باشد (جدول ۲). وزش آنتی سیکلونی بادهای سطوح زیرین آتمسفر در این منطقه بخش عمده‌ای از این رطوبت واگرا شده را به شرق و مناطق مرکزی تر شبه جزیره عربستان انتقال داده و سپس در مسیر جنوب - شمال تا شمال عراق و شمال غرب ایران منتقل کرده و در ترکیب

با رطوبت دریای مدیترانه بارش‌های منطقه مورد مطالعه را ایجاد می‌نمایند.

۲، ۲، ۳. گروه ۲: ۱۴ مارس ۲۰۰۸

در این الگوی سینوپتیکی ۲ روز بارشی شناسایی گردید (جدول ۲)، که در آن فرودی ضعیف بر روی سرزمین‌های شرق مدیترانه مستقر می‌گردد. در شکل ۵ ب، آرایش سینوپتیکی روز نماینده این گروه، ۱۴ مارس ۲۰۰۸ آورده شده است. در این شکل در تراز ۵۰۰ ه.پ فرود ضعیفی از بادهای غربی بر روی عراق و مناطق اطراف قرار گرفته که جلو فرود شمال عراق و غرب و شمال غرب ایران را نیز در بر گرفته است. در سطوح زیرین آتمسفر بر روی مناطق مرکزی دریای مدیترانه هسته وسیعی از واگرایی شار رطوبت شکل گرفته که جریان بادهای این سطوح رطوبت را ابتدا به شرق مدیترانه و سپس جلو فرود بادهای غربی منتقل می‌نمایند و بخشی از رطوبت بارش‌های منطقه مورد مطالعه را تامین می‌کنند. میزان همگرایی شار رطوبت در منطقه ۱ دریای مدیترانه $10^{-5} \text{g.kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ و واگرایی شار رطوبت در منطقه ۲ دریای مدیترانه $10^{-5} \text{g.kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ می‌باشد (جدول ۲). از سویی دیگر در منطقه دریای عرب در سطوح میانی آتمسفر، پرفشار جنب حاره در حالت ضعیفی قرار دارد، اما هم‌چنان در سطوح زیرین آتمسفر این منطقه هسته‌هایی از واگرایی شار رطوبت شکل گرفته‌اند که میزان واگرایی شار رطوبت در منطقه ۱ دریای عرب $10^{-5} \text{g.kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ و در منطقه ۲ دریای عرب $10^{-5} \text{g.kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ می‌باشد (جدول ۲)، که جریان بادهای این سطوح منطقه در یک چرخش آنتی سیکلونی، رطوبت را به شرق و مناطق مرکزی تر شبه جزیره عربستان انتقال داده و پس از آن در مسیر جنوب - شمال تا شمال غرب ایران و شمال عراق منتقل می‌نمایند و بخشی دیگر از رطوبت بارش‌های منطقه مورد مطالعه را فراهم می‌نمایند.



شکل ۵. ارتفاع ژئوپتانسیل متر ۵۰۰ ه.پ (منحنی‌های ممتد)؛ بردارهای سرعت و جهت باد ۸۵۰ ه.پ ($m.s^{-1}$)؛ هسته‌های همگرایی/واگرایی شار رطوبت ۷۰۰-۱۰۰۰ ه.پ ($10^{-5}g.kg^{-1}.s^{-1}$)؛ الف) ۱ ژانویه ۲۰۱۶؛ ب) ۱۸ فوریه ۲۰۱۸. (Research findings (2024)

۳.۳. ج. الگوی رطوبتی دریای مدیترانه

در الگوی وزشی/رطوبتی دریای مدیترانه، ۶ روز شناسایی گردید (جدول ۳). در این الگوی رطوبتی بمانند دو الگوی دیگر هم‌چنان هسته‌های وسیع و قوی از واگرایی شار رطوبت بر روی دریای عرب شکل گرفته‌اند، اما به دلیل جهت وزش بادهای سطوح زیرین آتمسفر، این رطوبت را ابتدا به مناطق شرقی شبه‌جزیره عربستان منتقل کرده و پس از با تغییر جهت بادهای (جنوب‌غرب-شمال‌شرق)، این رطوبت را به جنوب‌غرب و جنوب ایران منتقل می‌کنند و منطقه شمال‌غرب زاگرس از آن بی‌بهره می‌گردد و دریای مدیترانه به منبع اصلی تامین رطوبت بارش‌های منطقه مورد مطالعه تبدیل می‌گردد. این الگوی رطوبتی به دو گروه دسته‌بندی شده‌اند که در ادامه مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

۳.۳.۱. گروه اول: ۲۸ دسامبر ۲۰۱۸

در این الگوی سینوپتیکی ۵ روز بارشی تشخیص داده شد (جدول ۳)، که در آن فرود بادهای غربی در سطوح میانی آتمسفر، بر روی شرق مدیترانه و سرزمین‌های شرقی این پهنه مستقر است، بگونه‌ای که محور فرود در محدوده ساحل شرقی دریای مدیترانه قرار می‌گیرد. در شکل ۶ الف، آرایش سینوپتیکی روز نماینده این گروه، ۲۸ دسامبر ۲۰۱۸ آورده شده است. در این شکل فرودی از بادهای غربی در تراز ۵۰۰ ه.پ بر روی شرق دریای مدیترانه و سرزمین‌های شرقی آن مستقر گردیده که جلو فرود از ساحل شرقی دریای مدیترانه تا غرب ایران را در بر گرفته است. در سطوح زیرین آتمسفر نیز هسته‌ای از واگرایی شار رطوبت بر روی شرق دریای مدیترانه شکل گرفته که چرخش سیکلونی هوای این سطوح، رطوبت را به جلو فرود و شمال عراق و

جدول ۳. روزهای بارشی الگوی رطوبتی دریای مدیترانه؛ همگرایی (اعداد مثبت)/واگرایی (اعداد منفی) شار رطوبت ($10^{-5}g.kg^{-1}.s^{-1}$)
۱) دریای عرب و دریای مدیترانه؛ ۲۴ ساعت منتهی به روز بارش.

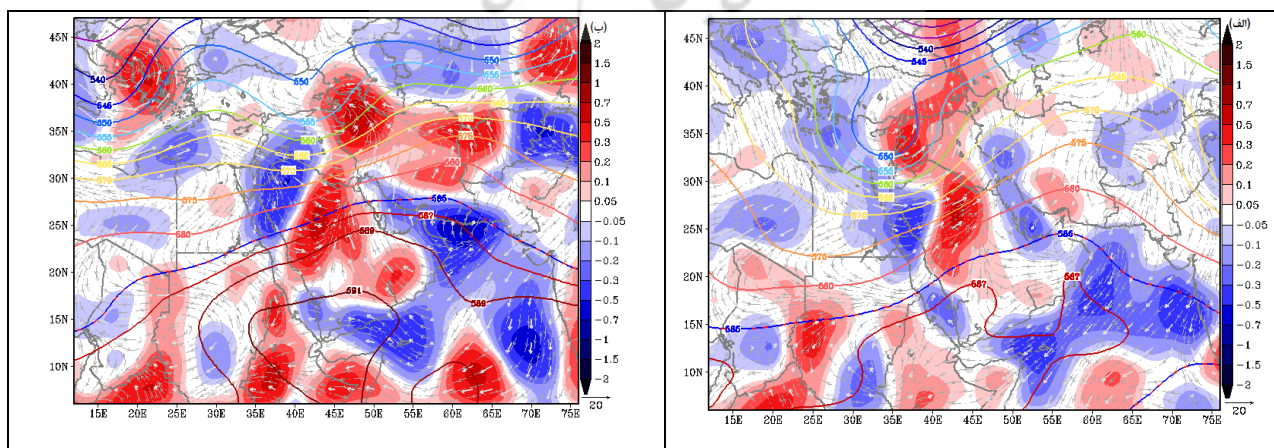
گروه	روز بارش	بارش ۲۴ ساعته mm	منطقه ۱ دریای عرب	منطقه ۲ دریای عرب	منطقه ۱ مدیترانه	منطقه ۲ مدیترانه
۱	۱۴ مارس ۲۰۰۹	۴۲	-۰/۸۴	-۲/۲	-۱/۰۷	-۱/۱۶
۱	۱۹ ژانویه ۲۰۱۶	۶۰/۵	-۲/۱۶	-۳/۳۵	۰/۵۳	-۱/۲۹
۱	۲۸ دسامبر ۲۰۱۸	۳۵	-۳/۱	-۳/۲	-۰/۴۹	-۰/۷۹
۱	۲۸ فوریه ۲۰۱۹	۳۷	-۳/۶۶	-۲/۹۳	۰/۳۲	-۰/۴۳
۱	۲۷ دسامبر ۲۰۱۹	۳۵	-۲/۷۹	۱/۹۸	۰/۵۳	-۰/۱۱
۲	۱۳ فوریه ۲۰۱۸	۴۶	-۴/۳۵	-۲/۱	-۰/۴۹	**۰/۳۸
	میانگین الگو		-۲/۸۱	-۱/۹۶	-۰/۱۱	-۰/۷۶
			-۴/۷۷		-۰/۸۷	

در تراز ۵۰۰ ه.پ بر روی عراق قرار دارد که جلو فرود شرایط همگرایی و صعود هوای سطوح زیرین آتمسفر را برای شمال عراق و غرب و شمال غرب ایران فراهم کرده است. هسته‌ای از واگرایی شار رطوبت سطوح زیرین آتمسفر بر روی دریای مدیترانه شکل گرفته و همچنین هسته‌ای دیگر از واگرایی شار رطوبت بر روی شمال عربستان و سوریه تشکیل شده که ناشی رطوبتی است که در روزهای قبل از دریای مدیترانه به این منطقه انتقال داده شده و اکنون با قرار گرفتن در نیمه غربی فرود بادهای غربی، واگرا گشته و جریان بادهای سطوح زیرین آتمسفر، رطوبت را از هر دو این مناطق به سمت غرب و جلو فرود بادهای غربی انتقال می‌دهند. میزان واگرایی شار رطوبت در منطقه ۱ در یای مدیترانه ($10^{-5} \text{g.kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) و در منطقه ۲ دریای مدیترانه همگرایی شار رطوبت ($10^{-5} \text{g.kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) می باشد (جدول ۳). در واقع کوتاه بودن طول موج بادهای غربی در این الگو نقش در یای مدیترانه را غیر مستقیم و با واسطه نموده است. از سوی دیگر هسته پرفشار جنب حاره در سطوح میانی آتمسفر بر روی جنوب شبه جزیره عربستان قرار دارد و این پرفشار دریای عرب را نیز در بر گرفته است. هسته‌های وسیع و قوی از واگرایی شار رطوبت نیز بر روی دریای عرب شکل گرفته که بمانند گروه اول، وزش آنتی سیکلونی بادهای سطوح زیرین آتمسفر منطقه این رطوبت را به شرق عربستان و سپس جنوب غرب ایران منتقل می‌کند و از دسترس شمال عراق و شمال غرب ایران خارج می‌نماید. بنابراین در این الگوی سینوپتیکی نیز رطوبت دریای عرب نقش چندانی در تامین رطوبت بارش‌های منطقه مورد مطالعه ندارد.

شمال غرب ایران منتقل می‌کند. واگرایی شار رطوبت در منطقه ۱ دریای مدیترانه به میزان $(10^{-5} \text{g.kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}) * 0.49 -$ و در منطقه ۲ دریای مدیترانه $(10^{-5} \text{g.kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}) * 0.79 -$ می‌باشد (جدول ۳)، که همگرایی شار رطوبت موجود در زیر محور فرود بر روی نوار شرقی دریای مدیترانه، مقداری از ارقام منفی هسته واگرایی شار رطوبت منطقه ۱ را خنثی کرده است. از سویی دیگر هسته نسبتاً ضعیفی از پرفشار جنب حاره در سطوح میانی آتمسفر بر روی دریای عرب تا مناطقی از شرق افریقا شکل گرفته و در سطوح زیرین آتمسفر نیز هسته‌های وسیعی از واگرایی شار رطوبت بر روی دریای عرب ایجاد گردیده‌اند. بخشی از این رطوبت طی جریان هوای سطوح زیرین آتمسفر منطقه به شرق عربستان منتقل و پس از آن طی چرخش آنتی سیکلونی حاکم بر منطقه در جهت جنوب غرب- شمال شرق طی مسیر کرده و منطقه مورد مطالعه را بهره‌مند نمی‌کند و در واقع بارش‌های منطقه مورد مطالعه در این گروه از رطوبت دریای مدیترانه و دریای سرخ استفاده می‌کنند و با آنکه مراکز وسیع و قوی از واگرایی شار رطوبت بر روی دریای عرب نیز شکل می‌گیرند، اما جریان وزش بادهای سطوح زیرین آتمسفر بگونه‌ای است که به شمال عراق و شمال غرب ایران منتقل نمی‌گردند و سهم این پهنه آبی در رطوبت این بارش‌ها به حداقل می‌رسد.

۲.۳.۳. گروه دوم: ۱۳ فوریه ۲۰۱۸

در این الگوی سینوپتیکی تنها ۱ روز بارشی قرار دارد (۱۳ فوریه ۲۰۱۸)، که در شکل ۶ ب، آرایش سینوپتیکی این روز آورده شده است. در این الگو فرودی کوتاه و ضعیف از بادهای غربی



شکل ۶. ارتفاع ژئوپتانسیل متر ۵۰۰ ه.پ (منحنی‌های ممتد)؛ بردارهای سرعت و جهت باد ۵۸۵ ه.پ (m.s^{-1})؛ هسته‌های همگرایی/واگرایی شار رطوبت ۷۰۰-۱۰۰۰ ه.پ ($10^{-5} \text{g.kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)؛ (الف) ۲۸ دسامبر ۲۰۱۸؛ (ب) ۱۳ فوریه ۲۰۱۸. (کاظم و همکاران، ۱۴۰۱). Research findings (2024)

۴. بحث و نتیجه گیری

بررسی نتایج محاسبات و آرایش های سینوپتیکی روزهای بارش سنگین در منطقه مرطوب شمال غرب زاگرس، حاکی از آن است که پهنه آبی دریای عرب یکی از منابع تامین کننده رطوبت بارش های سنگین این منطقه می باشد و در مقایسه با دریای مدیترانه نقش بسیار بیشتری دارد. بدینصورت که همزمان با ورود فرودی از بادهای غربی در سطوح میانی و بالایی آتمسفر و استقرار جلو فرود بر روی منطقه شمال عراق و نوار کوهستانی حاشیه شمال غربی ایران، رطوبت نیز غالباً در سطوح زیرین آتمسفر (۷۰۰-۱۰۰۰ ه.پ) توسط جریان بادهای از دریای عرب (طی یک گردش آنتی-سیکلونی) و دریای مدیترانه (طی گردش سیکلونی) به جلو فرود بادهای غربی منتقل می گردد و بارش های سنگین این بخش از رشته کوه زاگرس را فراهم می نمایند. الگوهای تامین کننده رطوبت بارش های سنگین منطقه در سه الگوی رطوبتی: دریای عرب، دریای عرب/مدیترانه و دریای مدیترانه شناسایی گردیدند، که الگوی رطوبتی دریای عرب بیشترین فراوان را داشته و ۱۴ روز بارشی را طی دوره مورد مطالعه فراهم نموده است. در این الگو جلوی فرود بادهای غربی، منطقه را در بر گرفته و در سطوح زیرین آتمسفر (۷۰۰-۱۰۰۰ ه.پ) بر روی دریای عرب هسته های وسیع و قوی از واگرایی شار رطوبت شکل می گیرند که این رطوبت توسط جریان بادهای این سطوح، ابتدا به شرق و مناطق مرکزی شبه جزیره عربستان منتقل شده و پس از آن در مسیر جنوب-شمال تا شمال عراق و حاشیه غربی شمال غرب ایران پیش می رود و غالب رطوبت بارش ها را تامین می نماید، بطوری که نقش رطوبت انتقال یافته از دریای مدیترانه در این الگو بسیار ضعیف می باشد. میانگین واگرایی شار رطوبت در روزهای بارشی این الگو در منطقه دریای عرب $(10^{-5} \text{g.kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}) * 6/79 -$ و در منطقه دریای مدیترانه $(10^{-5} \text{g.kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}) * 0/3 -$ می باشد که نشان از نقش غالب شار رطوبت دریای عرب نسبت به دریای مدیترانه دارد. الگوی دوم رطوبتی (دریای عرب/مدیترانه)، ۹ روز بارشی را شامل می شود. در این الگو اگرچه هم چنان هسته های قوی از واگرایی شار رطوبت بر روی دریای عرب، جریان انتقال رطوبت به جلو فرود را بمانند الگوی اول انجام می دهند و این

پهنه آبی نقش اصلی در تامین رطوبت بارش ها را دارد، اما هسته هایی از واگرایی شار رطوبت بر روی شرق و مرکز دریای مدیترانه نیز شکل گرفته که در مقایسه با الگوی رطوبتی اول، قوی تر بوده و این رطوبت طی گردش سیکلونی جریان بادهای سطوح زیرین آتمسفر به جلو فرود منتقل می گردد و در مشارکت با رطوبت منتقل شده از دریای عرب، بارش های منطقه را ایجاد می کنند. میانگین واگرایی شار رطوبت در روزهای بارشی این الگو در منطقه دریای عرب $(10^{-5} \text{g.kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}) * 5/74 -$ و در منطقه دریای مدیترانه $(10^{-5} \text{g.kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}) * 1/78 -$ می باشد که نشان از نقش موثرتر دریای مدیترانه در شار رطوبت به منطقه نسبت به الگوی رطوبتی اول دارد. الگوی سوم رطوبتی (دریای مدیترانه) نیز ۶ روز بارشی را شامل گردید که در آن دریای عرب نقشی در تامین رطوبت این بارش ها نداشته است. در این الگوی رطوبتی اگرچه هم چنان هسته های وسیع و قوی از واگرایی شار رطوبت بر روی دریای عرب شکل می گیرند، اما این رطوبت در گردش آنتی-سیکلونی جریان بادهای سطوح زیرین آتمسفر پس از انتقال به شرق شبه جزیره عربستان بسوی شمال شرق جریان یافته و از د سترس منطقه مرطوب زاگرس شمال غرب خارج می گردند و منبع اصلی تامین رطوبت این بارش ها، دریای مدیترانه می باشد و میانگین واگرایی شار رطوبت در روزهای بارشی این الگو در منطقه دریای مدیترانه $(10^{-5} \text{g.kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}) * 0/87 -$ می باشد. در نهایت می توان نتیجه گرفت که نه تنها دریای عرب در تامین رطوبت بارش های سنگین منطقه می تواند نقش داشته باشد، بلکه در مقایسه با دریای مدیترانه نقش بسیار بیشتری دارد و از ۲۹ روز بارشی رخ داده طی دوره مورد مطالعه، در ۲۳ روز غالب رطوبت بارش ها توسط دریای عرب تامین شده و تنها در ۶ روز دریای مدیترانه اصلی ترین منبع تامین رطوبت این بارش ها بوده است. این پژوهش در راستای یافته های (Lashkari 1996) و (Karimi 2007) و (Abkharabat 2016) می باشد که نقش دریای عرب را بعنوان تامین کننده بخشی از رطوبت بارش های مناطق مختلفی از ایران مورد تایید قرار داده اند.

فهرست منابع

- Abkharabhat, S., RezaeiBanfeshe M., JahanbakhshAsl, S., Karimi, M., Rasouli, A., (2016). Dynamic-synoptic analysis of the mechanism of summer rainfall in southeastern Iran. *Natural geography research*. Volume 48. Number 3. pp. 349-335. (In Persian)
- Abkharabhat, S., (2016). Dynamic-synoptic analysis of the effect of Monsoon and Enso phases on the atmospheric circulation of Iran. Ph. D Dissertation of Climatology. Tabriz University. pp. 121. (In Persian)
- Alijani, B., (1995). Climate of Iran, Payame Noor Publishing University, Tehran-Iran. pp. 221. (In Persian)
- Alijani, B., Khosravi, M., Esmailnejad, M., (2010). Synoptic analysis of heavy rainfall on January 6, 2008 in southeast Iran, *Climatology Research*, No. 3 and 4, pp. 1-12. (In Persian)
- Alijani, B., Jafarpour, Z., Bidakhti, A., Mofidi, A., (2011). Circulation patterns of summer rainfall in southeastern Iran in July, *Journal of Geographical Sciences*, Vol. 7, No. 10, pp. 227-205. (In Persian)
- Alijani, B. (2014). Synoptic Climatology. Samt Publications. Tehran. pp. 272. (In Persian)
- Alpert, P., Shay, E., (1993). The paradox of the winter net moisture sink over the Arabian-Iraqi desert, *Ann. Geophysica*, Vol. 11, 190- 194.
- Coll-Hidalgo, P., Pérez-Alarcón, A., & Gimeno, L. (2022). Origin of moisture for the precipitation produced by the exceptional winter storm formed over the Gulf of Mexico in March 1993. *Atmosphere*, 13(7), 1154. <https://doi.org/10.3390/atmos13071154>
- Farajzadeh, M., Karimi, M., Qaemi, H., Mubasheri, M., (2009). How moisture is transported in the winter rainfall of western Iran (a case study of rainfall on January 3-7, 1996), *Modares Magazine*, No. 1pp. 217-193. (In Persian)
- Guo, L., Ruud, J., Derent, V., Anderew, G., Turner, C., Stephan, C., Chevuturi, A., (2019). Moisture Sources for East Asian Precipitation: Mean Seasonal Cycle and Interannual Variability, *Journal of Hydrometeorology*, vol 20, april 2019, 657-672. DOI: 10.1175/JHM-D-18-0188.1.
- Halabian, A. H., HosseinAlipourjazi, F. (2012). Identifying the simultaneous conditions of limited and widespread precipitation in the western banks of the Caspian with emphasis on the atmospheric thickness patterns. *Geography and environmental sustainability*. No. 3. pp. 122-101. (In Persian)
- Jana, S., Rajagopalan, B., Alexander, M. A., Ray, A. J., (2018). Understanding the dominant sources and tracks of moisture for summer rainfall in the southwest United States. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123, 4850–4870. doi.org/10.1029/2017JD027652.
- Karimi, M., (2007). Analysis of moisture sources of Iran's rainfall, Ph. D Dissertation of Climatology, Tarbiat Modares University. pp. 175. 14. (In Persian)
- Karimi, M., Farajzadeh., (2011). Moisture flux and spatio-temporal pattern of sources of moisture supply for rainfall in Iran, *Applied Research Journal of Geographical Sciences*, No. 22, pp. 109-127. (In Persian)
- Krug, A., Aemiseggr, F., Sprenger, M., Ahrens, B., (2022). Moisture sources of heavy precipitation in Central Europe in synoptic situations with Vb-cyclones, *Climate Dynamics* volume 59, pages 3227–3245.
- Lashkari, H., (1996). Synoptic Patterns of Heavy Rains in Southwest Iran, Ph. D Dissertation of Climatology, Faculty of Human Sciences, Tarbiat Modares University. pp. 196. (In Persian)
- Lashkari, H., (2002). Routing of Sudanese low pressure systems entering Iran. *Modares Magazine*, period 6. Series 25, pp. 156-133. (In Persian)
- Mofidi, A., Zarin, A., (2005). Synoptic analysis of the nature of Sudanese low pressure systems (case study; December 2001 storm), *Land Geography*, No. 6, pp. 24-48. (In Persian).
- Mofidi, A., Zarin, A., (2005). A synoptic study of the impact of Sudanese low pressure systems on the occurrence of flood-causing rains in Iran. *Geographical Research Quarterly*, No. 77, pp. 113-136.
- Mofidi, A., Zarin, A., Janbazghobadi, G., (2008). Determining the synoptic pattern of heavy winter rains and comparing it with the pattern of heavy autumn rains in the southern coasts of the Caspian Sea. The first International Conference on Environmental Changes in the Caspian Region. Mazandaran University. Babolsar. pp. 1-23. (In Persian)
- Qavidel Rahimi, Y., (2010). Synoptic Climatology mapping and interpretation using GrADS software, Soha Danesh Publications, Tehran. pp. 207. (In Persian)
- RezaeiBanfesheh, M., SariSaraf, B., Jafarishandi, F., HosseinAlipour, F., (2013). Analysis of effective moisture sources in heavy rains in northwestern Iran; Research project, Tabriz University. pp. 105. (In Persian)
- Sabziparvar, A. A., (1991). Synoptic survey of flood systems in southwest Iran, Master's Thesis in

- Meteorology, Institute of Geophysics, University of Tehran, pp. 235. (In Persian).
- Taghizadeh, H., (1987), An analysis of amordad rainfall in 1366, Geological Development, No. 10, pp. 26-37. (In Persian).
- Yamin. H., Dong, S., Yanju, L., (2018). Investigations on Moisture Transports, Budgets and Sources Responsible for the Decadal Variability of Precipitation in Southern China, Science and Technology Infusion Climate Bulletin, CA, 23-25 October 2018.75-8.

