

Synoptic Patterns of Atmospheric Rivers Leading to Heavy Rains in the West and Northwest of Iran

Vahideh Abtahi¹, Saeed Jahanbakhsh^{2✉}, Hashem Rostamzadeh³, Hasan Lashkari

1. PHD student in Tabriz university. E-mail: vahideh.abtahi@gmail.com

2. Corresponding author, Department of Geography and Urban Planning, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: s_jahan@tabrizu.ac.ir

3. Assistant Professor of Climatology, University of Tabriz, Iran. E-mail: h_rostamzadeh@tabrizu.ac.ir

4. Professor, Department of Physical Geography, School of Earth Science, The University of Shahid Beheshti (SBU), Tehran, Iran.

E-mail: h-lashkari@sbu.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article Article history: Received: 3 July 2023 Revised: 5 February 2024 Accepted: 13 February 2024 Published: 21 June 2025 Keywords: Atmospheric river Sudan low heavy rain west and north west of Iran Mediterranean cyclone.	Heavy rains are a climatic feature of the precipitation element that can happen in any climate. But its occurrence in arid and semi-arid climates is due to the lack of adequate and suitable infrastructures, along with damage. These rains occur in different synoptic conditions. In this research, the role of atmospheric rivers in the formation of this phenomenon has been studied. For this purpose, first, the heavy rains of stations in the west and northwest of Iran were extracted in a period of 33 years. Then the precipitation systems were separated along with the atmospheric river. In the next step, by using atmospheric maps of the levels of the lower layer of the troposphere, synoptic patterns leading to the creation of atmospheric rivers were identified. The results of this study showed that atmospheric rivers leading to heavy rains in this region follow three general patterns. The two low pressure patterns of Sudan and the combined pattern of Sudan low and Mediterranean cyclone respectively have played the biggest role in creating atmospheric surfaces leading to heavy rainfall. In the synopsis pattern of Sudan low from two to three days ago, a wide tab of Siberian high pressure in the lower layer of the troposphere, passing through the countries of Afghanistan and Pakistan and the eastern part of Iran, spreads over the warm waters of the Oman, Arabian and Gulf of Aden seas. This trough transports the moisture of these seas into the Sudanese system with the eddy circulation. With the deepening of the Mediterranean trough over West Asia and North-East Africa, this moisture forms along the southern currents in front of the trough and is strengthened by passing over the waters of the Red Sea and the Atmospheric River. In the integration pattern, with the extension of the Sudan low pressure trough to the eastern part of the Mediterranean and western Asia, the moisture of the warm southern seas is advected over this region and is strengthened by the transferred moisture from the Mediterranean and the atmospheric river is formed.

Cite this article: abtahi, V., jahanbakhsh, S., & rostamzadeh, h., lashkari, h. (2025). Title of paper in lower case letters (except for initial letter of first word, initial of first word after a colon, and proper nouns). *Journal of Geography and Planning*, 29 (91), 411-432. <http://doi.org/10.22034/gp.2024.57342.3165>



© The Author(s).

DOI: <http://doi.org/10.22034/gp.2024.57342.3165>

Publisher: University of Tabriz.

Introduction

Rainfall in arid and semi-arid climates is a divine blessing for living life. Due to the huge amount of atmospheric precipitation, heavy rains are considered as an opportunity to repair water shortages in an area. However, due to weak infrastructure, unfavorable land uses and weak vegetation and soil, these rains generally turn into terrible floods. and damages the same weak soil resources, vegetation and infrastructures.

Data and Method

According to the purpose of this research, which is to extract synoptic patterns of atmospheric rivers leading to heavy rains, firstly, the rainfall data of all synoptic stations in the western and northwestern regions of Iran in the recent 33-year statistical period (years 1987-2020) had complete statistics, it was extracted. Then, all samples where rainfall was reported in half of the selected stations were separated. In the next step, the magnitude of the vertical water vapor flux was calculated using the data of the vertical flux of water vapor in the east and the north with a spatial resolution of 0.5*0.5 degrees. Then, for all the selected precipitation samples, the possibility of atmospheric rivers was checked. To calculate the magnitude of the flux, the data of the vertical flux of water vapor, including specific humidity and v and u winds from sea level pressure to 300 hpa, are used, which can be calculated in the Eulerian apparatus as follows:

$$IVT = \sqrt{\left(\frac{1}{g} \int_{1000hpa}^{300hpa} qu \, dp\right)^2 + \left(\frac{1}{g} \int_{1000hpa}^{300hpa} qv \, dp\right)^2}$$

Where: q indicates the specific humidity (grams per kilogram), u and v are the orbital and meridional components in (meters per second), g is the acceleration of gravity, and dp is the pressure difference between the two determined levels. In more general terms, it will give the sub-radical components of the vertical water vapor flux in the orbital state or eastward plus the meridian or northward vertical water vapor flux. In the next step, the precipitation samples that were associated with the atmospheric river were separated. Then, the atmospheric data related to these precipitation samples for the data of geopotential height, specific humidity, orbital and meridional wind and omega from the ncep ncar site in Sea levels pressure up to 250 hpa were received. Finally, by using visual surveys, maps of the lower troposphere (sea levels pressure up to 850 hpa) of synoptic patterns were extracted

Results and Discussion

In this research, in the period of 33 years, 76 rainfall systems with the atmospheric river have been identified leading to heavy rainfall. The result of visual examination of the sea level maps and the levels of 1000, 925 and 850 hpa showed that in the western and northwestern regions In Iran, atmospheric rivers are created in three synoptic patterns. These patterns are named as follows based on the main moisture supply system of atmospheric rivers:

- 1-Sudan low synoptic pattern
- 2- The integrated of the Mediterranean cyclone and Sudan low pattern
- 3-Mediterranean cyclone synoptic pattern

Of the total atmospheric rivers leading to heavy rainfall in the west and northwest of Iran, about 73% of it is from the Sudan low synoptic pattern, 25% of it is from the integrated synoptic pattern of two Sudan and Mediterranean low pressure systems, and only 7% of it is from the Mediterranean cyclone pattern. For this reason, in this research, examples of two low pressure patterns of Sudan and integration have been analyzed.

In the Sudan low synoptic pattern, from three to four days before the beginning of the formation of the atmospheric river, a deep ridge with northeast-southwest direction extends from the origin of in Siberian high pressure and sometimes in Tibetan high pressure towards the southern latitudes. This ridge after Passing through the land area of Pakistan and southeast Iran, it enters the Oman and Arabian seas. This pattern prevails in all the thickness of the sea levels up to 850 hpa. With the expansion of this ridge over the warm waters of the Arabian, Oman and Gulf of Aden seas, considerable moisture is advected in a anticyclonic circulation inside the Sudanese system. At higher levels, with the displacement of the Arabian subtropical high pressure to the east and its establishment on the warm waters of the Arabian and Oman seas, the Mediterranean trough has completely expanded to the southern latitudes, and with the cold advection of the sub-polar latitudes and the suitable

advection over the eastern region of the African Sahara. (Egypt, Sudan and Ethiopia) the advected moisture over the region along the southern currents of trough is transported to the northern latitudes. This moisture is strengthened again while passing over the Red Sea and the atmospheric river is formed. This considerable humidity is carried by the atmospheric river and along the southern currents of the trough on the western and northwestern regions of Iran.

In the synoptic pattern of the integration of the Mediterranean and Sudan low in the lower troposphere, the polar trough expands over the eastern Mediterranean by expanding southward. On the other hand, in tropical latitudes, the Sudan low trough expands northward over the eastern Mediterranean and western Asia and merges with the polar trough. This trough carried the moisture of the warm southern seas to the eastern coast of the Mediterranean and western Asia in a cyclonic circulation. The moisture advected from the southern latitudes is integrated with the transferred moisture from the Mediterranean Sea and the atmospheric river is formed. Finally, this huge moisture is transported by the atmospheric river and along the south-southwest currents in front of trough on the west and northwest of Iran.

Conclusion

The results of this research showed that, not all, but most of the heavy rains in the northwestern region of Iran were associated with atmospheric rivers. This research also showed that moisture, more than half of the atmospheric rivers in this region, is supplied from the warm waters of the South Seas and the low pressure of Sudan played a key role in the creation of this river. As for other atmospheric rivers, an integrated pattern of two Sudan's low pressure and the Mediterranean cyclone have provided the necessary conditions for the formation of an atmospheric river. But the atmospheric rivers resulting from the Mediterranean cyclone pattern have been short-lived and weaker.





پروہشگاہ علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

الگوهای همیدی رودخانه‌های جوی منجر به بارش‌های سنگین غرب و شمال غرب ایران

وحیده ابطی^۱، سعید جهانبخش^۲✉، هاشم رستم زاده^۳، حسن لشکری^۴

۱. دانشجوی دکتری، گروه اقلیم شناسی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: vahideh.abtahi@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، استاد، گروه اقلیم شناسی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: s_jahan@tabrizu.ac.ir

۳. استادیار، گروه اقلیم شناسی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. h_rostamzadeh@tabrizu.ac.ir

۴. استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: h-lashkari@sbu.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله:	بارش‌های سنگین یکی از ویژگی اقلیمی عنصر بارش محسوب می‌شوند که در هر اقلیمی ممکن است اتفاق بیافتند. ولی رخداد آن‌ها در اقلیم‌های خشک و نیمه خشک به دلیل فقدان زیرساخت‌های کافی و مناسب همراه با خسارت بیشتری هستند. این بارش‌ها در شرایط همیدی مختلفی رخ می‌دهند. در این پژوهش نقش رودخانه‌های جوی در شکل‌گیری بارش‌های سنگین مطالعه شده است. برای این منظور ابتدا بارش‌های سنگین ایستگاه‌های غرب و شمال غرب کشور در یک دوره ۳۳ ساله استخراج گردید. سپس سامانه‌های بارشی همراه با رودخانه جوی تفکیک شد. در گام بعد با استفاده از نقشه‌های جوی ترازهای لایه زیرین تروپوسفر الگوهای همیدی منجر به ایجاد رودخانه‌های جوی شناسایی شد. نتایج بررسی نشان دادند که رودخانه‌های جوی منجر به بارش‌های سنگین در منطقه مورد مطالعه از سه الگوی کلی تبعیت می‌کنند. دو الگوی کم فشار سودانی و الگوی ترکیبی کم فشار سودان و سیکلون مدیترانه‌ای به ترتیب بیشترین نقش را در ایجاد رودخانه‌های جوی منجر به بارش سنگین بر عهده داشته‌اند. در الگوی همیدی کم فشار سودان از دو تا سه روز قبل، زبانه گسترده‌ای از پرفشار سیبری در لایه زیرین تروپوسفر با عبور از کشورهای افغانستان و پاکستان و بخش شرقی ایران بر روی آب‌های گرم دریاهای عمان، عرب و خلیج عدن گسترش می‌یابد. این زبانه با گردش و اچرخندی رطوبت این دریاها را به درون سامانه سودانی فرارفت می‌کند. با تعمیق ناوه مدیترانه‌ای بر روی غرب آسیا و شمال شرق آفریقا این رطوبت در امتداد جریانات جنوبی جلوی ناوه و با عبور از روی آب‌های دریای سرخ تقویت شده و رودخانه جوی شکل می‌گیرد. در الگوی ادغامی با گسترش زبانه کم فشار سودان به بخش شرقی مدیترانه و غرب آسیا رطوبت دریاهای گرم جنوبی بر روی این منطقه فرارفت شده و با رطوبت انتقالی از روی مدیترانه تقویت گردیده و رودخانه جوی شکل می‌گیرد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۱۲	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۱۶	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۲۴	
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۳/۳۱	
کلیدواژه‌ها:	
رودخانه جوی،	
کم فشار سودانی،	
سیکلون مدیترانه،	
غرب و شمال غرب ایران.	

استناد: ابطی، وحیده؛ جهانبخش، سعید؛ و رستم زاده، هاشم؛ لشکری، حسن (۱۴۰۴). الگوهای همیدی رودخانه‌های جوی منجر به بارش‌های سنگین غرب و شمال غرب ایران. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۹ (۹۱)، ۴۱۱-۴۳۲.



<http://doi.org10.22034/gp.2024.57342.3165>

© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه تبریز.

مقدمه

رودخانه‌های جوی (ARS)، سیستم‌های سینوپتیکی هستند که توسط رشته‌های انتقال بخار آب شدید در تروپوسفر پایینی مشخص می‌شوند. نتایج مطالعات قبلی نشان داده اند که رخداد رودخانه‌های جوی به شدت با انتقال شدید بخار آب توسط جت سطح پایین پیش جبهه ای واقع در سیستم‌های سیکلونی در ارتفاعات متوسط به بالا مرتبط است (سودمن و استول، ۲۰۱۳؛ اکهارت و همکاران، ۲۰۰۴). مشخص شده است که رودخانه‌های جوی مسئول ۹۰٪ از انتقال بخار آب در قطب، عرض‌های جغرافیایی متوسط به بالا، به ویژه در شمال غربی اقیانوس آرام و اقیانوس اطلس شمالی هستند. در حالی که رخداد آن‌ها فقط ۱۰٪ از کل پهنه را در یک عرض جغرافیایی معین پوشش می‌دهد (نیول و همکاران، ۱۹۹۲؛ ژو و نیول، ۱۹۹۴؛ رالف و همکاران، ۲۰۰۴؛ ۲۰۰۵). رودخانه‌های جوی همچنین نقش مهمی در سهم جهانی رطوبت ایفا می‌کنند، زیرا به دلیل فرارفت قوی بخار آب از منطقه منبع اصلی رطوبت در مناطق نیمه گرمسیری می شود (نیومن و همکاران، ۲۰۱۲). مطالعات قبلی به طور گسترده در مورد تاریخ رخداد رودخانه‌های جوی در غرب آمریکای شمالی بحث کرده‌اند (نیمان و همکاران، ۲۰۰۳؛ دینگر و همکاران، ۲۰۱۱؛ لاورز و ویلارینی، ۲۰۱۵؛ ماهونی و همکاران، ۲۰۱۶؛ نایاک و همکاران، ۲۰۱۶؛ دبج و همکاران، ۲۰۱۷؛ میلر و همکاران، ۲۰۱۸). همچنین رودخانه‌های جوی که از اقیانوس اطلس سرچشمه می‌گیرند (استول و همکاران، ۲۰۰۸؛ لاورز و همکاران، ۲۰۱۴؛ راموس و همکاران، ۲۰۱۸؛ اکبری و همکاران، ۲۰۱۹). با این حال، تحقیقات انجام شده قبلی رودخانه‌های جوی در قاره آسیا کمتر مورد توجه قرار گرفته و نقش آن در رویدادهای بارش شدید در آسیا هنوز به اندازه کافی درک نشده است. چنین کمبود مطالعات احتمالاً به این دلیل است که رودخانه‌های جوی در مناطق مسیر طوفان‌های این قاره خارج از منطقه حاره معمولاً با طوفان‌های حاره ای عبوری مرتبط هستند (کاسپی و اشنايدر، ۲۰۱۳). لاکشمی و ستیانارایانا (۲۰۱۹) به نقش رودخانه‌های جوی در رخداد بارندگی‌های شدید منطقه چنی (بخشی از جنوب شرق هند) در سال ۲۰۱۵ پرداختند. آنها با استفاده از داده دوباره واکاوی شده، موضوع را مورد بررسی قرار دادند. آنها نشان دادند که از بین این داده ها، داده‌های دوباره واکاوی شده MERRA رودخانه‌های جوی را بهتر از داده‌های سایر پایگاه ها نمایان می سازند. نتایج این مطالعه نشان داد

¹ - Atmospheric Rivers

² - Sodemann and Stohl

³ - Eckhardt et al

⁴ - Newell et al

⁵ - Zhu and Newell

⁶ - Ralph et al

⁷ - Newell et al

⁸ - Neiman et al

⁹ - Dettinger et al

¹ - Lavers and Villarini 0

¹ - Mahoney et al 1

¹ - Nayak et al 2

¹ - Debbage et al 3

¹ - Miller et al 4

¹ - Stohl et al 5

¹ - Lavers et al 6

¹ - Ramos et al 7

¹ - Akbary et al 8

¹ - Kaspi and Schneider 9

² - Lakshmi and Satyanarayanan

که در دوره مطالعاتی (۱۹۷۹-۲۰۱۵) رابطه بین شار قائم بخار آب (IVT) و بارندگی های شدید در سطح اطمینان ۹۹/۵٪ معنی دار بوده است. این مطالعه همچنین نشان داد که رودخانه های جوی عامل اصلی بیش از ۶۰٪ بارش شدید در چین، ژاپن و شبه جزیره کره بوده است (لیانگ و یانگ، ۲۰۲۱؛ کیم و همکاران، ۲۰۲۰؛ پارک و همکاران، ۲۰۲۳).

سلیمی و سلیقه (۱۳۹۵) به بررسی حمل و انتقال بخار آب از طریق رودخانه های جوی در ایران پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که سالانه به طور میانگین، حدود دوازده رودخانه های جوی در روی ایران تشکیل می شوند که رطوبت بخشی از بارش های آن را تأمین می کنند. نتایج بررسی ها نشان داده اند که رودبادهای، عامل به وجودآورنده این پدیده هستند. شادمانی (۱۳۹۵) در مطالعه ای تلاش کرده است تا با استفاده از یک الگوریتم مشابه، وجود یا عدم وجود رودخانه های جوی و تأثیر آن ها را بر روی دو مورد از بارندگی های شدید منجر به سیلاب در غرب و جنوب کشور مورد بررسی قرار دهد. نتایج نشان داده اند که طولانی ترین مسیر حاصل در مورد بارش های سیل آسا در غرب کشور ساعت ۰۶ گرینویچ ۵ آبان (۲۷ اکتبر) یک روز قبل از شروع بارندگی ها در این منطقه بوده است که مسیری به بلندی ۲۱ نقطه در راستای طول جغرافیایی (در حدود ۱۰ درجه طول جغرافیایی) به صورت مستمر حاصل شده است. لشکری و اسفندیاری (۱۳۹۸) شناسایی و تحلیل همدید بالاترین بارش های مرتبط با رودخانه های جوی در ایران را مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعات نشان داده اند که دریاهای گرم جنوبی به طور مستقیم و غیرمستقیم منشأ عمده رودخانه های جوی مرتبط با بارش های ابرسنگین بوده اند. سپندار و امیدوار (۱۴۰۰) با واکاوی ارتباط بین بارش های سنگین جنوب و جنوب غرب ایران را با رودخانه های جوی نشان داده اند که منبع اصلی رطوبت بارندگی در این مناطق، جنوب دریای سرخ و خلیج عدن می باشد. البته خروجی نقشه ها نشان می دهد که دریای عرب نیز در تأمین رطوبت این بارش ها بی تأثیر نبوده است.

لشکری و اسفندیاری (۱۴۰۰) به بررسی الگوهای همدیدی و ترمودینامیکی رودخانه های جوی منجر به بارش های سنگین دوره سرد ایران پرداختند و در یک جمع بندی کلی نشان داده اند که در تمام الگوها، کم فشار سودان نقش غیر قابل انکاری در شکل گیری رودخانه های جوی و ایجاد بارش های سنگین داشته است.

منطقه غرب و شمال غرب به دلیل دارا بودن کوهستان ها، ناحیه مناسبی برای تشدید و گسترش بارندگی و گاهی جاری شدن سیل می باشد. سیل های رخ داده در سال های اخیر در این مناطق از جمله سیل سال ۱۳۹۶ شمال غرب و یا سیل سال ۱۳۹۸ در غرب کشور گویای این مطلب است. بر این اساس، تاکنون مطالعات زیادی درمورد بارش های رخ داده در این منطقه صورت گرفته اند که هر یک از زوایای مختلف به مطالعه این موضوع مهم پرداخته اند.

نکته قابل تامل، این است که هر چند رودخانه های جوی، یکی از مهمترین عوامل در ایجاد بارش های سیل آسا می باشند، اما متأسفانه اکثر مطالعات در مورد رودخانه های جوی در شرق اقیانوس آرام و منطقه غربی آمریکای شمالی انجام شده و با اینکه کشور ما جز مناطق کم آب جهان محسوب می شود و تجزیه و تحلیل مکانی - زمانی این پدیده می تواند تأثیرات مهمی بر بارش های سیلابی در منطقه داشته باشد، اما در زمره پژوهش هایی است که در سال های اخیر، مطالعه ای کافی در زمینه آن صورت نگرفته است. بنابراین، با توجه به نقش رودخانه های جوی در ایجاد بارش های سنگین در مناطق مختلف جهان و همچنین کشور ایران و همچنین اهمیت و ضرورت مطالعه این بارش ها در غرب و شمال غرب کشور، در این مطالعه نقش این رودخانه ها در ایجاد بارش های منجر به سیلاب در منطقه مورد مطالعه بررسی شده است. بنابراین، هدف اصلی این پژوهش، بررسی وجود رودخانه های جوی به عنوان منبع رطوبتی برای بارش های سیل آسای رخ داده در غرب و شمال غرب کشور می باشد.

¹ - Liang and Yong

² - Kim et al

³ - Park et al

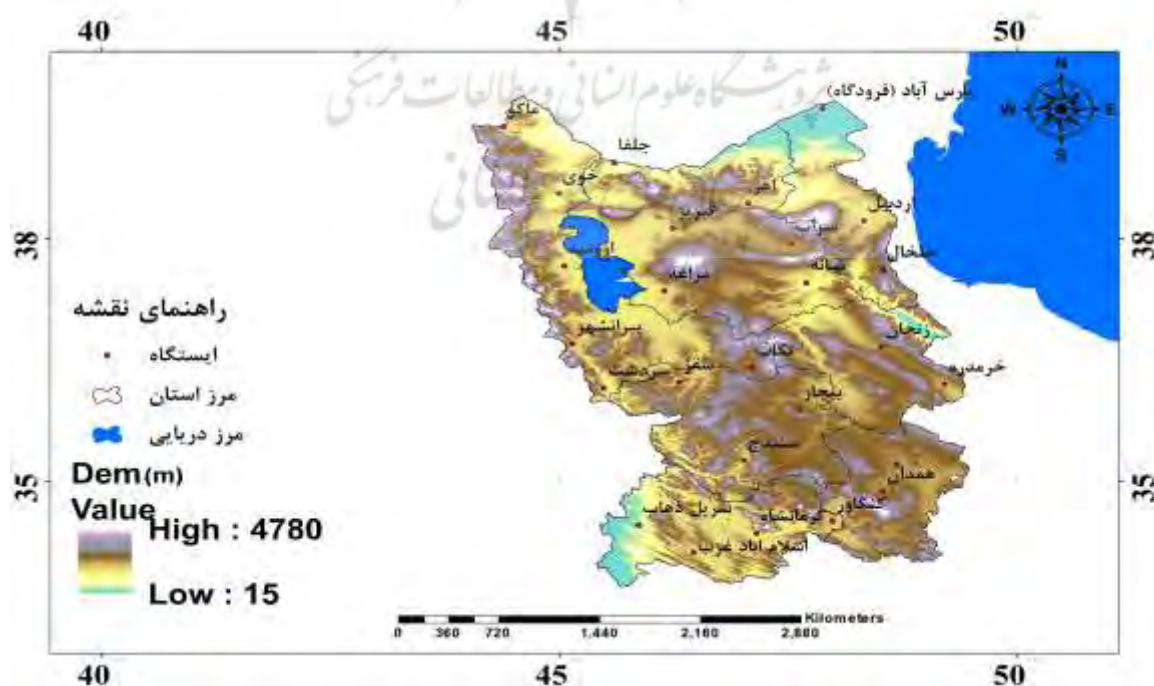
با وجود این که رودخانه‌های جوی به دلیل حمل مقادیر قابل توجهی از رطوبت از دریاها و گرم و تبدیل آن به بارش‌های سنگین نقش مهمی در تامین آب مورد نیاز کشورهای خشکی مانند ایران را دارند. ولی به دلیل محیط جغرافیایی نامناسب این کشورها از جمله ضریب نفوذ پذیری کم، پوشش گیاهی اندک، تغییرات کاربری‌های نامناسب و تخریب خاک، بخش قابل توجهی از این بارش‌ها بصورت سیلاب‌های مخرب از دسترس خارج می‌شود. این سیلاب‌ها به دلیل فقدان زیرساخت‌های مناسب همه ساله خسارت‌های غیر قابل جبرانی به منابع انسانی و محیط زیست و زیرساخت‌ها و سازه‌های شهری و روستایی وارد می‌نماید. منطقه غرب و شمال غرب کشور یکی از قطب‌های کشاورزی و دامپروری کشور می‌باشند. رودخانه‌های جوی در این منطقه ضمن این که می‌تواند حجم قابل توجهی از آب مورد نیاز منطقه را تامین کند، ولی بارش‌های شدید، به دلیل توپوگرافی منطقه و پوشش گیاهی تخریب شده در چند دهه اخیر می‌تواند خسارت بار باشد. شناسایی و معرفی الگوهای همدیدی منجر به ایجاد رودخانه‌های جوی، منشاء و منابع رطوبتی آنها، کمک شایانی به ارتقا پیش بینی‌ها و صدور پیش آگاهی‌های لازم برای کاهش آسیب‌های خسارت بار آن خواهد نمود.

داده‌ها و روش‌ها

در پژوهش حاضر، برای بررسی رودخانه‌های جوی از رویکرد محیطی به گردشی استفاده شد. به منظور نیل به اهداف پژوهش مراحل زیر انجام شده است:

۱- ایستگاه‌های همدیدی منطقه مطالعاتی شناسایی و استخراج گردید.

۲- تمام ایستگاه‌هایی که دارای ۳۳ سال آمار (دوره آماری ۱۹۸۷-۲۰۲۰) ساله بوده اند تفکیک گردید. شکل ۱ پراکنش جغرافیایی ایستگاه‌های منتخب را نشان می‌دهد. سرزمین مورد مطالعه بین عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۳۳ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۴ درجه و ۳۹ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۲۱ دقیقه قرار دارد. از نظر تقسیمات اداری، منطقه مورد مطالعه شامل ۷ استان (اردبیل، آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، زنجان، همدان، کردستان، کرمانشاه) است. که شامل ۲۶ ایستگاه سینوپتیک می‌باشد، مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول (۱) و مختصات جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در شکل (۱) ارائه شده است.



شکل (۱). نقشه ارتفاعی و موقعیت ایستگاه‌های غرب و شمال غرب کشور

۳- بارش روزانه این ایستگاه ها از داده های سازمان هواشناسی کشور دریافت شد.

۴- نمونه های بارشی یا سامانه های بارشی بر اساس معیارهای زیر انتخاب گردید: الف) در نیمی از ایستگاه های انتخابی در منطقه بارش ثبت شده باشد. ب) حداقل در یکی از ایستگاه ها بارش بیش از ۵ میلی متر گزارش شده باشد (لشکری و همکاران، ۱۳۹۸؛ اسفندیاری و لشکری، ۱۴۰۰).

۵- بر اساس معیارهای فوق تمام سامانه های بارشی رخ داده در طول دوره آماری ۳۳ ساله استخراج گردید.

جدول (۱). مشخصات ایستگاه های منطقه مورد مطالعه

ردیف	شهر	طول جغرافیایی		عرض جغرافیایی		ارتفاع از سطح دریا
		درجه	دقیقه	درجه	دقیقه	
۱	اردبیل	۴۸	۳۳	۳۷	۲۴	۱۳۳۵٫۲
۲	خوی	۴۴	۵۷	۳۸	۳۳	۱۱۳۰
۳	ارومیه	۴۵	۴	۳۷	۳۳	۱۳۳۲
۴	اهر	۴۷	۴	۳۸	۲۸	۱۳۴۱
۵	تبریز	۴۶	۳۰	۳۸	۸	۱۳۵۱
۶	مراغه	۴۶	۱۵	۳۷	۳۵	۱۳۴۴
۷	میانه	۴۷	۵۵	۳۷	۴۵	۱۱۰
۸	پیرانشهر	۴۵	۱۴	۳۶	۳۴	۱۵۰۲
۹	تکاب	۴۷	۱۱	۳۶	۴۰	۱۷۶۵
۱۰	سقز	۴۶	۲۷	۳۶	۲۴	۱۴۷۶
۱۱	بیجار	۴۷	۵۲	۳۵	۳۴	۱۹۴۰
۱۲	همدان	۴۸	۵۲	۳۴	۵۴	۱۷۴۱
۱۳	کرمانشاه	۴۷	۶	۳۴	۳۱	۱۴۰۰
۱۴	اسلام آباد غرب	۴۶	۴۷	۳۴	۱۲	۱۳۴۸٫۸
۱۵	پارس آباد	۴۷	۵۰	۳۹	۵۰	۷۷٫۸
۱۶	جلفا	۴۵	۶۰	۳۸	۳۹	۷۳۶٫۲
۱۷	خرم دره	۴۹	۲۱	۳۶	۲۰	۱۵۷۵
۱۸	زنجان	۴۸	۵۲	۳۶	۵۲	۱۶۵۹٫۴
۱۹	سراب	۴۷	۵۳	۳۷	۴۵	۱۶۸۲
۲۰	سرپل ذهاب	۴۵	۴۳	۳۴	۴۵	۵۴۵
۲۱	سردشت	۴۵	۴۹	۳۶	۱۵	۱۵۵۶٫۸
۲۲	سنندج	۴۷	۱	۳۵	۲۵	۱۳۷۳٫۴
۲۳	ماکو	۴۴	۳۹	۳۹	۳۸	۱۴۱۱٫۲

۲۴	همدان (نوزه)	۴۸	۵۳	۳۵	۲۰	۱۶۷۹,۷
۲۵	خلخال	۴۸	۵۴	۳۷	۱۶	۱۷۹۷,۴
۲۶	کنگاور	۴۷	۳۲	۳۴	۵۰	۱۴۶۸

۶- بر اساس صدک ۸۵ ام مجموع بارش سامانه‌های فوق (به تفکیک طول دوره فعالیت سامانه) بارش‌های سنگین دوره آماری استخراج گردید.

۷- به طور کلی، دو روش اصلی در استفاده از داده‌ها برای تعیین رودخانه‌های جوی وجود دارد (جیمینو و همکاران، ۲۰۱۴). یک رویکرد استفاده از مجموع بخار آب ستون جو (IWV) که در این روش با استفاده از محصولات ماهواره ای (مانند رالف و همکاران، ۲۰۰۴) و یا محصولات دوباره پردازش شده و یا با استفاده از مدل‌ها (مانند دتینگر و همکاران، ۲۰۱۱) این اندازه‌گیری صورت می‌گیرد و با قرار دادن یک آستانه برای آن محاسبه انجام می‌شود. مورد دیگر شامل روش‌هایی هستند که جریان قائم بخار آب (IVT) را بین ۱۰۰۰ هکتوپاسکال و ۳۰۰ هکتوپاسکال محاسبه می‌کنند (مانند ژو و نیوول، ۱۹۹۸) و سپس با قرار دادن آستانه ای برای IVT این رودخانه‌ها را شناسایی می‌کنند. گروه سوم به استفاده و ترکیب هر دو پارامتر جریان قائم بخار آب و مجموع بخار آب ستون جو می‌پردازند (مانند برایان و همکاران، ۲۰۱۶). رویکرد دوم دارای کاربرد بیشتری بوده و از مؤلفه‌های افقی باد بهره می‌گیرد. متغیر جریان قائم بخار آب ارتباط مستقیمی با بارش‌های وابسته به کوهستان و نواحی پیچیده از نظر توپوگرافی داشته (نیمن و همکاران، ۲۰۰۸) و درک بهتری از نقش رودخانه‌های جوی در چرخه آب جهانی به دست می‌دهد (ژو و نیوول، ۱۹۹۸). از دیگر مزایای این رویکرد نشان دادن دقیق نقش اصلی رودخانه‌های جوی به عنوان انتقال دهنده رطوبت می‌باشد. در این پژوهش از روش جریان قائم بخار آب که در دستگاه اویلری به شکل زیر قابل محاسبه است استفاده شد:

$$IVT = \sqrt{\left(\frac{1}{g} \int_{1000hpa}^{300hpa} qu dp\right)^2 + \left(\frac{1}{g} \int_{1000hpa}^{300hpa} qv dp\right)^2} \quad (1)$$

که q نشان‌دهنده نم و یژه (گرم بر کیلوگرم) u و v مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری برحسب (متر بر ثانیه) g شتاب گرانی و dp اختلاف فشار میان دو سطح تعیین شده است. به بیان کلی‌تر مؤلفه‌های زیر رادیکال شار قائم بخار آب در حالت مداری یا شرق سو بعلاوه شار قائم بخار آب نصف‌النهاری یا شمال سو را به دست خواهد داد.

در این قسمت داده‌های نم و یژه و باد مداری و نصف‌النهاری برای ترازهای ۱۰۰۰ تا ۳۰۰ هکتوپاسکال از پایگاه داده‌های میان مدت اروپایی (ECMWF) دریافت و با انتگرال‌گیری قائم از آن در دو مؤلفه شار مداری و شار نصف‌النهاری رطوبت حجم رطوبت فرارفت شده برای ضخامت جو بین تراز ۱۰۰۰ تا ۳۰۰ هکتوپاسکال محاسبه شد. از آنجایی که میزان آستانه در تعیین رودخانه‌های جوی با توجه به موقعیت مکانی و زمانی متفاوت است. در نتیجه برای هر ماه آستانه ای جداگانه (متفاوتی) بین ۲۰۰ تا ۲۵۰ کیلوگرم در کیلوگرم انتخاب شده است.

¹ - Gimeno et al

² - Ralph et al

³ - Dettinger et al

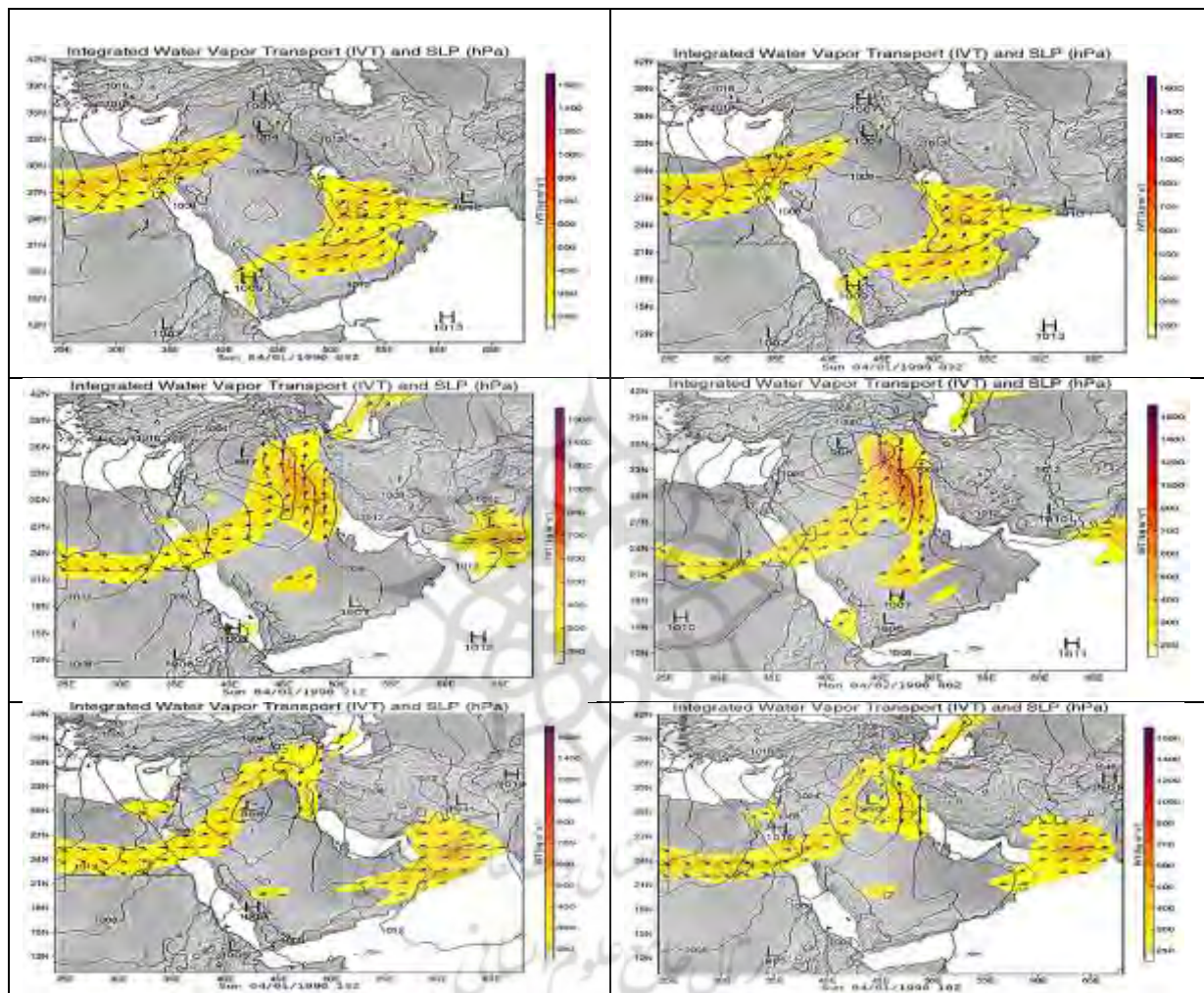
⁴ - Zhu and Newell

⁵ - Brayan et al

⁶ - Neiman et al

⁷ - Zhu and Newell

۸- با استفاده از روش ذکر شده برای تمام سامانه های بارشی با بارش سنگین رودخانه جوی با فواصل زمانی ۳ ساعته محاسبه و ترسیم گردید. شکل ۲ نمونه ای از این رودخانه های جوی استخراج شده را نشان می دهد. بنابراین سامانه هایی در ادامه روند تحقیق باقی ماندند که با رودخانه جوی همراه بوده است. بنابراین تعداد زیادی از سامانه های بارش سنگین از روند مطالعه خارج گردیدند. به عبارت دیگر نمونه های مطالعه و تحلیل شده بیانگر همه سامانه های بارشی سنگین نمی باشد. همچنان که بر اساس تحقیقات (اسفندیاری و همکاران، ۱۴۰۰) همه رودخانه های جوی منجر به بارش نشده اند.



شکل (۲). نمونه ای از رودخانه های جوی رسم شده با فواصل زمانی سه ساعته برای سامانه های همراه با رودخانه جوی

۹- سپس نمونه های بارشی که با رودخانه جوی همراه بودند تفکیک شدند. جدول ۱ سامانه های بارشی همراه با رودخانه جوی را به تفکیک تعداد روزهای دوام هر سامانه را نشان می دهد. بنابراین در این تحقیق ۷۵ سامانه بارشی حداقل در یک بازه زمانی سه ساعته با رودخانه جوی همراه بوده است.

جدول (۲). سامانه‌های بارشی همراه با رودخانه جوی در طول دوره آماری

ردیف	مدت دوام	تعداد سامانه
۱	یک روزه	۳۶
۲	دو روزه	۳۳
۳	سه روزه	۴
۴	چهار روزه	۲
۵	جمع کل	۷۵

۱۰-مراجعه به تارنمای مرکز ملی پیش بینی محیطی/علوم جو (NCEP/NCAR) داده‌های روزانه فشار سطح زمین (SLP)، ارتفاع ژئوپتانسیل (HGT) تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال، مولفه های مداری (Uwnd) و نصف النهاری باد (Vwnd)، نم ویزه در تلاقی $2/5 \times 2/5$ درجه ای برای ترازهای دریا و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال استخراج شد و با استفاده از نرم افزار GRADS، نقشه های مربوط ترسیم گردید.

۸-با استفاده از نرم افزار GRADS نقشه‌های ترازهای دریا و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال ترسیم شده و بر اساس بررسی چشمی این نقشه ها، الگوهای همدیدی استخراج گردید.

۹- با بررسی چشمی چندین باره نقشه‌های دو تراز فوق سه الگوی همدیدی بشرح زیر شناسایی گردید: الف) الگوی همدیدی کم فشار سودان، ب) الگوی همدیدی ادغامی کم فشار سودان، و مدیترانه ج) الگوی همدیدی سیکلون مدیترانه ای.

۱۰-در نهایت برای نماینده هر الگوی همدیدی نقشه‌های ترکیبی نم ویزه، جریان و ارتفاع ژئوپتانسیل و امگا و رودخانه جوی مربوط به همان الگو با استفاده از داده‌های تراز های ۱۰۰۰، ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال با استفاده از داده‌های میان مدت اروپایی با توان تفکیک ۰,۲۵ در ۰,۲۵ درجه ترسیم شده و تحلیل گردیده است.

نتایج و بحث

در این پژوهش ۷۵ سامانه بارشی مرتبط با رودخانه‌های جوی در طول دوره آماری ۳۳ ساله (۱۹۸۷-۲۰۲۰) شناسایی شد. با بررسی چشمی چندین باره نقشه‌های ترکیبی فشار، جریان، نم ویزه ترازهای دریا و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال الگوهای همدیدی ایجاد کننده رودخانه‌های جوی استخراج گردید. از این تعداد ۳۴ سامانه از الگوی کم فشار سودانی، ۳۰ سامانه از الگوی ترکیبی کم فشار سودان و سیکلون مدیترانه ای و ۱۱ سامانه از الگوی سیکلون مدیترانه ای تبعیت نموده اند. در این جا نمونه ای از هر الگو به نمایندگی آن الگو به تفصیل تحلیل شده است. برای انتخاب نماینده هر الگو نمونه ای که دارای رودخانه جوی ایزوله شده تر و در بازه‌های زمانی بیشتری با رودخانه جوی همراه بوده است، برای تحلیل همدید انتخاب گردید. چرا که در برخی نمونه ها سامانه فقط در دو یا سه بازه سه ساعته دارای رودخانه بوده و در سایر اوقات فعالیت سامانه فاقد رودخانه جوی بوده است. با توجه به تعداد کمتر نمونه‌های متعلق به الگوی مدیترانه ای و جهت اختصار فقط نمونه هایی از دو الگوی کم فشار سودانی و الگوی ترکیبی کم فشار سودان و سیکلون مدیترانه ای تحلیل شده است.

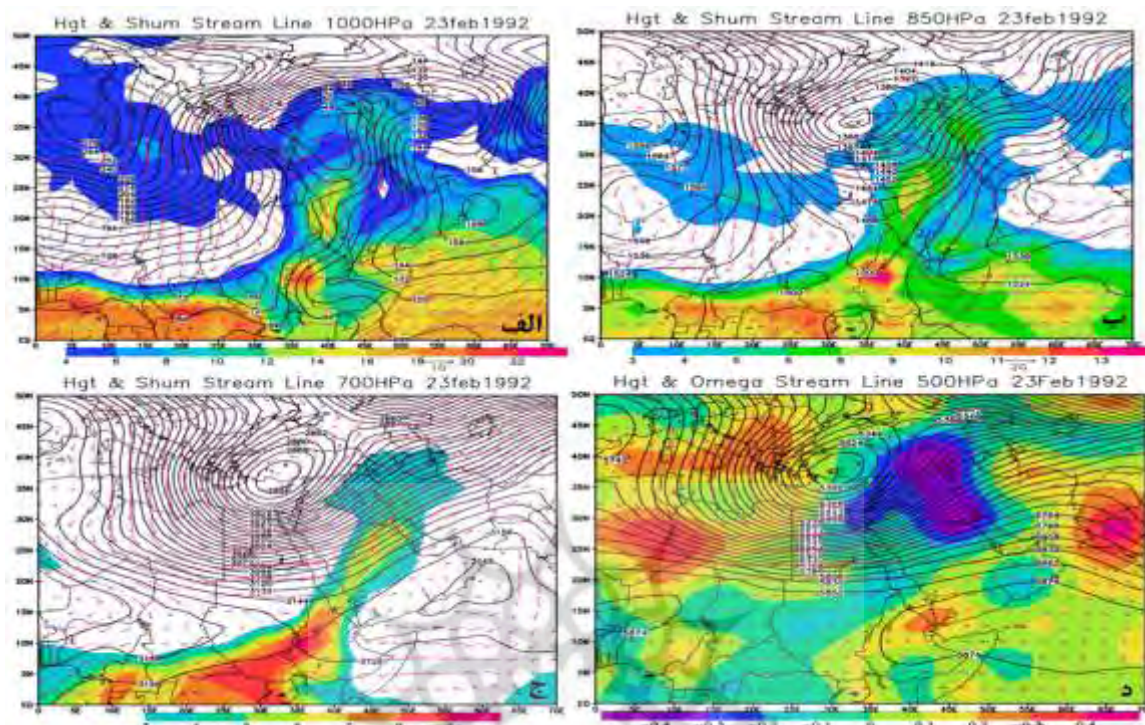
الگوی کم فشار سودان

الگوی کم فشار سودان غالب ترین سامانه در شکل دهی الگوی همدیدی در ایجاد رودخانه های جوی موثر بر بارش های منطقه شمال غرب می باشد. نتایج نشان می دهند که بیشتر به اتفاق رودخانه های جوی که از منابع رطوبتی دریاهای گرم جنوبی تغذیه رطوبتی شده اند از این الگوی همدیدی پیروی کرده، یا به این الگو شباهت زیادی دارند. همان طور که دیده می شود در تراز زیرین تروپوسفر واچرخند جنب حاره ای آفریقا با استقرار بر روی بخش شمالی صحرای آفریقا در محدوده کشورهای لیبی و الجزایر تمام پهنه صحرای آفریقا تا بخش میانی و غربی اروپا را در بر گرفته است. با گسترش شمالی - جنوبی زبانه های این واچرخند، جریان های شمالی دامنه شرقی این واچرخند در گردشی واچرخندی هوای سرد جنب قطبی را بر روی شمال غرب صحرا در محدوده کشورهای مصر، لیبی و سودان فرارفت نموده است. تندبادهای سرد تا جنوب سودان نیز گسترش دارند. این جریان ها در تمام ضخامت جو در لایه زیرین و میانی تروپوسفر حاکم هستند. به این ترتیب جریان های تقریباً نصف النهاری با فرارفت ورتی سیتی مناسب بر روی شمال شرق صحرا و پشت سامانه حرارتی سودان گرادیان دمایی و به تبع گرادیان فشاری شدیدی را بر روی منطقه ایجاد کرده اند. در نقطه مقابل، زبانه گسترده ای با راستایی شمال شرقی - جنوب غربی از پرفشار سبیری با عبور از روی کشورهای افغانستان، پاکستان و جنوب شرق ایران و گاه نیمه شرقی ایران بر روی آب های گرم دریاهای عمان و عرب امتداد یافته است. گاه این زبانه همانند آنچه در این نمونه دیده می شود زبانه پرفشار تا شاخ آفریقا امتداد می یابد. این زبانه الگوی غالب در تمام نمونه های منجر به بارش رودخانه های جوی بر روی مناطق شمال غرب کشور، دریاهای گرم عرب و عمان مشاهده می شود. این زبانه پرفشار از سه تا چهار روز قبل از شروع شکل گیری رودخانه جوی از روی سودان و دریای سرخ بر روی آب های گرم دریاهای عمان و عرب و در ادامه تا خلیج عدن گسترش می یابد. با گسترش این زبانه بر روی آب های گرم با توجه به ماهیت سرد هوای فرارفت شده بوسیله این زبانه ضمن این که با ریزش این هوای سرد گرادیان دمایی بر روی منطقه تشدید می شود با عبور طولانی از روی این پهنه آبی، رطوبت قابل توجهی در یک گردش واچرخندی و جریان واگرا بر روی خشکی های شاخ آفریقا و شبه جزیره عربستان فرارفت می شود. هسته های رطوبتی شکل گرفته در شمال غرب اتیوپی و مرکز دریای سرخ بیانگر این فرارفت رطوبتی از روی دریاهای گرم عرب و عمان می باشند. فرارفت سرد جنب قطبی به پشت سامانه سودانی و فرارفت گرم و مرطوب به جلو سامانه سودانی گرادیان دمایی و فشاری شدیدی در میانه شبه جزیره عربستان و غرب ایران ایجاد کرده است. تندبادهای ضلع شرقی زبانه کم فشار سودان بر روی شرق عربستان و غرب ایران بیانگر این گرادیان دمایی می باشند.

همان طور که بر روی نقشه تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال نیز دیده می شود (شکل ۳ الف)، ناوه وارونه ای در امتداد سامانه سودانی با راستایی جنوبی - شمالی پس از عبور از میانه دریای سرخ تمام پهنه غرب ایران تا مدیترانه شرقی را در بر گرفته است. این ناوه وارون شرایط بسیار مناسبی را برای فرارفت رطوبت آب های گرم جنوبی بر روی منطقه غربی و شمال غربی ایران و زمینه لازم برای شکل گیری رودخانه جوی عمیق فراهم نموده است.

الگوی حاکم در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال به عنوان نماینده لایه مرزی شباهت زیادی با الگوی تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال دارد. همچنان با گسترش شمال سوی زبانه واچرخند آفریقایی فرارفت سرد عرض های جنب قطبی بوسیله جریان های جنوب سوی ضلع شرقی واچرخند و گردشی واچرخندی بر روی منطقه گرم شمال شرق آفریقا تداوم دارد. در امتداد این جریان ناوه عمیقی در بخش شرقی این واچرخند شکل گرفته است که دامنه جنوبی این ناوه تا جنوب کشور سودان امتداد یافته است. جریان های نصف النهاری پشت ناوه بخوبی بیانگر فرارفت ورتی سیتی بر روی منطقه و تشدید گرادیان فشاری بر روی این منطقه است. در مقابل بر روی دریاهای گرم عرب و عمان همچنان زبانه واچرخندی گسترش یافته از روی سامانه پرفشار سبیری حاکمیت دارد. جریان های شمال شرق - شرقی حاکم بر روی دریاهای عمان و عرب در گردشی واچرخندی رطوبت این دریاها را به جلو ناوه شرقی مدیترانه فرارفت نموده است. همچنان هسته های مرطوبی با بزرگی ۱۰ تا ۱۲ گرم بر کیلوگرم بر روی اتیوپی و دریای سرخ بیانگر

این فرارفت رطوبتی قوی در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال می باشد. همچنان که دیده می شود این رطوبت بوسیله جریان‌های جنوبی جلو ناوه بر روی منطقه مطالعاتی فرارفت شده است (شکل ۳ ب).

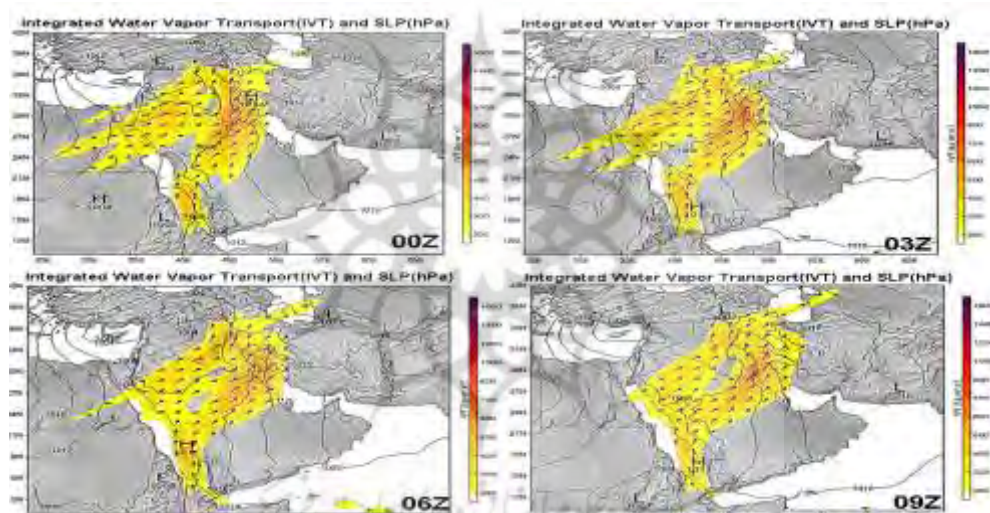


شکل (۳). ارتفاع ژئوپتانسیل (کانتور)، میدان باد (بردار) و رطوبت (سایه‌دار) ترازهای ۱۰۰۰ (الف)، ۸۵۰ (ب)، ۷۰۰ (ج) و امگای تراز ۵۰۰ (د) هکتوپاسکال روز ۲۳ فوریه ۱۹۹۲. منبع: نگارندگان

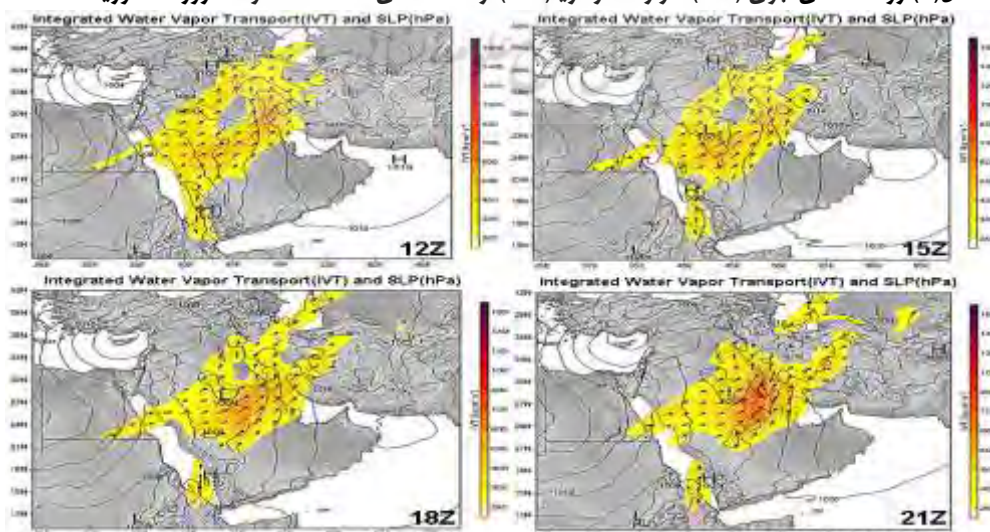
در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال با دور شدن از تاثیر تابش‌های زمینی و اچرخند عربستان به صورت سلول مستقلى در غرب شبه جزيره عربستان و دریاى عمان ظاهر شده است. این الگوی استقرار و اچرخند عربستان الگوی مناسبی برای گسترش جنوب سوی ناوه مدیترانه ای می باشد. با استقرار و اچرخند عربستان بر روی دریاهای عمان و عرب و گردش و اچرخندی ایجاد شده بوسیله این سلول و اچرخندی هوای گرم و مرطوب به جلو ناوه فرارفت شده و انرژی ترمودینامیکی لازم را برای تشدید ناپایداری ها جلوی ناوه فراهم می کند. در عین حال با گرمای بی دررو حاصل از فرونشینی در درون این سامانه گسترده پتانسیل مناسبی برای رطوبت پذیری جریان‌های و اچرخندی در ترازهای زیرین تروپوسفر بر روی دریاهای عمان و عرب فراهم می شود. کانال رطوبتی ایجاد شده در بخش شرقی ناوه فرارفت رطوبت عرض‌های حاره ای را بوسیله جریان‌های جنوبی جلو ناوه بر روی منطقه و زمینه لازم برای شکل گیری رودخانه جوی با منشاء آب‌های گرم جنوبی فراهم شده است (شکل ۳ ج).

همان طور که ملاحظه شد در تمام ضخامت ترازهای زیرین تا میانی تروپوسفر با توجه به الگوی هم‌دیدنی مناسب رطوبت دریاهای گرم جنوبی بر روی منطقه غرب و شمال غرب ایران فرارفت شده است. این حجم فراوان از رطوبت فرارفت شده تبدیل به رودخانه ای از رطوبت در امتدادی جنوب غربی شمال شرقی در تمام پهنه غرب ایران تا شرق مدیترانه شده است. شکل A تا D نمونه هایی از رودخانه‌های جوی شکل گرفته در مقاطع زمانی مختلف در روز بارشی اول را نشان می دهد. شکل ها نشان می دهند که رودخانه جوی از ساعت ۰۰ گرینویچ با عدد پایه ۲۵۰ کیلوگرم متر بر ثانیه با دو منشاء از روی دریاهای سرخ و غرب و جنوب مصر شکل گرفته و پهنه آن محدوده مرکزی عربستان تا ساحل شرقی دریای مدیترانه را در بر داشته و در ادامه تا جنوب استان‌های آذربایجان نیز امتداد یافته است. در ساعت‌های ۰۳ و ۰۶ به وقت گرینویچ رودخانه جوی تقویت شده و تا بخشی از شمال غرب ایران را در بر گرفته است. رودخانه جوی در ساعت ۰۹ به اوج فعالیت خود رسیده و بخش عمده ای از

استان های شمال غرب در سیطره این رودخانه قرار گرفته اند. با این همه هسته پر رطوبت رودخانه بر روی جنوب غرب ایران و استان خوزستان قرار دارد. مقدار رطوبت تزریق شده بر روی خوزستان در ساعاتی از روز به بیش از ۷۰۰ تا ۸۰۰ کیلوگرم متر بر ثانیه نیز رسیده است. از ساعت ۰۹ بتدریج رودخانه جوی قدری تضعیف گردیده و به سمت شرق جابجا شده است. به طوری که در ساعت ۲۱ تقریباً به محدوده جنوب غربی ایران محدود می شود (شکل ۵). این رطوبت فراوان فرارفت شده بر روی منطقه نیازمند وجود جریان های بالا سوی قوی برای ایجاد میعان و رشد ابرهای همرفتی قوی می باشد. همان طور که ملاحظه شد در تمام ترازهای جوی مرکز کم ارتفاع بریده ای با هسته سرد به موازات شمال غرب ایران (استان های شمال غربی) قرار دارد. این مرکز کم ارتفاع قوی ضمن ایجاد ناوه ای عمیق در غرب آسیا گرادیان ارتفاعی شدیدی را در غرب ایران ایجاد نموده است. این پدیده در تمام ترازهای ارتفاعی در غرب و شمال غرب ایران مشاهده می شود. شکل ۳ (د) نقشه ترکیبی امگا و جریان و ارتفاع را بر روی نقشه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان می دهد. همان طور که دیده می شود میدان بزرگی از امگای منفی با بزرگای ۰٫۴- تا ۰٫۵- پاسکال بر ثانیه تمام پهنه غربی ایران از جنوب غرب تا شمال را در بر گرفته است. جریان های بالا سوی قوی حاصل از گرادیان ارتفاعی ایجاد شده در غرب ایران و رطوبت فراوان فرارفت شده به وسیله رودخانه جوی در تمام پهنه غربی ایران منجر به بارش های شدید بر روی تمام منطقه غربی کشور شده است (شکل ۳ د). جدول ۳ بارش های ثبت شده در ایستگاه های نمونه را نشان می دهد.



شکل (۴). رودخانه های جوی (IVT)، تراز فشار دریا (SLP) در ساعت های ۰۰، ۰۳، ۰۶ و ۰۹ روز ۲۳ فوریه ۱۹۹۲



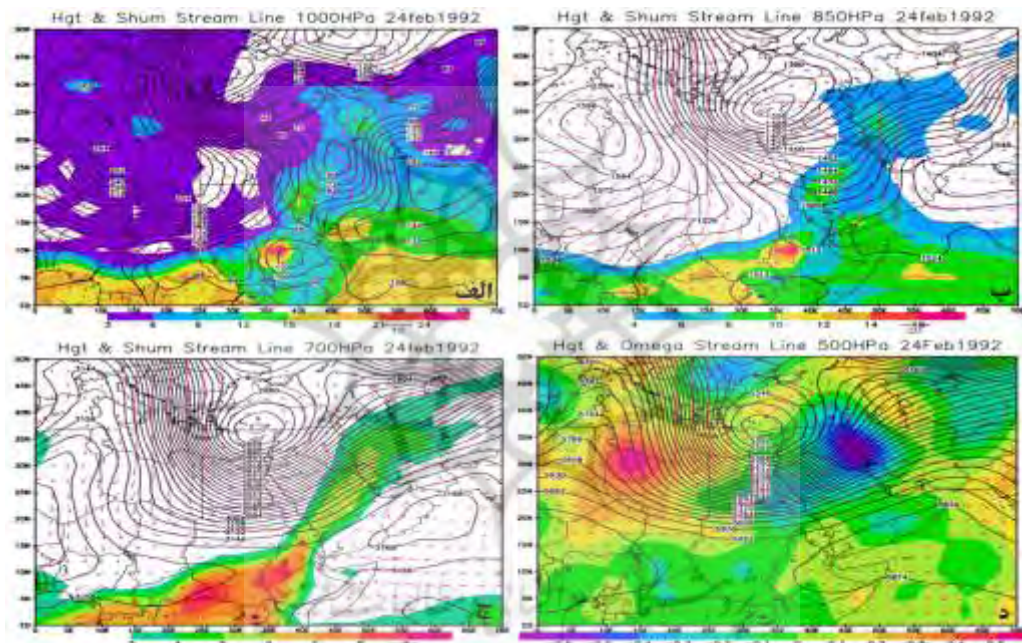
شکل (۵). رودخانه های جوی (IVT)، تراز فشار دریا (SLP) در ساعت های ۱۲، ۱۵، ۱۸ و ۲۱ روز ۲۳ فوریه ۱۹۹۲

جدول (۳): بارش‌های ثبت شده در ایستگاه‌های نمونه انتخابی روزهای ۲۳ و ۲۴ فوریه ۱۹۹۲

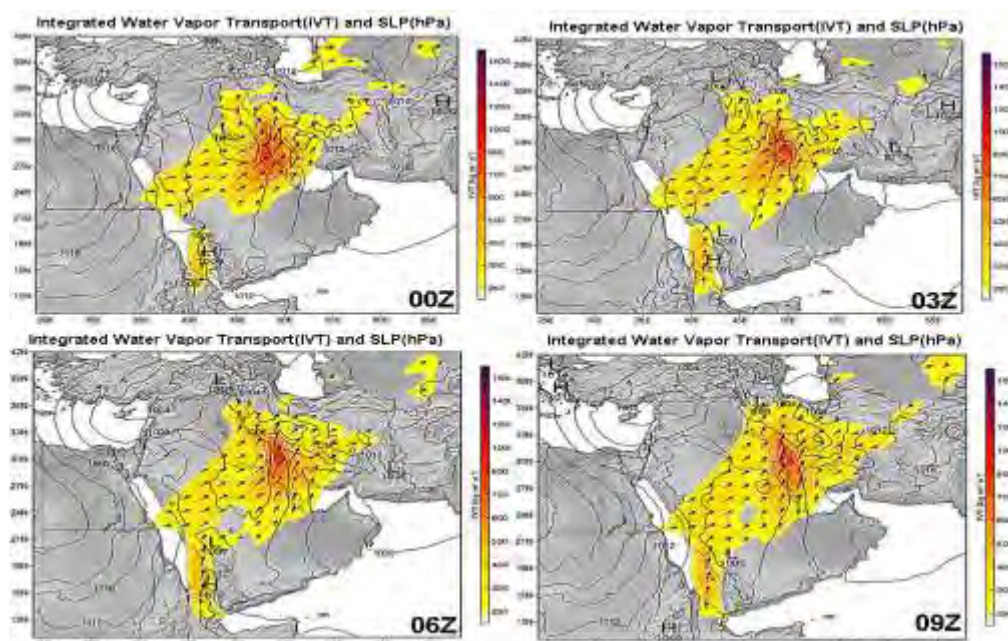
ایستگاه	۲۳ فوریه ۱۹۹۲	۲۴ فوریه ۱۹۹۲	ایستگاه	۲۳ فوریه ۱۹۹۲	۲۴ فوریه ۱۹۹۲
خوی	۱,۴	۷	مراغه	۶	۳
اهر	۱,۳۱	۷	میانه	۱,۴	۱۲
اردبیل	۰,۳۲	۱۰,۸	ارومیه	۲۱	۴,۰۱
بیجار	۵,۰۱	۳۰	پارس آباد	۰,۸	۶,۷
اسلام آباد غرب	۲۳	۲۸,۸	پیرانشهر	۲۰	۱
همدان فرودگاه	۱,۶	۱۱	سنندج	۲۴,۴	۲۷,۶
همدان نوژه	۰,۸	۱۹	سقز	۸,۲	۳۰
جلفا	۲,۲	۳	سراب	۲,۶	۵,۹
کنگاور	۶	۱۵,۸	سردشت	۳	۲
کرمانشاه	۲۱	۸,۱	سرپل زهاب	۲	۰,۰۱
خلخال	۱۱,۹	۲۰,۱	تبریز	۸,۴	۷
خرم دره	۶,۳	۱۴,۸	تکاب	۰,۵	۱۵
ماکو	۱۰,۱	۱,۴	زنجان	۳,۱	۱۹,۲

شکل ۶ (الف تا د)، شرایط همدیدی حاکم در ترازهای مختلف جوی را در روز دوم فعالیت رودخانه جوی بر روی منطقه غربی کشور نشان می‌دهد. الگوی حاکم در تراز زیرین تروپوسفر شباهت کاملی با الگوی روز قبل دارد. واپرخند آفریقا با الگوی گسترش شمالی جنوبی تمام پهنه صحرای آفریقا تا غرب و مرکز اروپا را در بر گرفته است. جریان‌های و تندبادهای شمالی در دامنه شرقی این واپرخند پدیده غالب تمام ترازها در شرق اروپا و مدیترانه شرقی می‌باشند. فرارفت سرد عرض‌های جنب قطبی فراتر از عرض‌های ۵۰ تا ۶۰ درجه شمالی همچنان تا جنوب سودان و شمال اتیوپی حاکمیت دارد. این فرارفت سرد جنب قطبی تا عرض‌های حاره ای عامل اصلی گرادیان فشاری و ارتفاعی ایجاد شده در محدوده سامانه سودانی می‌باشد. در نقطه مقابل زبانه پرفشار سیبری همچنان با گسترش بر روی آب‌های گرم دریاهای عرب و عمان درگردشی واپرخندی به درون سامانه سودانی فرارفت شده است. هسته رطوبتی با مقادیر بیش از ۲۱ و ۱۶ گرم بر روی اتیوپی و شرق دریای سرخ رطوبت فرارفت شده به درون هسته‌های شار همگرای حاکم در امتداد زبانه کم فشار سودان می‌باشد. هسته اصلی کم فشار سودان در این روز با جابجایی شمال سو در شمال عربستان و جنوب عراق استقرار دارد. زبانه کم فشار سودان در این روز با جابجایی شرق سو با عبور از جنوب غرب ایران و جنوب عراق در راستایی جنوبی- شمالی شرقی تمام پهنه غرب و شمال غرب ایران را فراگرفته است (شکل ۶ الف). در تراز ۸۵۰ تا ۷۰۰ هکتوپاسکال نیز الگوی شبیه الگوی روز قبل حاکم است. در تراز مرزی و میانی تروپوسفر هسته اصلی واپرخند آفریقا در شمال صحرای آفریقا در محدوده کشورهای لیبی و الجزایر استقرار دارد. پشته شمالی این واپرخند با راستایی جنوبی - شمالی تمام پهنه مدیترانه غربی و غرب اروپا تا شمال عرض ۵۰ درجه شمالی گسترش دارد. با گسترش شمال سوی قابل توجه این پشته جریان‌های در ضلع شرقی این زبانه کاملاً نصف النهاری شده اند. تندبادهای ایجاد شده در این بخش از پشته سبب فرارفت سرد جنب قطبی بر روی صحرای آفریقا سبب شده است (شکل ۶ ب). با گسترش جنوب سوی سرما و تندبادهای شمالی و فرارفت رتی سیتی منفی قوی ناوه مدیترانه ای همچنان به عرض‌های حاره ای گسترش یافته است. به طوری که انتهای جنوبی ناوه در ترازهای ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال تا جنوب عرض ۱۵ درجه (جنوب سودان) امتداد یافته است. فرارفت سرد حاصل تندبادهای شمالی در پشت ناوه گرادیان دمایی و فشار شدیدی را در محدوده کم فشار سودان ایجاد کرده است. با جابجایی شرق سوی واپرخند عربستان و انتقال این سامانه بر روی آب‌های گرم دریاهای عمان و عرب علاوه بر این که در گردشی واپرخندی سبب فرارفت رطوبت این دریاها به درون جریان‌های جنوبی جلو ناوه گردیده است،

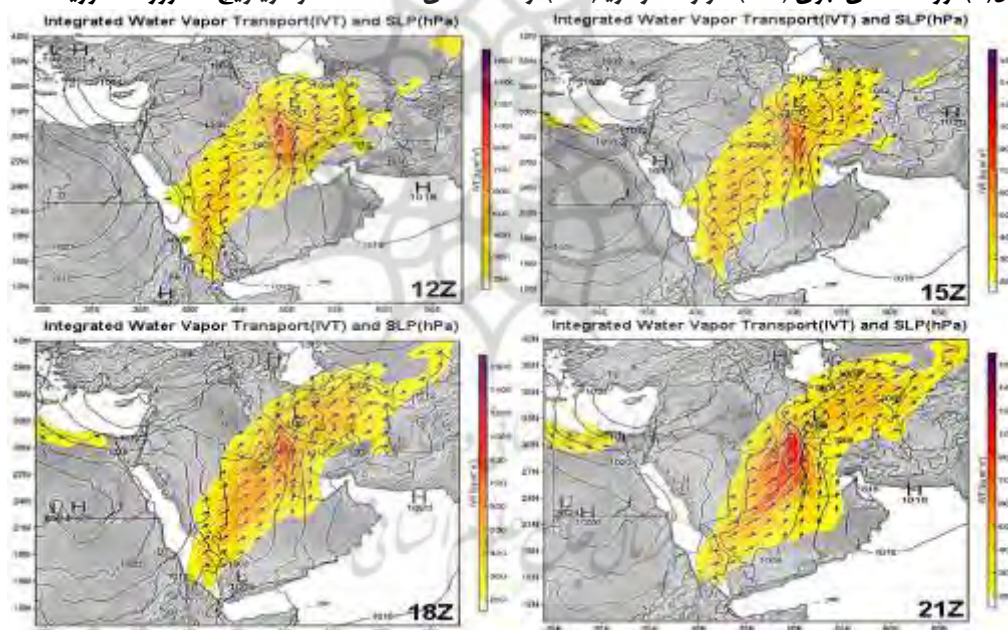
بلکه سبب جابجایی شرق سوی ناوه مدیترانه ای نیز شده است. کانال رطوبتی ایجاد شده در جلو ناوه انتقال این رطوبت را از دریاهای گرم جنوبی بر روی نیمه غربی و شمال غربی ایران نشان می دهد (شکل ۶ ج). اشکال ۷ و ۸ رودخانه های جوی روز دوم فعالیت را در ساعات مختلف این روز نشان می دهد. همان طور که ملاحظه می شود در ساعات های اولیه بویژه ساعات های صفر تا ۱۲ گرینویچ انتهای شمالی رودخانه بر روی منطقه مطالعاتی نفوذ یافته ولی از ساعت ۱۲ رودخانه جوی بتدریج جابجایی شرق سو پیدا کرده است. در تمام ساعات های دیده بانی هسته اصلی رطوبت رودخانه جوی بر روی جنوب غرب ایران قرار دارد. مقدار رطوبت فرارفت شده در این بخش به بیش از ۸۰۰ کیلوگرم متر بر ثانیه می رسد. در بخش جنوبی منطقه مطالعاتی رطوبت فرارفت شده بین ۴۰۰ تا ۵۰۰ کیلوگرم متر بر ثانیه قرار دارد. شکل ۶ د ترکیب امگا و جریان و ارتفاع را در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان می دهد. همان طور که دیده می شود میدانی از امگای منفی با بزرگای بیش از ۰٫۵- تا ۰٫۶- پاسکال بر ثانیه بخش وسیعی از غرب ایران را در بر گرفته است. بزرگای امگای منفی بر روی استان های شمال غرب همچنان بین ۰٫۳- تا ۰٫۴- پاسکال بر ثانیه قرار دارد.



شکل (۶). ارتفاع ژئوپتانسیل (کانتور)، میدان باد (بردار) و رطوبت (سایه دار) ترازهای ۱۰۰۰ (الف)، ۸۵۰ (ب)، ۷۰۰ (ج) و امگای تراز ۵۰۰ (د) هکتوپاسکال روز ۲۴ فوریه ۱۹۹۲.



شکل (۷). رودخانه‌های جوی (IVT)، تراز فشار دریا (SLP) در ساعت‌های ۰۳، ۰۶ و ۰۹ گرینویچ روز ۲۴ فوریه ۱۹۹۲



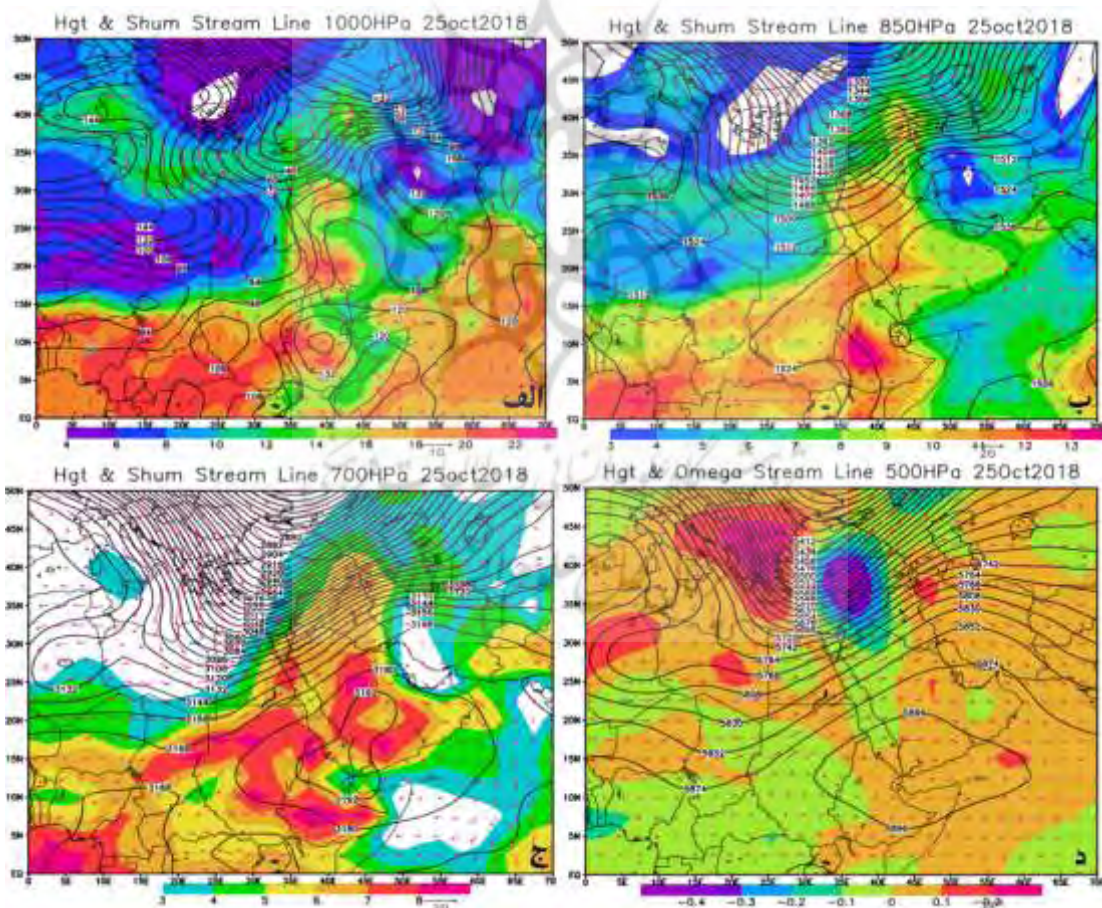
شکل (۸). رودخانه‌های جوی (IVT)، تراز فشار دریا (SLP) در ساعت‌های ۱۲، ۱۵، ۱۸ و ۲۱ گرینویچ روز ۲۳ فوریه ۱۹۹۲

الگوی همیدی رودخانه جوی ادغامی مدیترانه و سودان

این الگو نماینده سامانه‌هایی است که دریای مدیترانه و دریاهای جنوبی تامین کنندگان رطوبت سامانه‌های ورودی به منطقه غرب و شمال غرب کشور می‌باشد. در این الگو در تراز زیرین تروپوسفر تاوه قطبی با گسترش جنوب سوی بر روی شرق اروپا پس از عبور از روی مدیترانه شرقی تا شمال شرق صحرای آفریقا امتداد می‌یابد. جریان‌های سرد پشت تاوه قطبی با امتدادی شمالی-جنوبی هوای سرد قطبی را بر روی آب‌های مدیترانه شرقی و در ادامه تا غرب سامانه سودانی فرارفت می‌نمایند. در بخش شمالی تر، رطوبت دریای مدیترانه در گردشی چرخندی و در امتداد جریان‌های جنوبی جلو تاوه قطبی بر روی منطقه شمال

غربی کشور فرارفت شده است به طوری که هسته رطوبتی با مقدار ۱۲ تا ۱۴ گرم بر کیلوگرم بر روی شمال غرب ایران شکل گرفته است. در ادامه رطوبت فرارفت شده از روی دریاهای گرم عرب، عمان و سرخ به وسیله جریان های جنوبی و در امتداد زبانه کم فشار سودان به ساحل شرقی مدیترانه و جنوب عراق فرارفت شده است. هسته رطوبتی با مقدار ۱۶ تا ۱۸ گرم بر کیلوگرم نشان دهنده این فرارفت رطوبتی از عرض های جنوبی می باشد (شکل ۹ الف).

در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال به عنوان نماینده لایه مرزی ناوه عمیقی در امتداد ناوه قطبی لایه زیرین تروپوسفر، با راستایی شمالی جنوبی در محدوده طول های ۱۵ تا ۴۵ درجه شرقی با گسترش جنوب سوی تمام پهنه غرب آسیا تا جنوب مصر در بخش شرقی صحرای آفریقا را در بر گرفته است. با شمالی شدن جریان های در پشت ناوه ضمن تزریق ورته سیتی مناسب با فرارفت سرد جنب قطبی گرادیان دمایی و در نتیجه گرادیان ارتفاعی شدیدی را بر روی منطقه غرب آسیا ایجاد کرده است. همان طور که نقشه رطوبتی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال نشان می دهد، با گسترش ناوه بر روی دریاهای گرم جنوبی رطوبت همرفتی از روی این دریاها به وسیله جریان های جنوبی جلو ناوه بر روی منطقه فرارفت شده است. کانال رطوبتی ایجاد شده در جلو ناوه بخوبی رطوبت فرارفت شده از عرض های حاره ای را بر روی منطقه نشان می دهد. این کانال رطوبت در ادامه مسیر با رطوبت فرارفت شده از روی دریای مدیترانه تقویت شده است (شکل ۹ ب).

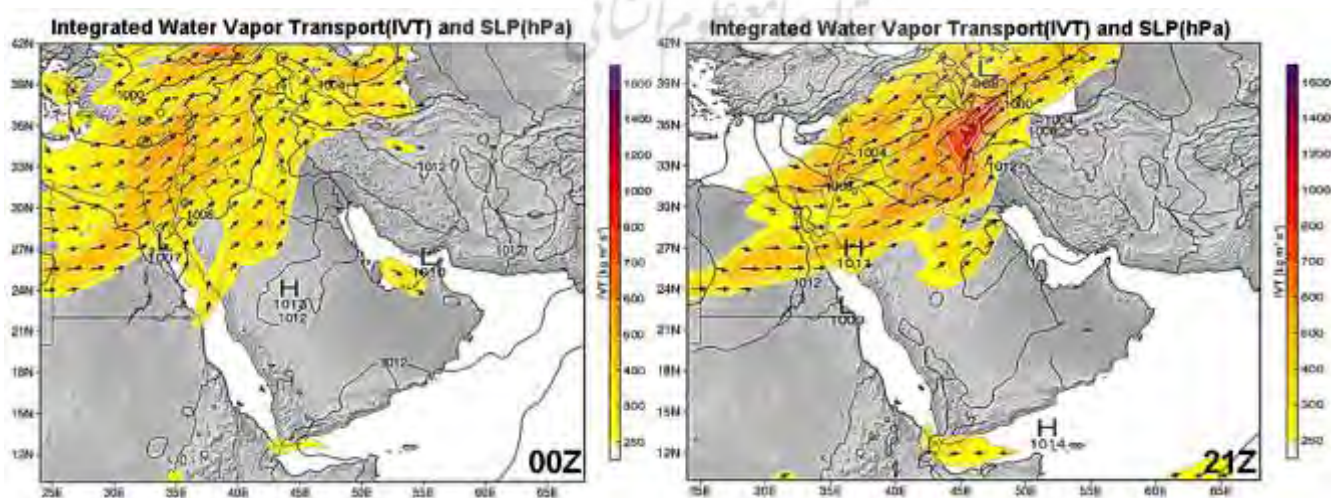


شکل (۹). ارتفاع ژئوپتانسیل (کانتور)، میدان باد (بردار) و رطوبت (سایه دار) ترازهای ۱۰۰۰ (الف)، ۸۵۰ (ب)، ۷۰۰ (ج)

و امگای تراز ۵۰۰ (د) هکتوپاسکال روز ۲۵ اکتبر ۲۰۱۸

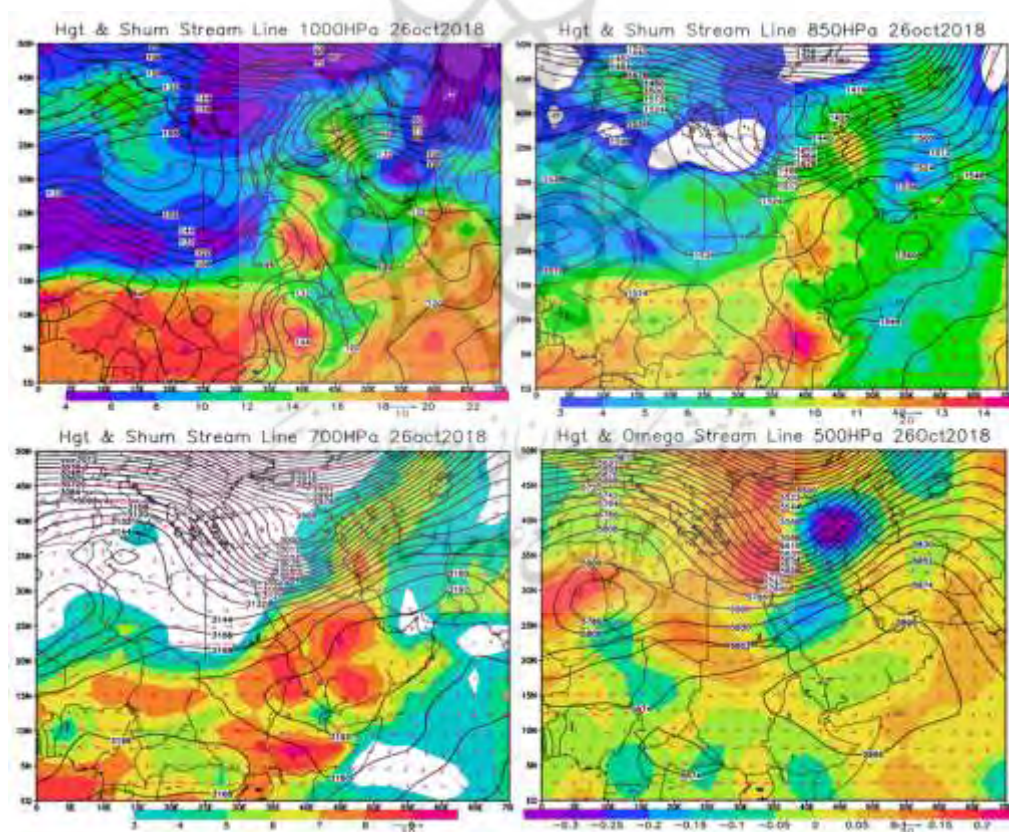
با تداوم فرارفت سرد عرض های قطبی بوسیله جریان های شمالی پشت ناوه سبب شده است که ناوه در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال گسترش بیشتری به عرض های جنوبی داشته باشد. به طوری که انتهای جنوبی ناوه تا جنوب عرض ۱۵ درجه در محدوده شرق و

مرکز صحرا (کشورهای مصر، سودان، لیبی و چاد) گسترش یافته است. همان طور که مشاهده می‌شود با جابجایی شرق سوی واچرخند جنب حاره ای عربستان ضمن این که ناوه شرقی مدیترانه به عرض‌های جنوبی گسترش یافته است. با گردشی واچرخندی رطوبت همرفت شده از روی دریا‌های گرم جنوبی به جلو ناوه فرارفت می‌شود. جریان‌های جنوبی جلو ناوه کانال رطوبتی ایجاد شده از عرض‌های حاره ای را به سمت غرب آسیا و در ادامه بر روی منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد. هسته‌های رطوبتی شکل گرفته بر روی عربستان و سودان و اتیوپی بخوبی تجمع رطوبت شارش شده از روی دریا‌های گرم جنوبی را در گردشی واچرخندی بر روی این خشکی‌ها نشان می‌دهند (شکل ۹ج). شکل ۹ د نقشه ترکیبی جریان، ارتفاع و امگا را در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که با جابجایی شرق سوی واچرخند عربستان امکان نفوذ ناوه شرقی مدیترانه به عرض‌های جنوبی تر فراهم شده است. به طوری که ناوه عمیقی با راستای شمال شرقی - جنوب غربی تا جنوب غرب ۱۰ درجه (جنوب کشور چاد) گسترش یافته است. فرارفت سرد عرض‌های جنب قطبی بر روی هوای گرم حاره ای، گردان دمایی بر روی منطقه شمال شرقی صحرای آفریقا و در محدوده استقرار کم فشار سودان تشدید شده است. فرارفت ورتی سیتی مناسب به همراه جریان‌های شمالی پشت ناوه و فرارفت ورتی سیتی مثبت و جریان‌های گرم جنوبی در جلو ناوه میدان امگای منفی گسترده ای بر روی شرق مدیترانه و بخش جلویی ناوه شکل گرفته است. بزرگای امگای منفی در بخش‌هایی از آن به بیش از -۰.۴ پاسکال بر ثانیه می‌رسد که نتیجه وجود جریان‌های بالاسو قوی حاکم بر روی منطقه می‌باشد. این جریانات بالاسوی همراه با رطوبت قابل توجه فرارفت شده از روی دریا‌های گرم جنوبی و دریای مدیترانه بارش‌های شدیدی را بر روی منطقه سبب شده است (شکل ۹د). شکل ۱۰ رودخانه جوی شکل گرفته در این الگو را برای روز اول بارش سامانه نشان می‌دهد. به جهت اختصار رودخانه دو زمان ۰۰ و ساعت ۲۱ به وقت گرینویچ این روز نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود رودخانه جوی در منطقه جلو ناوه در محدوده غرب آسیا و مدیترانه شرقی شکل گرفته است. بخشی از رطوبت فرارفت شده به درون رودخانه، از دریا‌های گرم جنوبی منشاء گرفته است که بخشی از آن در یک گردش واچرخندی پرفشار مستقر بر روی شبه جزیره عربستان به دامنه غربی پرفشار و بخشی دیگر از آب‌های دریای مدیترانه فرارفت شده است. در این روز تمام محدوده شمال غرب و غرب ایران تحت تاثیر این رودخانه قرار دارد. در ساعت ۲۱ ضمن این که رودخانه جوی جابجایی شرق سوتری پیدا کرده به طور قابل توجهی نیز تقویت شده است. هسته رطوبتی رودخانه درست بر روی منطقه غرب و شمال غرب ایران قرار دارد به طوری که مقادیر رطوبت فرارفت شده در هسته رودخانه به بیش از ۸۰۰ کیلوگرم متر بر ثانیه رسیده است. جدول ۳ بارش-های ثبت شده در نمونه ای از ایستگاه‌های منطقه را نشان می‌دهد.



شکل (۱۰). رودخانه‌های جوی (IVT)، تراز فشار دریا (SLP) در ساعت‌های ۰۰ و ۲۱ گرینویچ روز ۲۵ اکتبر ۲۰۱۸

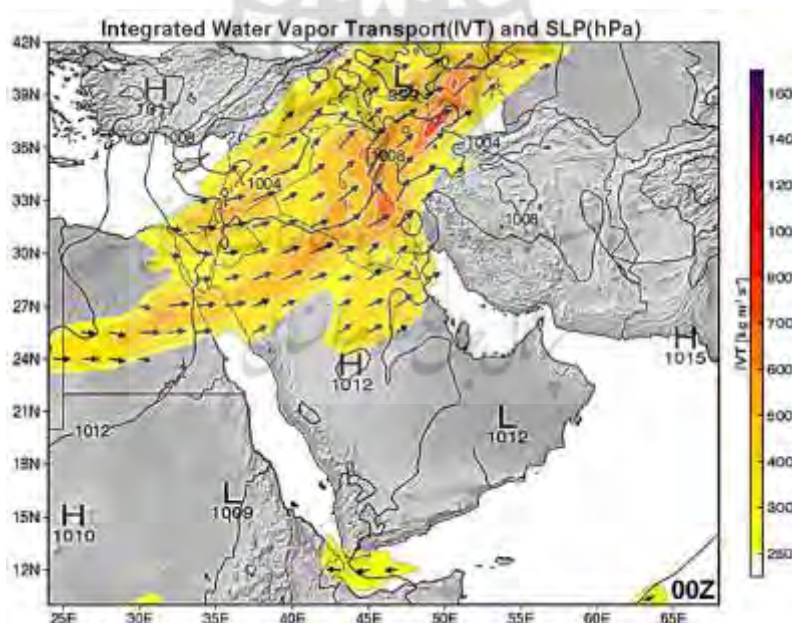
شکل ۱۰ نقشه های ترکیبی ترازهای مختلف را در روز دوم فعالیت رودخانه جوی نشان می دهد. در روز دوم همچنان زبانه ای از تاوه قطبی با گسترش جنوب سوی با راستایی شمال شرقی - جنوب غربی پس از عبور از روی بخش شمالی دریای مازندران تمام پهنه شمال غربی ایران و در ادامه تمام محدوده غرب ایران تا مدیترانه شرقی را در بر گرفته است. این زبانه بعد از عراق با راستایی شمال غربی - جنوب شرقی با عبور از روی شبه جزیره عربستان تا دریاهای عمان و عرب امتداد دارد. این در حالی است که زبانه ای از پرفشار تبت با عبور از روی پاکستان وارد دریای عمان شده و با گردش واپرخندی رطوبت دریاهای گرم عمان و عرب را بدرون سامانه سودانی فرارفت نموده است. هسته های رطوبتی شکل گرفته بر روی سودان، اتیوپی و شرق دریای سرخ به بیش از ۲۰ تا ۲۲ گرم بر کیلوگرم می رسد. با فرارفت سرد توسط جریان های شمالی پشت زبانه تاوه قطبی و جریان های دامنه شرقی واپرخند آفریقایی (که تمام پهنه شمال صحرای آفریقا و مدیترانه مرکزی را در بر گرفته است) به پشت سامانه سودانی از یک طرف و فرارفت گرم و مرطوب در دامنه شرقی کم فشار گرادیان دمایی و گرادیان فشار بر روی منطقه تشدید شده اند. در نتیجه سامانه سودانی ضمن تقویت گسترش شمال سوی قابل توجهی نسبت به روز قبل داشته است. به طوری که زبانه شمالی این کم فشار با زبانه جنوبی تاوه قطبی بر روی جنوب عراق الحاق شده و کانال رطوبتی فرارفت شده از عرض های جنوبی نسبت به روز قبل ضمن تقویت گسترش شمال سوی بیشتری داشته است. در نتیجه میدان رطوبتی که روز قبل فقط به محدوده شمال غربی ایران محدود می شد، در این روز تمام پهنه غربی ایران را در بر گرفته است (شکل ۱۱ الف).



شکل (۱۱). ارتفاع ژئوپتانسیل (کانتور)، میدان باد (بردار) و رطوبت (سایه دار) ترازهای ۱۰۰۰ (الف)، ۸۵۰ (ب)، ۷۰۰ (ج) و امگای تراز ۵۰۰ (د) هکتوپاسکال روز ۲۶ اکتبر ۲۰۱۸

در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال کانال رطوبتی ایجاد شده در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال کاملاً یکپارچه شده و رطوبت فرارفت شده از عرض های جنوبی با راستایی جنوب غربی - شمال شرقی را بر روی منطقه مطالعاتی منتقل نموده است. رطوبت فرارفت شده در

انتهای ناوه بوسیله جریان‌های غرب - جنوب غربی به کانال رطوبتی جنوبی افزوده شده است. ولی همان طور که دیده می شود عمده رطوبت فرارفت شده از دریاهای جنوبی تامین شده است (شکل ۱۱ ب). در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال با جابجایی شرق سوی واچرخند عربستان ناوه شرقی مدیترانه گسترش جنوب سوی بیشتری پیدا کرده و انتهای جنوبی ناوه تا جنوب مصر گسترش یافته است. رطوبت فرارفت شده در گردش واچرخندی از روی دریاهای عمان و عرب در ضلع غربی واچرخند میدان رطوبتی گسترده ای را ایجاد کرده است که این رطوبت تجمع شده بوسیله جریان‌های جنوبی جلو ناوه بر روی منطقه غربی ایران فرارفت شده است (شکل ۱۱ ج). شکل ۱۱ د، نقشه ترکیبی جریان، ارتفاع و امگا را در روز دوم فعالیت رودخانه جوی بر روی منطقه نشان می دهد. در این تراز همچنان جابجایی شرق سوی واچرخند عربستان و استقرار آن در موقعیتی مناسب بر روی بخش جنوب شرقی شبه جزیره عربستان و شرق دریای عرب ضمن این که زمینه گسترش ناوه مدیترانه ای را به عرض‌های جنوبی فراهم نموده است، با گردشی واچرخندی انتقال رطوبت عرض‌های حاره ای را به درون جریان‌های جنوبی جلو ناوه فراهم کرده است. طبق این شکل در میدان استقرار واچرخند عربستان هوایی کاملاً آرام با کمترین سرعت جریان افقی همراه است. این پدیده بیانگر همگرایی حاکم بر روی این منطقه و فرونشینی حاصل از آن می باشد. جریان فرونشسته ضمن افزایش دمای بی درو هوای درون سامانه، پتانسیل رطوبت پذیری هوا را بر روی دریاهای گرم در لایه زیرین تروپوسفر افزایش می دهد. رطوبت همرفتی به درون سامانه در شار واگرا به درون سامانه سودانی فرارفت شده و زمینه شکل گیری رودخانه جوی را فراهم می کند. همان طور که دیده می شود میدانی از امگای منفی با بزرگای ۰،۴ - پاسکال بر ثانیه درست بر روی شمال غرب ایران شکل گرفته است. این مقدار از امگای منفی بیانگر جریان‌های بالاسوی قوی بر روی منطقه مطالعاتی می باشد. این جریان‌های بالا سو قوی همراه با رطوبت قابل توجه فرارفت شده به وسیله رودخانه جوی بر روی منطقه سبب شکل گیری جریان‌های همرفتی شدید و متعاقب آن بارش‌های شدید شده اند.



شکل (۱۲). رودخانه‌های جوی (IVT)، تراز فشار دریا (SLP) در ساعت‌های ۰۰ گرینویچ روز ۲۶ اکتبر ۲۰۱۸

شکل ۱۲ رودخانه جوی شکل گرفته بر روی منطقه و پهنه پوشش این رودخانه را نشان می دهد. در این روز فقط در ساعت ۰۰ رودخانه بر روی منطقه قوام لازم را داشته است. در سایر ساعات روز رودخانه جوی به عرض‌های جنوبی تر منتقل گردیده است. طبق این شکل رودخانه از بخش شمال شرق صحرای آفریقا در محدوده کشور لیبی و غرب مصر تکوین پیدا کرده و در ادامه در شرق دریای مدیترانه تقویت شده و تمام پهنه غرب و شمال غرب ایران تا مدیترانه شرقی را در بر گرفته است. رطوبت بخش

جنوبی رودخانه به وسیله رطوبت فرارفت شده از روی دریاهاى گرم جنوبی در گردشی واچرخندی به درون رودخانه فرارفت شده است به همین دلیل بخش جنوبی رودخانه از بخش غربی دریای سرخ تکوین پیدا کرده است. رطوبت دریای مدیترانه در گردشی چرخندی بوسیله جریان های غرب جنوب غربی ناوه به درون آن فرارفت شده است. هسته های رطوبتی قوی تر در این روز غرب ایران و بخش غربی البرز در محدوده استان اردبیل و آستار قرار دارند. جدول ۳ بارش رخ داده در ایستگاه های منطقه را نشان می دهد.

جدول (۳). بارش های ثبت شده در ایستگاه های نمونه انتخابی روزهای ۲۵ و ۲۶ اکتبر ۲۰۱۸

ایستگاه	۲۵ اکتبر ۲۰۱۸	۲۶ اکتبر ۲۰۱۸	ایستگاه	۲۵ اکتبر ۲۰۱۸	۲۶ اکتبر ۲۰۱۸
خوی	۲,۰۱	۱۷,۶	مراغه	۱,۳	۱۴,۱
اهر	۰	۱,۳	میانه	۰	۰,۹
اردبیل	۰	۴,۵۱	ارومیه	۳,۲	۵,۶
بیجار	۰	۶,۰۱	پارس آباد	۰	۲
اسلام آباد غرب	۱	۴۲	پیرانشهر	۲۴,۶	۸۲
همدان فرودگاه	۰	۶	سنندج	۰	۱۵,۲
همدان نوژه	-	-	سقز	۱,۰۱	۱۹
جلفا	۰,۰۱	۵,۸	سراب	۰,۰۱	۱,۰۲
کنگاور	۰	۳۳	سردشت	۵,۶	۴,۰۱
کرمانشاه	۰	۴۱	سرپل زهاب	۰	۰
خلخال	۰	۵,۷	تبریز	۰	۰,۰۱
خرم دره	۰	۱	تکاب	۰,۳	۱۵,۹
ماکو	۰,۴	۱۵,۵	زنجان	۰	۰

نتیجه گیری

شمال غرب ایران یکی از قطب های کشاورزی کشور ایران است. بنابراین شناخت رفتار بارشی از لحاظ شدت، نوع، توزیع زمانی و مکانی اهمیت زیادی دارد. از لحاظ دمایی این منطقه از مناطق سردسیری کشور محسوب می شود. در نتیجه دوره کاشت و داشت محصولات کشاورزی بویژه رشد و برداشت محصولات باغی به دوره گرم سال محدود می شود. رودخانه های جوی جریان عظیمی از رطوبت می باشند که مقدار قابل توجهی از رطوبت را در لایه های جو از مناطق منشاء و تولید رطوبت به مناطق دوردست منتقل می کنند. بنابراین در صورت وجود شرایط همدیدی مناسب این رطوبت منجر به بارش های سهمگین شده و می تواند آب قابل توجهی را برای یک منطقه جغرافیایی به ارمغان آورد. در عین حال وقتی این بارش های شدید در شرایط فصلی و فیزیکی نامطلوب اتفاق می افتند پتانسیل ایجاد سیلاب های مهیبی را دارند. این رطوبت در شرایط همدیدی مناسب از روی دریاهاى گرم عمان و عرب بدرون پهنه آبی خلیج عدن فرارفت شده و ضمن تقویت بر روی آبن پهنه آبی بر روی پهنه دریای سرخ منتقل شده و رودخانه جوی شکل می گیرد. نتایج این مطالعه نشان داد که رودخانه های جوی منجر به بارش در شمال غرب ایران در سه الگوی همدیدی تکوین پیدا کرده و وارد منطقه می شوند. در الگوی همدیدی کم فشار سودان از سه تا چهار روز قبل از شروع تکوین رودخانه جوی زبانه عمیقی با راستای شمال شرقی - جنوب غربی با منشاء پرفشار سیبری و گاه پرفشار تبت پس از عبور از پهنه خشکی پاکستان و جنوب شرق ایران وارد دریاهاى عمان و عرب می گردد. این الگو در تمام ضخامت ترازهای دریا تا ۸۵۰ هکتوپاسکال حاکمیت دارد. با گسترش این زبانه واچرخندی بر روی آب های گرم جنوبی ضمن تشدید گردان دمایی بر روی منطقه با فرارفت رطوبت این دریاهاى گرم به درون سامانه سودانی به دلیل پتانسیل رطوبت پذیری این سامانه زمینه لازم برای تکوین رودخانه جوی فراهم می شود. در ترازهای بالاتر با جابجایی شرق سوی واچرخند عربستان و

استقرار آن بر روی آب‌های گرم دریاهای عرب و عمان، ناوه مدیترانه ای کاملاً به عرض‌های جنوبی گسترش یافته و با فرافت سرد عرض‌های جنب قطبی و فرافت ورتی سیتی مناسب بر روی منطقه شرقی صحرای آفریقا (مصر، سودان و اتیوپی) رطوبت فرافت شده بر روی منطقه در امتداد جریان‌های جنوبی جلو ناوه بر روی منطقه شمال غرب ایران فرافت می‌شود.

در الگوی همدیدی ادغام مدیترانه و سودان در تراز زیرین تروپوسفر تاوه قطبی با گسترش جنوب سو بر روی مدیترانه شرقی گسترش می‌یابد این زبانه در لایه‌های میانی تروپوسفر با ناوه عمیقی بر روی شرق اروپا و مدیترانه شرقی همراهی می‌شود. در مقابل در عرض‌های جنوبی تر زبانه کم فشار سودان با گسترش شمال سوی با تاوه قطبی ادغام می‌شود. در نتیجه رطوبت دریاهای گرم جنوبی بوسیله این زبانه به ساحل شرقی فرافت شده و همراه با رطوبت دریای مدیترانه بر روی منطقه غرب و شمال غرب فرافت می‌شود.

بررسی انجام شده بر روی منبع رطوبتی و رودخانه ایزوله شده برای تمام سامانه‌های بارشی همراه با رودخانه جوی نشان داد که در بیش از ۶۴ مورد از ۷۵ سامانه همراه با رودخانه جوی منبع رطوبتی و الگوی همدیدی ایجاد کننده آنها از کم فشار سودانی یا ترکیبی از داغام دو سامانه کم فشار سودانی بوده است. فقط در تعداد کمی از سامانه‌های بارشی منشاء رطوبتی و الگوی همدیدی ایجاد کننده آنها بطور مستقل از سیکلون مدیترانه ای بوده است. همین تحقیق نشان داد که رودخانه‌های جوی قوی، همراه با بارش‌های شدید عموماً از رودخانه‌هایی اتفاق می‌افتد که با منشاء کم فشار سودان و از منابع رطوبتی دریاهای گرم جنوبی سرچشمه می‌گیرند. این رودخانه‌ها ابتدا وارد جنوب غرب ایران شده و در ادامه وارد غرب و شمال غرب ایران می‌شوند. همین مطالعه همچنین نشان داد که سامانه‌های بارشی در تمام مدت فعالیت خود با رودخانه جوی همراه نبوده است. بلکه عموماً در دو تا سه بازه سه ساعته همراه با رودخانه جوی بوده و در سایر ساعات فعالیت سامانه رودخانه جوی تشکیل نشده است. به همین دلیل بارش‌های شدید حاصل از رودخانه‌ها در اکثر موارد در مدت کوتاهی رخ داده است. در صورتی که بر اساس یافته‌های (اسفندیاری و لشکری، ۱۴۰۰) بارش‌های حاصل از رودخانه‌های جوی در جنوب غرب دوام بیشتری داشته‌اند.

منابع

- سپندار، نسا؛ امیدوار، کمال. (۱۴۰۰). واکاوی ارتباط بین بارش های سنگین جنوب و جنوب غرب ایران با رودخانه های جوی (ARs). نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، شماره ۳۱۴-۲۹۵.
- سلیمی، سعدون؛ سلیقه، محمد. (۱۳۹۵). تأثیر رودخانه های اتمسفری (ARs) بر آب و هوای ایران. پژوهش های جغرافیایی طبیعی. شماره ۴۸، ۲۴۷-۲۶۴.
- شادمانی، ناهید؛ نصرافهانی، محمدعلی؛ قاسمی، احمدرضا. (۱۳۹۷). تشخیص منابع تأمین رطوبت و مسیر دقیق حرکت توده های هوای مرطوب مؤثر بر بارش های سیل آسا در غرب و جنوب ایران (مطالعه موردی: سیل ۷ و ۲۰ آبان ۱۳۹۴). مجله ژئوفیزیک ایران، شماره ۱۲، ۵۰-۶۳.
- لشکری، حسن؛ اسفندیاری، ندا. (۱۴۰۰). الگوهای همدیدی و ترمودینامیکی رودخانه های جوی منجر به بارش سنگین دوره سرد کشور ایران. مخاطرات محیط طبیعی، شماره ۱۰، ۱۲۵-۱۴۴.
- لشکری، حسن؛ اسفندیاری، ندا. (۱۳۹۹). شناسایی و تحلیل همدید بالاترین بارش های مرتبط با رودخانه های جوی در ایران. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، شماره ۲، ۱۸۷-۲۰۶.

References

- Sapandar, Nesa; Omidvar, Kamal. (2011). Analysis of the relationship between heavy rainfall in southern and southwestern Iran and atmospheric rivers (ARs). Journal of Applied Research in Geographical Sciences, No. 295-314.
- Salimi, Saadoon; Saliki, Mohammad. (2016). The impact of atmospheric rivers (ARs) on the climate of Iran. Physical Geography Research. No. 48, 247-264.
- Shadmani, Nahid; Nasra-Esfahani, Mohammad Ali; Ghasemi, Ahmad Reza. (2018). Identification of moisture supply sources and the precise path of movement of moist air masses affecting torrential rainfall in western and southern Iran (Case study: floods of November 20 and 21, 2015). Iranian Journal of Geophysics, No. 12, 50-63.
- Lashkari, Hassan; Esfandiari, Neda. (2011). Synoptic and thermodynamic patterns of atmospheric rivers leading to heavy precipitation during the cold period in Iran. Natural Environmental Hazards, No. 10, 125-144.
- Lashkari, Hassan; Esfandiari, Neda. (2019). Identification and synoptic analysis of the highest precipitation associated with atmospheric rivers in Iran. Spatial Analysis of Environmental Hazards, No. 2, 187-206.
- Akbary, M., Salimi, S., Hosseini, S. A., & Hosseini, M. (2019). Spatio temporal changes of atmospheric rivers in the Middle East and North Africa region. International Journal of Climatology, 39(10), 3976-3986.
- Debbage, N., Miller, P., Poore, S., Morano, K., Mote, T., & Marshall Shepherd, J. (2017). A climatology of atmospheric river interactions with the southeastern United States coastline. International Journal of Climatology, 37(11), 4077-4091.
- Dettinger, M. D., & Ralph, F. M. (2011). Tapash Das, Paul J. Neiman, and Daniel R. Cayan, 445-78.
- Eckhardt, S., Stohl, A., Wernli, H., James, P., Forster, C., & Spichtinger, N. (2004). A 15-year climatology of warm conveyor belts. Journal of climate, 17(1), 218-237.
- Gimeno, L., Nieto, R., Vázquez, M., & Lavers, D. A. (2014). Atmospheric rivers: A mini-review. Frontiers in Earth Science, 2, 2.
- Kaspi, Y., & Schneider, T. (2013). The role of stationary eddies in shaping midlatitude storm tracks. Journal of the atmospheric sciences, 70(8), 2596-2613.
- Kim, J., Moon, H., Guan, B., Waliser, D. E., Choi, J., Gu, T. Y., & Byun, Y. H. (2021). Precipitation characteristics related to atmospheric rivers in East Asia. International Journal of Climatology, 41, E2244-E2257.

- Lakshmi, D. D., & Satyanarayana, A. N. V. (2019). Influence of atmospheric rivers in the occurrence of devastating flood associated with extreme precipitation events over Chennai using different reanalysis data sets. *Atmospheric Research*, 215, 12-36.
- Lashkari, H., & Esfandiari, N. (2020). Identification and synoptic analysis of the highest precipitation linked to ARs in Iran. *Journal of Spatial Analysis Environmental hazards*, 7(2), 187-206[In Parsin].
- Lashkari, H., & Esfandiari, N. (2021). Synoptic and thermodynamic patterns of atmospheric rivers associated to heavy precipitation in the cold period of Iran. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 10(29), 125-144[In Parsin].
- Lashkari, H., Matkan, A., Azadi, M., & Mohamadi, Z. (2018). Synoptic patterns lead to premature precipitation in the South and South West of Iran during the period (1979-2015). *Geography and Planning*, 22(64), 247-266[In Parsin].
- Lashkari, H., & Mohammadi, Z. (2015). The effect of the location of the Arabian subtropical high pressure on the precipitation systems in the south and southwest of Iran. *Researches of Natural Geography*, 47(1), 73-90[In Parsin].
- Lavers, D. A., & Villarini, G. (2015). The contribution of atmospheric rivers to precipitation in Europe and the United States. *Journal of Hydrology*, 522, 382-390.
- Lavers, D. A., Allan, R. P., Wood, E. F., Villarini, G., Brayshaw, D. J., & Wade, A. J. (2011). Winter floods in Britain are connected to atmospheric rivers. *Geophysical Research Letters*, 38(23).
- Liang, J., & Yong, Y. (2021). Climatology of atmospheric rivers in the Asian monsoon region. *International Journal of Climatology*, 41, E801-E818.
- Mahoney, K., Jackson, D. L., Neiman, P., Hughes, M., Darby, L., Wick, G., ... & Cifelli, R. (2016). Understanding the role of atmospheric rivers in heavy precipitation in the southeast United States. *Monthly Weather Review*, 144(4), 1617-1632.
- Miller, D. K., Hotz, D., Winton, J., & Stewart, L. (2018). Investigation of atmospheric rivers impacting the Pigeon River basin of the southern Appalachian Mountains. *Weather and Forecasting*, 33(1), 283-299.
- Nayak, M. A., Villarini, G., & Bradley, A. A. (2016). Atmospheric rivers and rainfall during NASA's Iowa Flood Studies (IFloodS) campaign. *Journal of Hydrometeorology*, 17(1), 257-271.
- Neiman, P. J., Ralph, F. M., White, A. B., Kingsmill, D. E., & Persson, P. O. G. (2002). The statistical relationship between upslope flow and rainfall in California's coastal mountains: Observations during CALJET. *Monthly Weather Review*, 130(6), 1468-1492.
- Newell, R. E., Newell, N. E., Zhu, Y., & Scott, C. (1992). Tropospheric rivers?—A pilot study. *Geophysical research letters*, 19(24), 2401-2404.
- Newman, M., Kiladis, G. N., Weickmann, K. M., Ralph, F. M., & Sardeshmukh, P. D. (2012). Relative contributions of synoptic and low-frequency eddies to time-mean atmospheric moisture transport, including the role of atmospheric rivers. *Journal of climate*, 25(21), 7341-7361.
- Park, C., Son, S. W., & Kim, H. (2021). Distinct features of atmospheric rivers in the early versus late East Asian summer monsoon and their impacts on monsoon rainfall. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 126(7), e2020JD033537.
- Ralph, F. M., Neiman, P. J., & Rotunno, R. (2005). Dropsonde observations in low-level jets over the northeastern Pacific Ocean from CALJET-1998 and PACJET-2001: Mean vertical-profile and atmospheric-river characteristics. *Monthly weather review*, 133(4), 889-910.
- Ralph, F. M., Neiman, P. J., & Wick, G. A. (2004). Satellite and CALJET aircraft observations of atmospheric rivers over the eastern North Pacific Ocean during the winter of 1997/98. *Monthly weather review*, 132(7), 1721-1745.
- Ramos, A. M., Trigo, R. M., Tomé, R., & Liberato, M. L. (2018). Impacts of atmospheric rivers in extreme precipitation on the European Macaronesian Islands. *Atmosphere*, 9(8), 325.
- Salimi, S., & Saligheh, M. (2016). The effects of Atmospheric Rivers on Iran climate. *Physical Geography Research Quarterly*, 48(2), 247-264[In Parsin].
- Sebandar, N., & Omidvar, K. (2021). Investigation of the Relation between South and Southwest Iran's Heavy Rainfall with Atmospheric Rivers (ARs). *Jgs*, 21 (61), 295-314[In Parsin].

- Sodemmann, H., & Stohl, A. (2013). Moisture origin and meridional transport in atmospheric rivers and their association with multiple cyclones. *Monthly Weather Review*, 141(8), 2850-2868.
- Stohl, A., Forster, C., & Sodemmann, H. (2008). Remote sources of water vapor forming precipitation on the Norwegian west coast at 60 N—a tale of hurricanes and an atmospheric river. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113(D5).
- Zhu, Y., & Newell, R. E. (1994). Atmospheric rivers and bombs. *Geophysical Research Letters*, 21(18), 1999-2002.

