Hydrogeomorphology Vol. 10, No. 37, Winter 2024

Research Paper

Finding the origin and synoptic analysis of atmospheric rivers leading to precipitation in the western and northwestern regions of Iran

Vahideh Abtahi[1], Saeed Jahanbakhsh Asl *[2], Hashem Rostamzadeh [3], Hassan Lashkari [4]

This paper is an open access and licenced under the CC BY NC licence.

DOI:10.22034/HYD.2023.58037.1705

Refference to this article: Abtahi, Vahideh; Jahanbakhsh Asl, Saeed; Rostamzadeh, Hashem; Lashkari, Hassan. (2023). Finding the origin and synoptic analysis of atmospheric rivers leading to precipitation in the western and northwestern regions of Iran. *Hydrogeomorphology*, 10(35): 120 – 138.

Keywords

Atmospheric River, Tropical Convergence Zone, West and Northwest of Iran, Origin of Atmospheric Rivers, Iran.

Receive Date: 2023/08/22

Accept Date: 2023/12/03

Available: 2024/01/20

A B S T R A C T

In global meteorological literature, atmospheric rivers are defined as long and narrow pathways of intense water vapor transport towards the Polar Regions in the middle latitudes, typically associated with low-level jet streams along the leading edge of extratropical cyclones. In this study, to identify the origins of the incoming atmospheric rivers to the study area, precipitation systems that occurred at more than half of the region's stations were selected. Then, using vertically integrated water vapor flux data from the east and north of the study area with a spatial resolution of 0.5 x 0.5 degrees, the magnitude of the water vapor flux was calculated. To calculate the magnitude of the flux, data including specific humidity and meridional and zonal winds at pressure levels from 1000 to 300 hPa were used. Showed that these rivers have entered northwest and west of Iran from four moisture sources. The sources are the warm southern seas (the Sudan - Red Sea low-pressure pattern), the convergence zone region, the combined source of the Sudan low-pressure system and the Mediterranean circulation, and the Mediterranean Sea. Among these sources, the warm seas of Arabia and Oman and the Red Sea had the largest share in the incoming rivers to the region. These atmospheric rivers have been the strongest in terms of both temporal continuity and moisture flux. They first enter southwest Iran and then into the study area. The atmospheric rivers with the convergence zone source rank second in terms of their contribution to the region's precipitation. After passing through the eastern Mediterranean coastal countries and Iraq, these rivers enter the study area. Overall, the incoming atmospheric rivers to this region have the highest probability of occurrence in the time interval from 00 to 06 Greenwich Mean Time.

*** Corresponding Author:** Saeed Jahanbakhsh Asl, Professor of Climatology, Faculty of Geographical Sciences. Tabriz, Iran.
E-mail: s_ jahan@tabrizu.ac.ir

1. Ph.D. student Climatology, Faculty of Geographical Sciences. Tabriz, Iran
2. Professor of Climatology, Faculty of Geographical Sciences. Tabriz, Iran.
3. Associate Professor of Climatology, University of Tabriz, Iran. t Professor of Climatology, University of Tabriz, Iran.
4. Professor, Department of Physical Geography, School of Earth Science, The University of Shahid Beheshti (SBU), Tehran, Iran

Extended Abstract

Extended Abstract

Introduction

Moisture supply for precipitation systems is one of the most important elements in the thermodynamic energy of the system and the intensity of precipitation. Atmospheric rivers indicate conditions where a huge amount of moisture has been advected into the systems. Therefore, identifying the moisture origin of such systems and synoptic patterns leading to the formation of these conditions will greatly help in forecasting heavy rains and weather forecasts.

Methodology

To conduct this research, the rainfall data of all the stations were first identified in this region. According to the selected statistical period for the research, these data were extracted from the Iran Meteorological Organization for a statistical period of 11 years (2006-2016). Since the number of rainy days was very high due to the large number of stations and the diversity of the region, these samples were selected by selecting the criteria. For the investigation and analysis, therefore, systems were selected that had rained at least in half of the selected stations. In the next step, the magnitude of the vertical water vapor flux was calculated using the data of the vertical water vapor flux in the east and north with a spatial resolution of 0.5*0.5 degrees of arc. The magnitude of the flux was calculated using the data of the vertical flux of water vapor, including specific humidity and orbital and meridional winds from the level of 1000-300 hpa.
Then, the atmospheric rivers were calculated and drawn for all the days involved in the rainfall system and with 3-hour time intervals. Because no structural features were realized in all the selected hours, only the rivers that met all the defined conditions were kept for further studies, and the rest of the rivers were removed from the analysis process. In this research, therefore, concentrated paths of water vapor flux above the threshold with continuity in length (at least 2000 km) and a length-to-width ratio greater than two were determined as an atmospheric river. Finally, the origin of the atmospheric rivers was identified according to the origin of the atmospheric river formation. Then, the axis of the atmospheric river was drawn using the region of the highest moisture content in the atmospheric river in each cross-section.

Results and Discussion

According to the results of this research, despite the proximity of this region to the moisture sources of the Mediterranean, Caspian, and Black seas, these seas do not play an essential role in providing moisture to atmospheric rivers. However, the warm southern seas are responsible for a higher share of the atmospheric rivers entering the region. As such, 45.5% of the rivers entering the region are directly affected by the low pressure of Sudan and the humidity of the southern seas, and 21% are in the integrated state of low pressure of Sudan and the Mediterranean Sea, and the humidity of the Mediterranean Sea and southern seas have been formed and entered the study area. Atmospheric rivers with the humid origin of the tropical convergence zone and those with the origin of the Mediterranean Sea are in the next ranks.
Another phenomenon related to the atmospheric rivers in the west and northwest regions is the lack of continuity of the atmospheric rivers in a certain period. In other words, when the atmospheric river enters the study area, it may only last for 2-3 hours and then disappear or move. The atmospheric river may be active with the same fixed origin for several days in a row over other regions of Iran. Basically, the atmospheric rivers that enter the study area from the origin of the Mediterranean Sea have the least continuity. In general, the atmospheric rivers with the origin of the South Seas have been stronger than other sources both in terms of time continuity and the intensity and amount of moisture transfer.

Conclusions

The results of this research demonstrate that the atmospheric rivers that lead to heavy rains are generally from the two origins of the warm southern seas or a combination of two sources of moisture from the Arabian and Oman seas in the lower troposphere and moisture transferred from the tropical convergence zone in the middle troposphere. These atmospheric rivers are most active between 00:00 and 06:00 GMT.

مقاله پژوهشی

منشأ یابی و تحلیل همدیدی رودخانه‌های جوی منجر به بارش در منطقه غرب و شمال غرب ایران

وحیده ابطحی [۱]، سعیدجهانبخش اصل* [۲]، هاشم رستم‌زاده [۳]، حسن لشکری [۴]

این مقاله به صورت دسترسی باز و با لایسنس CC BY NC کریتیو کامانز قابل استفاده است.

DOI:10.22034/HYD.2023.58037.1705

ارجاع به این مقاله: ابطحی، وحیده؛ جهانبخش اصل ، سعید؛ رستم‌زاده ، هاشم ؛ لشکری،حسن (۱۴۰۲). منشأ یابی و تحلیل همدیدی رودخانه‌های جوی منجر به بارش در منطقه غرب و شمال غرب ایران. *هیدروژئومورفولوژی*، ۱۰ (۳۵): ۱۳۸– ۱۲۰.

چکیده

رودخانه‌های جوّی در ادبیات آب و هواشناسی جهانی مسیرهایی باریک و طویل از انتقال قوی بخارآب به‌سوی قطب در عرض‌های میانه تعریف‌شده‌اند که عموماً با جریان‌های جت سطح پایین در پیشانی جبهه‌ٔ سرد سیکلون‌های برون حاره همراهی می‌شوند.در این پژوهش برای شناسایی منشأ رودخانه‌های جوی ورودی به منطقه موردمطالعه، ابتدا سامانه‌های بارشی که در بیش از نیمی از ایستگاه‌های منطقه رخداده بودند، انتخاب گردیدند. سپس با استفاده از داده‌های جریان قائم بخارآب شرق سو و شمال سو با تفکیک مکانی ۰/۵×۰/۵ درجه قوسی، بزرگی جریان قائم بخارآب محاسبه شد. برای محاسبه بزرگی جریان از داده‌های جریان قائم بخارآب شامل نم ویژه و وزش‌های مداری و نصف‌النهاری از تراز ۱۰۰۰ تا ۳۰۰ هکتوپاسکالی استفاده‌شده است. بررسی مبدأ شروع و مسیر عبور رودخانه‌های جوی واردشده به منطقه نشان داد که این رودخانه‌ها از چهار منشأ رطوبتی وارد شمال غرب و غرب ایران شده‌اند. منشأ دریاهای گرم جنوبی (با الگوی کم‌فشار سودان – دریای سرخ)، منشأ منطقه همگرایی حاره‌ای، منشأ ترکیبی کم‌فشار سودان و چرخند مدیترانه و منشأ دریای مدیترانه. از این میان، منشأ دریاهای گرم عرب و عمان و دریای سرخ بیشترین سهم را در رودخانه‌های ورودی به منطقه داشته‌اند. این رودخانه‌های جوی هم ازلحاظ تداوم زمانی و هم ازلحاظ مقدار جریان رطوبتی، قوی‌ترین رودخانه‌ها بوده‌اند. این رودخانه‌ها ابتدا وارد جنوب غرب ایران شده و در ادامه وارد منطقه مطالعاتی می‌شوند. رودخانه‌های جوی با منشأ منطقه همگرایی حاره‌ای ازلحاظ سهم مشارکت در بارش‌های منطقه در رتبه دوم قرار دارند. این رودخانه‌ها پس از عبور از کشورهای ساحل شرقی مدیترانه و عراق وارد منطقه مطالعاتی شده‌اند. درمجموع رودخانه‌های جوی ورودی به این منطقه ازلحاظ رخداد زمانی در بازه زمانی ۰۰ تا ۰۶ گرینویچ بالاترین احتمال رخداد رادارند.

کلیدواژه‌ها

رودخانه جوی، منطقه همگرایی حاره‌ای، منشأ رودخانه جوی، غرب و شمال غرب ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۳۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۱۲
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۰/۳۰

* نویسنده مسئول: سعید جهانبخش اصل
رایانامه: S_jahan@tabriz.ac.ir

۱- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
۲- استاد گروه آب و هواشناسی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز ، ایران.
۳- دانشیار گروه آب و هواشناسی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز ، ایران.
۴- استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

مقدمه

رودخانه‌های جوّی (ARs[1])، سیستم‌های سینوپتیکی هستند که به‌صورت جریان‌هایی از انتقال بخارآب شدید در تروپوسفر پایینی مشخص می‌شوند. نتایج مطالعات پیشین نشان داد که رخداد رودخانه‌های جوّی ارتباط نزدیکی با انتقال شدید بخارآب توسط جت سطح پایین در پیشانی جبهه سرد واقع در سیستم‌های سیکلون ترازها میانی و بالاتر دارد (سودمن و استول[2]،۲۰۱۳ص۲۸۵۰؛ اکهارت و همکاران[3]، ۲۰۰۴ص۲۱۸). همچنین مشخص‌شده است که رودخانه‌های جوّی عامل بیش از ۹۰ درصد از انتقال بخارآب قطب سو در عرض‌های جغرافیایی متوسط به بالا، به‌ویژه در شمال غربی اقیانوس‌های آرام و اطلس شمالی می‌باشند. درحالی‌که رخداد آن‌ها فقط ۱۰٪ از کل پهنه را در یک عرض جغرافیایی معین پوشش می‌دهد (نیول و همکاران[4]، ۱۹۹۲ص۲۴۰۱؛ ژو و نیوول[5]، ۱۹۹۴ص۱۹۹۹; رالف و همکاران[6]، ۲۰۰۴ص۱۷۲۱; ۲۰۰۵ص۸۸۹). به دلیل فرارفت ناحیه‌ای قوی بخارآب، رودخانه‌های جوّی نقش مهمی در بیلان جهانی رطوبت ایفا می‌کنند و منبع اصلی رطوبت در مناطق جنب‌حاره‌ای محسوب می‌شوند(نیومن و همکاران[7]، ۲۰۱۲ص۷۳۴۱). مطالعات گسترده‌ای که قبلاً درزمینه رودخانه‌های جوّی صورت گرفته‌اند عمدتاً آن‌ها را از دیدگاه تاریخی برای منطقه غرب آمریکای شمالی یا اقیانوس اطلس موردبحث قرار داده‌اند (نیمان و همکاران[8]،۲۰۰۲ص۱۴۶۸؛ دتینگر و همکاران[9]،۲۰۱۱ص۴۴۵؛ لاورز و ویلارینی[10]، ۲۰۱۵ص۳۸۲؛ ماهونی و همکاران[11]،۲۰۱۶ص۱۶۱۷؛ نایاک و همکاران[12]،۲۰۱۶ص۲۵۷؛ دبیج و همکاران[13]،۲۰۱۷ص۴۰۷۷؛ میلر و همکاران[14]،۲۰۱۸ص۲۸۳). (استول و همکاران[15]،۲۰۰۸ص۱؛ لاورز و همکاران[16]،۲۰۱۱ص۳۸۲؛ راموس و همکاران[17]،۲۰۱۸ص۳۲۵؛ اکبری و همکاران[18]،۲۰۱۹ص۳۹۷۶). پژوهش‌های انجام‌شده درزمینه رودخانه‌های جوّی آسیا کمتر بوده و نقش این رودخانه‌ها در رویدادهای بارش شدید این قاره هنوز به‌اندازه کافی درک نشده است. چنین کمبود مطالعاتی احتمالاً به این دلیل است که رودخانه‌های جوّی در منطقه خارج از مناطق حاره معمولاً با چرخندهای عبوری همراه است و این رودخانه‌ها در دل این چرخندها هضم شده و موردتوجه قرار نمی‌گیرند(کاسپی و اشنایدر[19]،۲۰۱۳ص۲۵۹۶). (لاکشمی و ستیانارایانا[20]، ۲۰۱۹ص۱۲)، به نقش رودخانه‌های جوّی در رخداد بارندگی‌های شدید منطقه چنی (بخشی از جنوب شرق هند) در سال۲۰۱۵پرداختند. آن‌ها با استفاده از داده دوباره واکاوی شده، موضوع را موردبررسی قراردادند. آن‌ها نشان دادند که از بین این داده‌ها ، داده‌های دوباره واکاوی شده MERRA رودخانه‌های جوی را بهتر از داده‌های سایر پایگاه‌ها نمایان می‌سازند. کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که در دوره مطالعاتی (۲۰۱۵-۱۹۷۹) رابطه بین شار قائم بخارآب (IVT) و بارندگی‌های شدید در سطح اطمینان ۹۹/۵٪ معنی‌دار بوده است.این مطالعه همچنین نشان داد که رودخانه‌های جوی عامل اصلی بیش از ۶۰٪ بارش شدید در چین، ژاپن و شبه‌جزیره کره بوده است (لیانگ و یانگ[21]،۲۰۲۱ص۸۰۱؛ کیم و همکاران[22]،۲۰۲۰ ص۲۲۴۴؛ پارک و همکاران[23]، ۲۰۲۱ص۱).

از مطالعاتی که درزمینه رودخانه‌های جوی در ایران انجام‌شده است می‌توان به پژوهش‌های زیر اشاره کرد: سلیمی و سلیقه (۱۳۹۵) به بررسی جابجایی بخارآب از طریق رودخانه جوّی پرداختند. نتایج نشان دادند که سالانه به‌طور میانگین، حدود دوازده رودخانه جوّی بر روی ایران تشکیل می‌شود که رطوبت بخشی از بارش‌های آن را تأمین می‌کنند. همچنین رودبادها، عامل به وجودآورندهٔ این پدیده هستند. رطوبت موجود در این رودخانه‌ها به‌طور میانگین حدود شش برابر محیط آن‌ها بوده و در طول مسیر، از چشمه‌های اتمسفری تغذیه می‌کنند. ازنظر رطوبت، رودخانه‌های جوّی واقع در جنوب و جنوب غرب کشور بیشترین مقدار رطوبت را داشته و ازنظر بارش، رودخانه‌های جوّی جنوبی دارای بیش‌ترین مقدار بوده و حتی منجر به سیلاب و آب‌گرفتگی معابر در شهرهای این مناطق می‌شوند.

شادمانی (۱۳۹۵) در مطالعه‌ای تلاش کرده است تا با استفاده از یک الگوریتم مشابه، وجود یا عدم وجود رودخانه‌های جوّی و تأثیر آن‌ها را بر روی دو مورد از بارندگی‌های شدید منجر به سیلاب در غرب و جنوب کشور را موردبررسی قرار دهد. نتایج نشان داده اند که طولانی‌ترین مسیر حاصل در مورد بارش‌های سیل‌آسا در غرب کشور ساعت ۰۶ گرینویچ ۵ آبان (۲۷ اکتبر) یک روز قبل از شروع

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
10 - Lavers and Villarini
11 - Mahoney et al
12 - Nayak et al
13 - Debbage et al
14 - Miller et al
15 - Stohl et al
16 - Lavers et al
17 - Ramos et al
18 - Akbary et al
19 - Kaspi and Schneider
20 - Lakshmi and Satyanarayana
21 - Liang and Yong
22 - Kim et al
23 - Park et al

بارندگی‌ها در منطقه موردمطالعه درنتیجه مسیری به بلندی ۲۱ نقطه در راستای طول جغرافیایی (در حدود ۱۰ درجه طول جغرافیایی) به‌صورت مستمر حاصل می‌شود.

اسفندیاری و لشکری (۲۰۲۰) به تحلیل رودخانه‌های جوّی، نحوه شکل‌گیری و مسیرهای ورود آن بر روی ایران پرداخته‌اند. نتایج نشان دادند که رودخانه‌های جوّی از مسیرهای مختلف وارد ایران می‌شوند. با طبقه‌بندی مسیرهای ورود به لحاظ موقعیت مکانی و پس از انجام تحلیل‌های سینوپتیکی برای هر مسیر، مشخص شد که جابجایی به سمت غرب یا شرق پرفشار جنب‌حاره‌ای عربستان (ASA1) و همراه با الگوی گسترش ناوه مدیترانه‌ای نقش مهمی در تعیین مسیرهای رودخانه‌های جوّی دارند.

اسفندیاری و لشکری(۲۰۲۰) نقش رودخانه‌های جوی را در رخداد بارش‌های سنگین کشور ایران موردبررسی قراردادند. نتایج مطالعات نشان دادند که در طی دوره مطالعاتی، ۱۰۷ رودخانه جوّی بر بارندگی شدید منطقه تأثیرگذار بوده و درواقع این رودخانه‌ها رطوبت لازم برای بارش‌های ایران را فراهم می‌کنند.

منطقه غرب و شمال غرب به دلیل دارا بودن شرایط توپوگرافی متنوع ، ناحیه مناسبی برای تشدید و گسترش بارندگی و گاهی جاری شدن سیل است. سیل‌های رخداده در سال‌های اخیر در این مناطق از جمله سیل ۱۳۹۶ شمال غرب و یا سیل ۱۳۹۸ در غرب کشور گویای این مطلب است. و در این زمینه می توان به مطالعات (منتظری،۱۳۹۵ص۱۳۷؛ عساکره و همکاران،۱۳۹۵ص۱۱۳) اشاره کرد. بر این اساس، تاکنون مطالعات زیادی در مورد بارش‌های رخداده در این مناطق صورت گرفته که هر یک از زوایای مختلف به مطالعه این موضوع مهم پرداخته‌اند .

نکته قابل‌تأمل، این است که هرچند رودخانه‌های جوّی، یکی از مهم‌ترین عوامل در ایجاد بارش‌های سیل‌آسا می‌باشند اما متأسفانه اکثر مطالعات در مورد آن‌ها در شرق اقیانوس آرام و منطقه غربی آمریکای شمالی انجام‌شده و بااینکه کشور ما جز مناطق کم آب جهان محسوب می‌شود و تجزیه‌وتحلیل مکانی - زمانی این پدیده می‌تواند تأثیرات مهمی بر پیش‌بینی و پیش‌آگاهی بارش‌های سیلابی در منطقه داشته باشد، اما جزء پژوهش‌هایی است که کمتر موردتوجه محققین ایرانی قرار داشته است.عمده کارهای انجام‌شده به دو تحقیق سلیمی و سلیقه (۱۳۹۵) و اسفندیاری و لشکری(۲۰۲۰) محدود می‌شود. بنابراین، با توجه به نقش رودخانه‌های جوی در ایجاد بارش‌های سنگین در مناطق مختلف جهان و کشور ایران و همچنین مناطق غرب و شمال غرب کشور به‌عنوان یکی از قطب های کشاورزی و دامداری ایران ضرورت دوچندان پیدا می‌کند. بنابراین، هدف اصلی این پژوهش، شناسایی منشأ رودخانه‌های جوی ورودی به منطقه و الگوهای همدیدی غالب مؤثر بر بارش‌های سنگین این منطقه است.

مواد و روش

سرزمین موردمطالعه بین عرض جغرافیایی۳۴ درجه و۱۲ دقیقه تا۳۹ درجه و ۳۳ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۴ درجه و۳۹ دقیقه تا۴۹ درجه و۲۱دقیقه قرار دارد. ازنظر تقسیمات اداری این منطقه شامل استان‌های اردبیل، آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، زنجان، همدان، کردستان، کرمانشاه است. برای انجام این تحقیق ۲۶ ایستگاه از ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه که در دوره آماری دارای آمار کامل بوده‌اند استفاده‌شده است.شکل شماره پراکندگی ایستگاه‌های منتخب در محدوده منطقه موردمطالعه نشان داده‌شده‌اند (شکل ۱).

روش تحقیق انتخاب‌شده برای این تحقیق محیطی به گردشی است. درنتیجه رویکرد حاکم بر آن بر پایه رخدادهای محیطی بوده است. بر این اساس پژوهش در مراحل و گام‌های زیر انجام‌شده است:

۱-انتخاب دوره پایه آماری : در این مرحله برای این‌که دوره پایه انتخابی از یک‌پایه علمی قوی برخوردار باشد دوره آماری منطبق با سه سیکل خورشیدی اخیر دوره آماری ۳۳ ساله (۱۹۸۶-۲۰۲۰) انتخاب گردید.

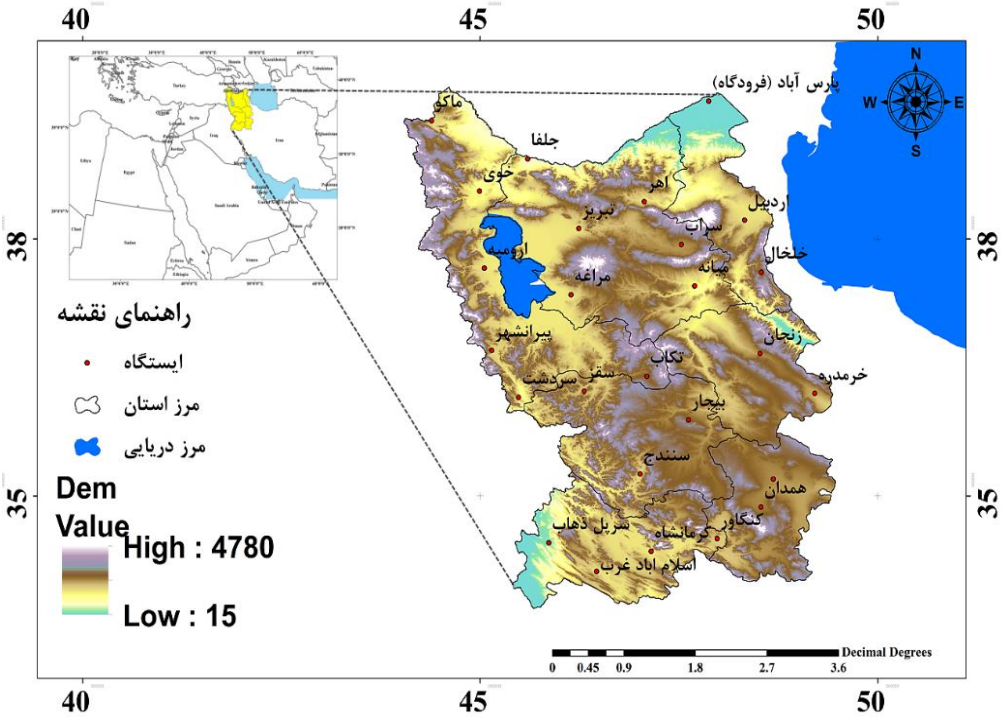
۲-انتخاب دوره آماری: در این بخش با دو هدف انتخاب حداکثری از ایستگاه‌های منطقه و پراکنش مناسب آن‌ها در پهنه غرب و شمال غرب کشور، تعداد ۲۶ ایستگاه انتخاب گردید.

---

[1]- Arabian subtropical anticyclone

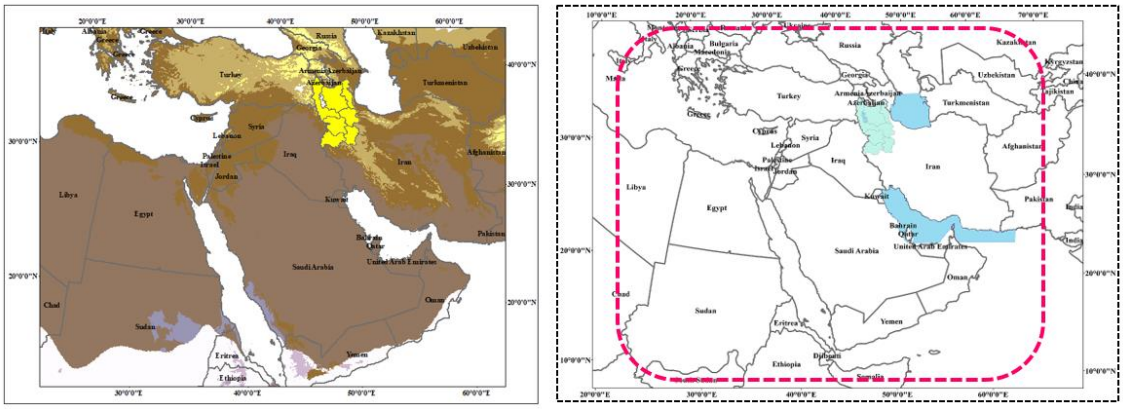
۳ –انتخاب نمونه‌های مطالعاتی :در این گام نمونه‌های مطالعاتی انتخاب گردیده‌اند. در این مرحله تمام سامانه‌هایی که در بیش از نیمی از ایستگاه‌های انتخابی دریکی از روزهای فعالیت سامانه، بارش ثبت‌شده داشته و حداقل دریکی از آن‌ها بارش ۵ میلی‌متر و بیشتر ثبت‌شده بود تفکیک گردیدند(اسفندیاری و همکاران،۲۰۲۰ص۵۶۹؛ محمدی و همکاران،۲۰۲۱ص۱)

۴-برای شناسایی و منشأ یابی رودخانه‌های جوی مؤثر بر بارش‌های منطقه غرب و شمال غرب محدوده‌ای انتخاب گردید که بتواند نشان‌دهنده تمام منابع آبی محتمل باشد که در تأمین رطوبت رودخانه‌های جوی مشارکت داشته‌اند. شکل ۲ محدوده جغرافیایی انتخاب‌شده برای شناسایی محدوده تکوین و مسیر عبور رودخانه‌های جوی را نشان می‌دهد.



شکل (۱): موقعیت منطقه موردمطالعه در نقشه ایران و پراکندگی ایستگاه‌های منتخب در محدوده آن

Fig (1): The location of the studied area on the map of Iran and the distribution of the selected stations in its area



شکل (۲): محدوده جغرافیایی انتخاب‌شده برای شناسایی محدوده تکوین و مسیر عبور رودخانه‌های جوی

Fig (2): The geographical area selected to identify the area of formation and passage of atmospheric rivers

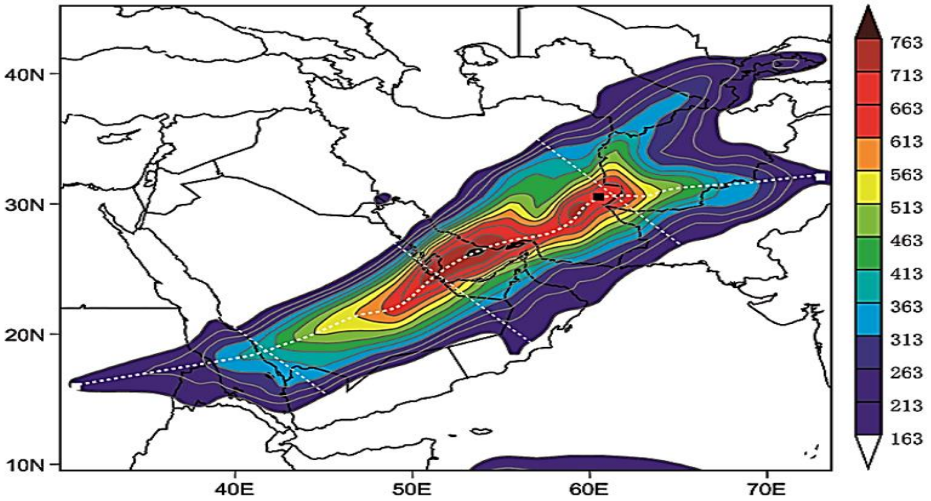
۵-تمام سامانه‌های جوّی ازلحاظ همراهی با رودخانه‌های جوی موردبررسی قرار گرفتند. برای ترسیم رودخانه‌های جوّی از معادله جریان قائم رطوبت استفاده شد. برای این کار داده‌های رطوبت و نم ویژه برای تمام ترازهای دریا تا ۳۰۰ هکتوپاسکال از سایت ECMWF با توان تفکیک ۰/۲۵ در ۰/۲۵ درجه قوسی دریافت شد. رابطه(۱) استفاده‌شده برای استخراج رودخانه‌های جوی به شرح زیر است.برای

محاسبه بزرگی جریان از داده‌های جریان قائم بخارآب شامل نم ویژه و وزش‌های مداری و نصف‌النهاری از تراز ۱۰۰۰ تا ۳۰۰ هکتوپاسکالی جو استفاده می‌شود که در دستگاه اویلری به‌صورت زیر قابل‌محاسبه است: (ژو و نیوول[1]، ۱۹۹۴ص۱۹۹).

$$IVT = \sqrt{(\frac{1}{g}\int_{1000hpa}^{300\,hpa} qu\,dp)^2 + (\frac{1}{g}\int_{1000hpa}^{300hpa} qv\,dp)^2} \quad (۱)$$

در رابطه فوق q نشان‌دهنده نم ویژه (گرم بر کیلوگرم) u وv مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری (متر بر ثانیه) g شتاب گرانی و dp اختلاف فشار میان دو سطح تعیین‌شده است. به بیان کلی‌تر مؤلفه‌های زیر رادیکال شار قائم بخارآب در حالت مداری یا شرق سو بعلاوه جریان قائم بخارآب نصف‌النهاری یا شمال سو را به دست خواهد داد.

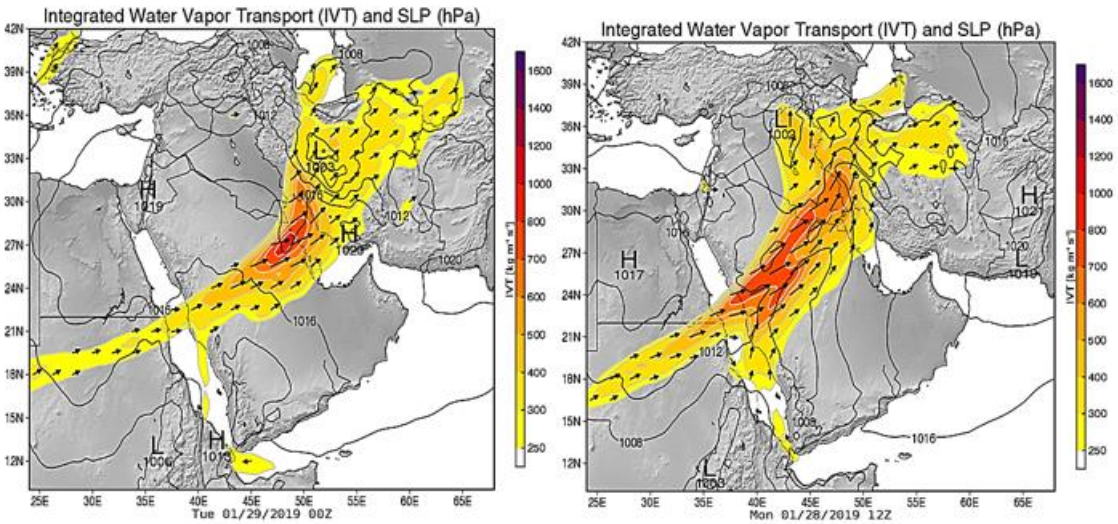
مسیر رودخانه‌های جوّی برای تمام‌روزهای درگیر با بارش سامانه و با فواصل زمانی ۳ ساعته محاسبه و ترسیم گردیده‌اند. با توجه به این‌که در تمام ساعات انتخابی ویژگی‌هایی ساختاری تحقق پیدا نکرده بود فقط رودخانه‌هایی که تمام شرایط تعریف‌شده را احراز کرده بودند برای ادامه مطالعه حفظ شد و بقیه رودخانه‌ها از فرایند تحلیل حذف گردید. لذا با استناد به کار(گوان و الیزر[2] ، ۲۰۱۵ص۵۱۴) از آستانه صدک ۸۵ ام جریان بخارآب منطقه استفاده شد. بنابراین در این پژوهش مسیرهایی متمرکز از جریان بخارآب بالاتر از آستانه با پیوستگی در طول (حداقل ۲۰۰۰ کیلومتر) و نسبت طول به عرض بیش از دو به‌عنوان یک رودخانه اتمسفری در نظر گرفته شدند(شکل۳). بر این اساس در برخی از سامانه‌های بارشی فقط در یک بازه زمانی ۳ ساعته بارش سامانه با رودخانه جوی همراه بوده و در سایر اوقات فعالیت سامانه رودخانه‌ای شکل نگرفته یا وارد منطقه مطالعاتی نشده است. بنابراین در موارد زیادی از دوره فعالیت سامانه رودخانه جوی در سایر نقاط کشور یا منطقه غرب آسیا وجود داشته است ولی وارد منطقه مطالعاتی نشده است. این‌گونه رودخانه‌ها نیز از محاسبات و تحلیل حذف‌شده‌اند. درحالی‌که در سامانه بارشی دیگر ممکن بود در بیشتر ایام فعالیت سامانه رودخانه جوی شکل‌گرفته و بر فعالیت بارشی سامانه مؤثر بوده باشد. بنابراین تعداد رودخانه‌های جوی شناسایی‌شده با تعداد سامانه‌های بارشی منطبق نیست بلکه به تعداد روزهای فعالیت بارشی سامانه و همچنین تعداد رودخانه‌های شکل‌گرفته در دوره فعالیت سامانه با فواصل زمانی سه‌ساعته مرتبط است. با این معیار حدود ۷۵رودخانه جوی مرتبط با بارش در منطقه شمال غرب ایران شناسایی گردید.



شکل (۳): تعیین طول و عرض رودخانه جوی منبع: لشکری و اسفندیاری، ۱۳۹۸

Fig (3): Determining the length and width of atmospheric rivers

[1] - Zhu and Newell [2]- Guan and Waliser



شکل (۴): نمونه رودخانه‌های جوی (IVT)، تراز فشار دریا(SLP)در ساعت‌های ۰۰، ۱۲ روزهای ۲۸ و ۲۹ژانویه ۲۰۱۹

Fig (4): Sample of atmospheric rivers (IVT), sea level pressure (SLP) at 00:00, 12:00 on January 28 and 29, 2019

۶-در گام ششم با توجه به مبدأ شکل‌گیری رودخانه‌های جوّی منشأ آن‌ها شناسایی گردید. سپس با استفاده از منطقه دارای بالاترین مقدار رطوبت درون رودخانه جوی در هر برش عرضی محور رودخانه جوی ترسیم گردید (شکل ۴). این بررسی نشان داد که رودخانه‌های جوی از سه منشأ اصلی سرچشمه می‌گیرند.

الف :رودخانه جوی با منشأ دریاهای گرم جنوبی (کم‌فشار سودانی و تراف دریای سرخ).

ب:رودخانه‌های جوی با منشأ اقیانوس اطلس و منطقه همگرایی حاره‌ای.

ج:رودخانه‌های جوی با منشأ دریای مدیترانه.

د: رودخانه‌های جوی با منشأ ترکیبی دریاهای گرم جنوبی و دریای مدیترانه.

۷-در گام بعد بر اساس منشأ رودخانه‌های جوی داده‌های نم ویژه، باد مداری و نصف‌النهاری و ارتفاع ژئوپتانسیل برای ترازهای دریا تا ۸۵۰ هکتوپاسکال از داده‌های سایت NCEP/NCAR دریافت گردید. سپس نقشه‌های ترکیبی برای تمام سامانه‌های بارشی مرتبط با رودخانه جوی (روز یا دوره زمانی منطبق با تشکیل رودخانه) ترسیم شد. با بررسی چشمی چندین‌باره، الگوهای همدیدی حاکم شناسایی گردید و الگوی پرتکرار برای هر منشأ رودخانه انتخاب گردید.

۸-در گام نهایی داده‌های نم ویژه ،ارتفاع ژئوپتانسیل،باد مداری و نصف‌النهاری و امگا برای ترازهای ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال از داده‌های سایت ECMWF با توان تفکیک ۰/۲۵ درجه قوسی دریافت شد و نقشه‌های ترکیبی الگوهای همدیدی انتخابی ترسیم و مورد تحلیل قرار گرفتند. همچنین نقشه‌های پهنه‌بندی بارش با روش IDW درمحیط ArcGIS10.5 ترسیم‌شده‌اند.

یافته‌ها و بحث

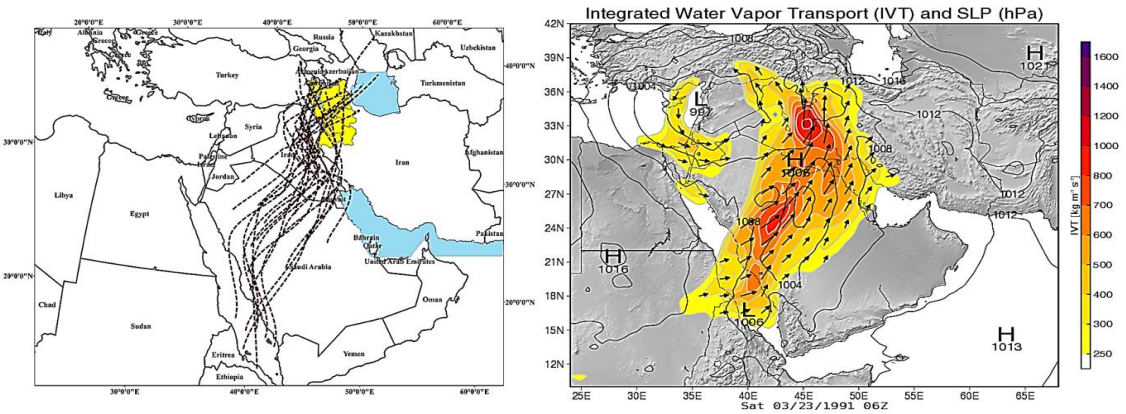
همان‌طور که در بحث روش تحقیق بیان شد برای منشأ یابی رودخانه‌های جوی مرتبط با بارش‌های سنگین منطقه غرب و شمال غرب ۷۵ رودخانه جوی استفاده‌شده است.منشأ یابی رودخانه‌ها بر اساس نقطه شروع رودخانه و مسیر عبور آن یا محور رودخانه انجام‌شده است.باید توجه داشت ۷۵ رودخانه انتخابی شامل رودخانه‌هایی بوده است که وارد تمام یا بخشی از آن وارد منطقه غرب و شمال غرب ایران شده است.بنابراین تعداد زیادی رودخانه که در دوره فعالیت بارشی سامانه بر روی منطقه در خارج از محدوده قرار داشته‌اند منشأ یابی نشده‌اند.در انتخاب نمونه‌هایی از هر الگوی همدیدی نیز نمونه‌هایی از هر الگو که بیشترین تعداد رودخانه را در بازه‌های زمانی ۳ ساعته دارای رودخانه بوده است برای تحلیل الگوی همدیدی گزینش‌شده‌اند.

۳-۱- منشأ یابی رودخانه‌های جوی مؤثر بر بارش‌های غرب و شمال غرب

در دوره آماری۱۹۸۷ تا ۲۰۲۰ بر اساس معیارهای ذکرشده در بخش روش‌شناسی ۷۵ رودخانه جوی شناسایی گردید. این رودخانه‌ها با فواصل زمانی سه‌ساعته در دوره فعالیت سامانه بارشی درصورتی‌که شرایط رودخانه جوی را احراز کرده باشند در شمارش و منشأ یابی دخالت داده‌شده‌اند. از این تعداد ۴۵/۵ درصد رودخانه‌ها از منشأ دریاهای جنوبی (کم‌فشار سودان) ، ۲۱ درصد از منشأ آب‌های اقیانوس اطلس و منطقه همگرایی حاره‌ای (الگوی ترکیبی کم‌فشار سودان و مدیترانه‌ای) و ۱۴/۵ درصد از منشأ آب‌های دریای مدیترانه و ۱۸/۵ درصد از منشأ ترکیبی دریاهای گرم جنوبی و دریای مدیترانه وارد منطقه مطالعاتی شده‌اند. به‌این‌ترتیب رودخانه‌های جوی با منشأ آب‌های گرم جنوبی بالاترین سهم را از رودخانه‌های جوی مؤثر بر بارش‌های منطقه دارا هستند. اشکال ۵ تا ۸ نمونه‌ای از منشأ هر رودخانه‌های جوی را نشان می‌دهد. هریک از رودخانه‌های جوی با منشأهای مختلف دارای ویژگی‌های متفاوتی می‌باشند.نتایج این تحقیق با یافته‌های (اسفندیاری و همکاران، ۱۳۹۹ص۵۶۹)، در مقاله شناسایی و تحلیل همدید بالاترین بارش‌های مرتبط با رودخانه‌های جوی در ایران همخوانی دارد.در این تحقیق آمده است از ده سامانه نمونه با بارش سنگین انتخابی که ۷ نمونه از سامانه‌های بارشی شدید ۷ نمونه با منشأ کم‌فشار سودان ،۳ نمونه با منشأ ادغامی کم‌فشار سودان و مدیترانه بوده است.به همین دلیل بیشتر این رودخانه‌ها از جنوب و سپس غرب وارد کشور شده است.منشأ رطوبتی عموم این رودخانه‌های جوی از دریاهای جنوبی و سامانه‌های جنوبی بیشترین نقش را در شکل‌گیری و تقویت آن‌ها داشته‌اند.

رودخانه‌های جوی با منشأ دریاهای جنوبی

همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود اکثر این رودخانه‌ها از بخش جنوبی دریای سرخ یا ساحل شرقی این دریا شکل‌گرفته و با راستایی تقریباً جنوبی – شمالی به سمت عرض‌های شمالی گسترش می‌یابند.این رودخانه‌ها عموماً از روز اول شکل‌گیری وارد منطقه غرب و شمال غرب نمی‌شوند بلکه ابتدا از سمت جنوب غرب وارد ایران شده و سپس با تقویت و عمیق شدن ناوه و تشدید جریان‌های جنوبی به‌تدریج به عرض‌های شمالی‌تر گسترش‌یافته و غرب و شمال غرب ایران را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهند. نتایج بررسی‌ها نشان دادند رودخانه‌هایی که وارد غرب و شمال غرب ایران می‌شوند عموماً در ساعت‌های ۰۰ تا ۰۶ به‌وقت گرینویچ از اوج بیشتری برخوردار هستند.



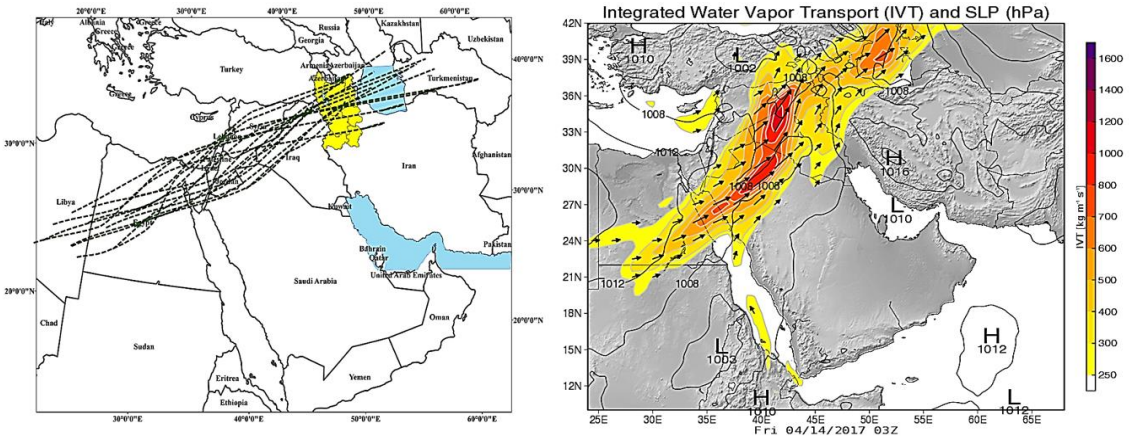
شکل (۵): رودخانه‌های جوی با منشأ دریاهای جنوبی

Fig (5): Atmospheric rivers originating in the southern seas.

رودخانه‌های جوی با منشأ منطقه همگرایی حاره‌ای

همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود این رودخانه‌ها برخلاف رودخانه‌های جوی دیگر قبل از دریای سرخ شکل می‌گیرند. نتایج بررسی‌های انجام‌شده بر روی اشکال این رودخانه‌ها نشان دادند که رطوبت آن‌ها از دو بخش متفاوت در لایه‌های زیرین و میانی و لایه بالایی برخوردار است. در لایه زیرین تروپوسفر رطوبت فرافت شده از روی دریاهای عرب و خلیج عدن و در ادامه دریای سرخ نقش مهمی در فرارفت رطوبت به درون رودخانه ایفا می‌کنند. این رطوبت از طریق جریان‌های غرب سو از روی دریای عرب وارد خلیج عدن شده و پس از عبور از تنگه باب المندب و ورود به دریای سرخ بخشی از رطوبت رودخانه جوی را در لایه زیرین تأمین می‌کند. در لایه‌های میانی

و بالایی تروپوسفر رطوبتی که به‌وسیله جریان‌های همرفتی حاکم بر روی منطقه همگرایی حاره‌ای به لایه‌های میانی تروپوسفر همرفت شده است به‌تدریج در تأمین رطوبت رودخانه‌های جوی مشارکت می‌کند. این پدیده زمانی رخ می‌دهد که ناوه شرقی مدیترانه گسترش جنوب سوی قابل‌توجهی داشته و انتهای جنوبی ناوه تا جنوب سودان و اتیوپی گسترش می‌یابد. در این شرایط رطوبت همرفتی به لایه‌های بالایی در امتداد جریان‌های جنوبی جلوی ناوه به عرض‌های شمالی فرارفت شده و رودخانه اصلی شکل می‌گیرد(شکل ۶).

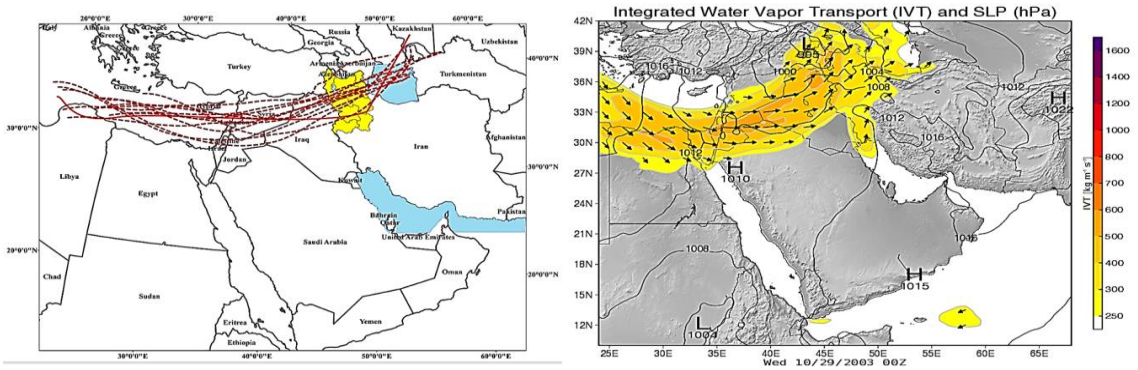


شکل (۶): رودخانه‌های جوی با منشأ منطقه همگرایی حاره‌ای

Fig (6): Atmospheric rivers originating in the tropical convergence zone

رودخانه‌های جوی با منشأ دریای مدیترانه

شکل ۷ نشان می‌دهد که این رودخانه‌ها بیشتر از بخش میانی یا غربی دریای مدیترانه شروع‌شده و عموماً امتدادی غربی – شرقی دارند. این رودخانه‌ها بعد از شکل‌گیری اولیه در غرب دریای مدیترانه به‌تدریج با عبور از روی این دریا تقویت‌شده و با همان راستای غربی – شرقی وارد خشکی‌های غرب آسیا می‌شوند. این‌گونه رودخانه‌ها در شرایط همدیدی اتفاق خواهند افتاد که به دلیل ادغام زبانه‌های دو سامانه واچرخندی عربستان و آفریقا یا زبانه‌های دو واچرخند آفریقا و آزرو، تمام پهنه صحرا در ترازهای زیرین تامیانی تروپوسفر تحت حاکمیت زبانه‌های این سامانه‌های واچرخندی قرار می‌گیرد. در این شرایط ناوه شرق اروپا امکان گسترش و نفوذ به عرض‌های جنوبی پیدا نمی‌کند و درنتیجه ناوه به‌تدریج به سمت غرب (عقب) برمی‌گردد و جریان‌ها در انتهای جنوبی ناوه حالتی مداری پیدا می‌کنند(شکل۷).



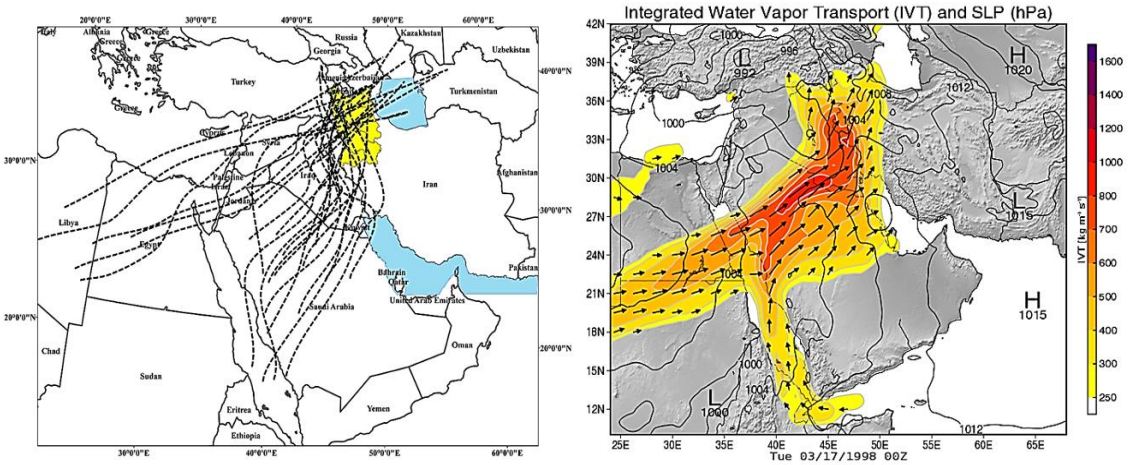
شکل (۷): رودخانه‌های جوی با منشأ دریای مدیترانه

Fig (7): Atmospheric rivers originating in the Mediterranean Sea

رودخانه‌های جوی با منشأ ترکیبی دریاهای گرم جنوبی و دریای مدیترانه

این نوع رودخانه‌های جوی که در منطقه غرب و شمال غرب ایران رودخانه‌های قدرتمندی نیز هستند در آن نوع از الگوهای همدیدی شکل می‌گیرند که در لایه‌های زیرین تروپوسفر با گسترش شمال سوی زبانه کم‌فشار سودان با چرخند مدیترانه‌ای ادغام می‌گردد. در

این الگو هسته واچرخندی عربستان با جابجایی غرب سو بر روی مرکز یا نیمه شرقی شبه‌جزیره عربستان قرار می‌گیرد. در این شرایط همدیدی، زبانه کم‌فشار سودان با اندکی جابجایی غرب سو با عبور از روی کشور مصر و دریای سرخ بر روی آب‌های بخش شرقی دریای مدیترانه (اطراف قبرس) یا قدری شرق سوتر بر روی غرب عراق با چرخند مدیترانه ادغام می‌گردد.



شکل (۸): رودخانه‌های جوی با منشأ ترکیبی دریاهای گرم جنوبی و دریای مدیترانه

Fig (8): Atmospheric rivers with a combined origin of the warm southern seas and the Mediterranean Sea.

در این شرایط رطوبت دریاهای گرم جنوبی در امتداد دامنه شرقی زبانه کم‌فشار سودانی به درون چرخند مدیترانه‌ای فرارفت شده و ضمن ترکیب با رطوبت انتقالی از روی دریای مدیترانه در امتداد جریان‌های غربی ترازهای میانی تروپوسفر به سمت خشکی‌های ساحل شرقی مدیترانه فرارفت می‌شود. درنتیجه رودخانه قبل از ادغام زبانه رطوبتی دو سامانه دارای دوشاخه مستقل غربی و جنوبی است. با توجه به منطقه ادغام زبانه‌های دو سامانه، ادغام زبانه‌های آن‌ها بر روی شرق مدیترانه یا غرب عراق انجام می‌شود(شکل ۸). نتایج این تحقیق در تأیید نتایج مطالعات (اسفندیاری و لشکری ۲۰۲۰ ص ۵۹۶)، در ارتباط با منشأ رودخانه‌های جوی ایران و منطقه غرب و شمال غرب ایران است.

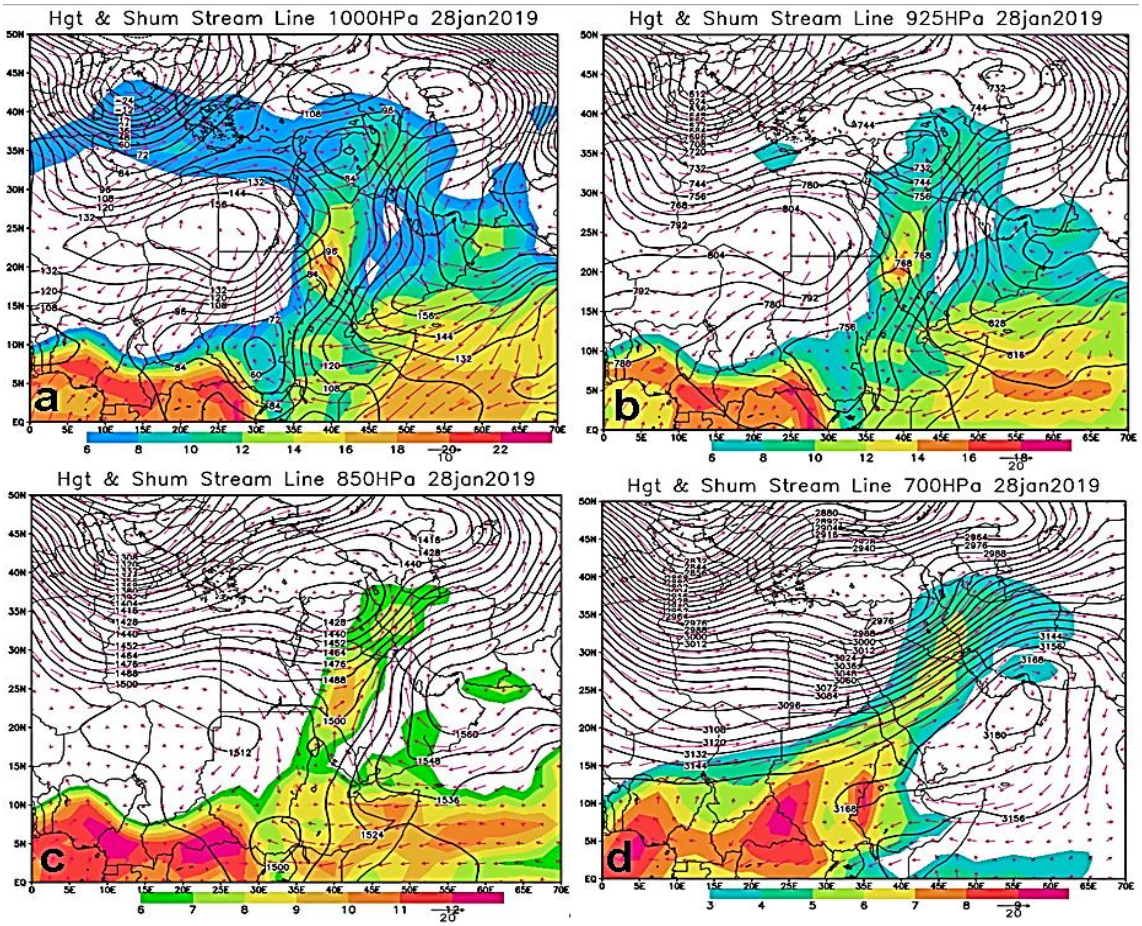
تحلیل الگوهای همدیدی رودخانه‌های جوی با منشأ مختلف

بر اساس یافته‌های پژوهش رودخانه‌های جوی با چهار منشأ مختلف وارد غرب و شمال غرب ایران می‌شوند. در این به جهت رعایت اختصار مقاله الگوی همدیدی ۲ منشأ از آن‌ها تحلیل‌شده است.

الگوی همدیدی رودخانه‌های با منشأ دریاهای گرم جنوبی (الگوی کم‌فشار سودان)

رودخانه‌هایی که از منابع رطوبتی دریاهای گرم جنوبی منشأ می‌گیرند در الگوهای مختلفی شکل می‌گیرند. منشأ تعداد بیشتری از آن‌ها سامانه کم‌فشار سودان است. یا به‌عبارت‌دیگر این سامانه نقش اصلی را در ساختار همدیدی رودخانه‌های این مسیر دارد. شکل ۹ ساختار سامانه‌های این الگو را در ترازهای زیرین تروپوسفر نشان می‌دهد. در این الگو که یکی از الگوهای پرتکرار از کم‌فشار سودان است با توجه به‌سرعت حرکت سامانه از سه تا پنج روز قبل از شروع فعالیت سامانه بارشی بر روی غرب و شمال غرب ایران و گسترش رودخانه بر روی منطقه موردمطالعه زبانه گسترده‌ای از پرفشار سیبری با راستایی شمال شرقی-جنوب غربی پس از عبور از کشورهای آسیای میانه، افغانستان پاکستان و جنوب شرق ایران وارد دریای عمان شده و در ادامه نیمه شرقی شبه‌جزیره عربستان، دریاهای عرب، خلیج عدن را در برمی‌گیرد. همان‌طور که نقشه ترکیبی جریان و ارتفاع ژئوپتانسیل نیز نشان می‌دهد، تندبادهای حاکم بر روی دریاهای عمان و عرب در گردشی واچرخندی رطوبت این دریاهای گرم را به درون زبانه کم‌فشار سودانی فرارفت می‌نمایند. این پدیده حداقل دو تا سه روز قبل از شروع شکل‌گیری رودخانه جوی بر روی دریاهای عرب و عمان غلبه دارد. در این الگو ناوه عمیقی اروپای غربی، بخش غربی دریای مدیترانه و شمال صحرای آفریقا را در برگرفته است. جریان‌های شمالی پشت ناوه هوای سرد جنب قطبی را بر روی صحرای آفریقا فرارفت

می‌نماید. این در حالی است که در تراز زیرین تروپوسفر سلول واچرخندی آفریقا با استقرار بر روی شرق صحرای آفریقا و غرب دریای سرخ (کشورهای مصر و لیبی) در گردشی واچرخندی هوای سرد انتقالی به‌وسیله ناوه را به پشت سامانه سودانی فرارفت می‌نماید. هوای گرم و مرطوب فرارفت شده به درون سامانه سودانی از طریق جریان‌های واچرخندی زبانه پرفشار سیبری و فرارفت سرد به پشت سامانه سودانی به‌وسیله جریان‌های واچرخندی آفریقا سبب تقویت هر چه بیشتر سامانه سودانی شده و زبانه این کم‌فشار در امتداد جریانات جنوب جلوی ناوه ترازهای های میانی به سمت عرض‌های شمالی گسترش‌یافته است. زبانه این کم‌فشار با راستایی جنوب غربی – شمال شرقی با گسترش بر روی دریای سرخ با رطوبت فرارفت شده از منطقه همگرایی دریای سرخ تقویت‌شده و با گسترش شمال شرق سوی تمام پهنه غربی آسیا را در محدوده غرب ایران تا شرق دریای مدیترانه در برگرفته است. سلول چرخندی در امتداد این زبانه بر روی کشور عراق شکل‌گرفته که ناپایداری‌ها را در غرب و شمال غرب ایران تشدید کرده است. رطوبت فرارفت شده در امتداد تندبادهای بخش شرقی زبانه کم‌فشار میدان رطوبتی را در نیمه غربی ایران فراهم نموده است که ضمن تأمین انرژی ترمودینامیکی سامانه چرخندی مستقر بر روی غرب ایران رطوبت لازم را برای جریان‌های همرفتی فراهم نموده است. این شرایط همدیدی و ترمودینامیکی در تمام ترازهای زیرین تروپوسفر(تراز دریا تا ۸۵۰ هکتوپاسکال) حاکمیت دارد(شکل ۹).

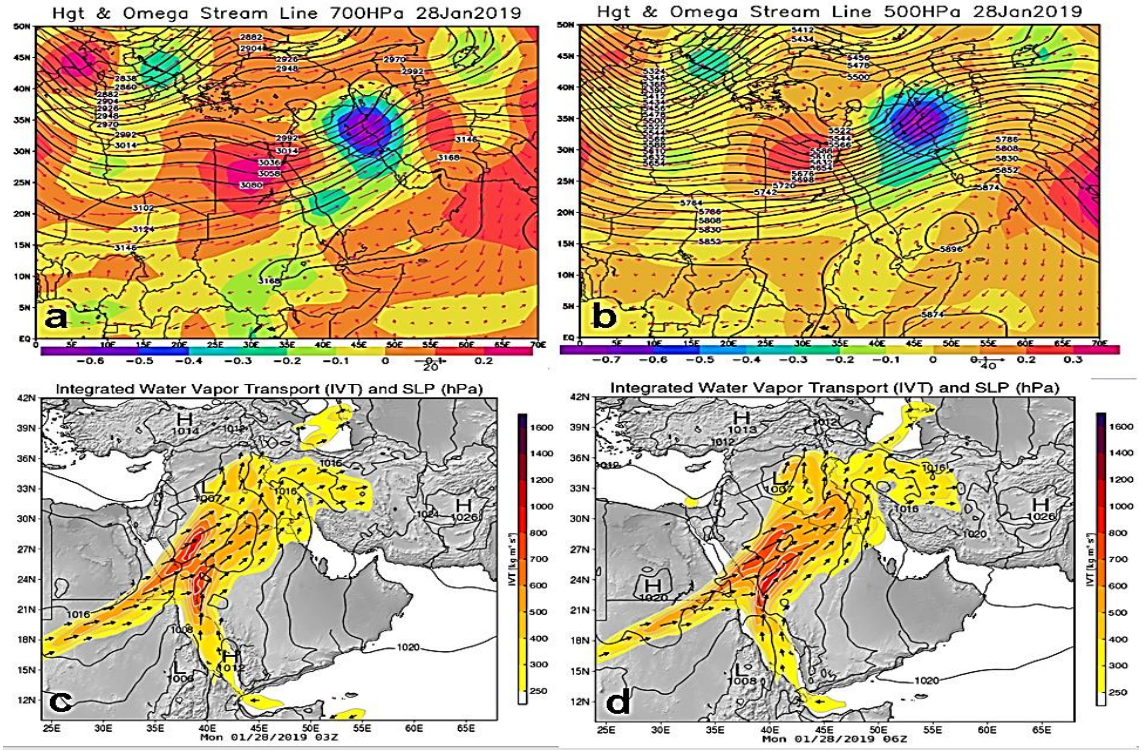


شکل (۹): ارتفاع ژئوپتانسیل (کانتور)، میدان باد (بردار) و رطوبت (سایه‌دار) ترازهای ۱۰۰۰(a)، ۹۲۵(b)، ۸۵۰(c) و ۷۰۰ (d)هکتوپاسکال روز ۲۸ژانویه ۲۰۱۹

Fig (9): Geopotential height (contour), wind field (vector) and humidity (shaded) levels of 1000 (a), 925 (b), 850 (c) and 700 (d) hectopascals on January 28, 2019

در ترازهای میانی تروپوسفر با دور شدن از واداشت های سطحی الگوی های دینامیکی فرایند غالب در سامانه‌ها است.در ترازهای میانی به‌تدریج واچرخند عربستان پدیده غالب بر روی دریاهای عرب و عمان است. با جابجایی شرق سوی این واچرخند و استقرار آن در طول جغرافیایی فراتر از ۵۰ درجه شرقی امکان گسترش جنوب سوی ناوه مدیترانه‌ای را فراهم نموده است. در ترازهای ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال

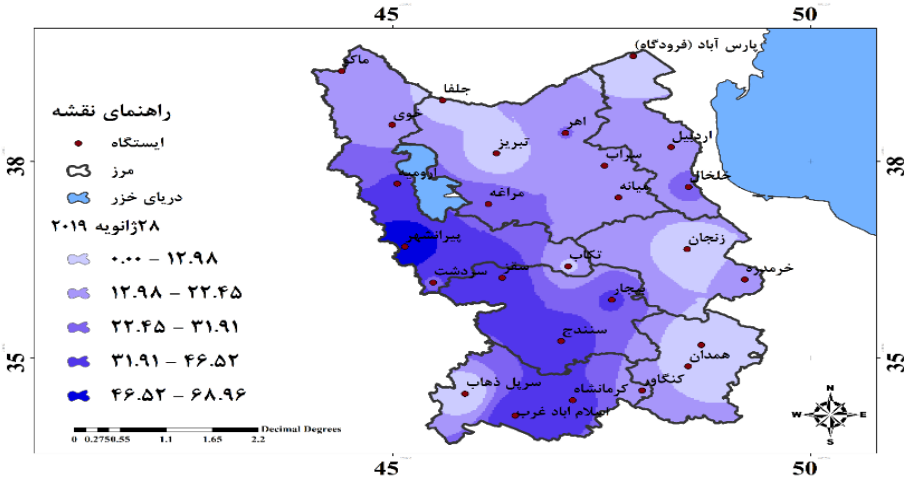
ناوه عمیقی تمام پهنه غرب ایران تا میانه دریای مدیترانه و در امتداد جنوبی تا جنوب صحرا تحت تأثیر این ناوه عمیق قرار دارد. جریان‌های جنوبی جلوی ناوه ضمن تزریق تاوایی مناسب و تشدید ناپایداری‌ها در غرب و شمال غرب ایران فرارفت رطوبتی از عرض‌های حاره‌ای به‌ویژه رطوبت منطقه همگرایی حاره‌ای بر روی منطقه مطالعاتی را فراهم نموده است. رطوبت ایجادشده در بخش شرقی ناوه به‌خوبی بیانگر این فرارفت رطوبتی از عرض‌های حاره‌ای بر روی شمال غرب ایران و تأمین رطوبت رودخانه جوی است(شکل۹d).



شکل (10): ارتفاع ژئوپتانسیل (کانتور)، میدان باد (بردار) و امگای(سایه‌دار) ترازهای 700(a)،500(b) هکتوپاسکال و رودخانه‌های جوی (IVT)، تراز فشار دریا(SLP)در ساعت‌های(c)03، 06(d)روز 28 ژانویه 2019.

Fig (10): Geopotential height (contour), wind field (vector) and Omega (shaded) levels of 700(a), 500(b) hectopascals and atmospheric rivers (IVT), sea level pressure (SLP) at (c) 03 hours, 06(d) on January 28, 2019.

شکل‌های (۱۰a,b)نقشه ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل، جریان و امگا را در ترازهای میانی جو نشان می‌دهد. در این شکل‌ها در هردو تراز ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال میدان گسترده‌ای با امگای منفی تمام پهنه غرب و شمال غرب ایران را در برگرفته است. در بخش‌هایی از غرب و شمال غرب ایران بزرگای امگای منفی به بیش از ۰/۵- تا ۰/۷- پاسکال بر ثانیه می‌رسد. این بزرگا بیانگر جریان‌های بالاسوی قوی بر روی این منطقه است. درنتیجه رطوبت فراوان فرارفت شده به‌وسیله رودخانه جوی در غالب جریان‌های بالاسوی قوی جریان‌های همرفتی قوی را سبب شده و بارش‌های شدیدی را بر روی منطقه ایجاد کرده است. طبق شکل‌های ۱۰c,d حداقل در چهار مقطع زمانی سه‌ساعته (از ساعت ۰۰ گرینویچ تا ۰۹ گرینویچ) رودخانه جوی تا منطقه شمال غرب ایران گسترش داشته است. شکل ۱۱نقشه پهنه بارشی این روز را بر روی منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد. هسته بارشی در این روز بر روی استان‌های کردستان و شمال استان کرمانشاه قرار دارد.

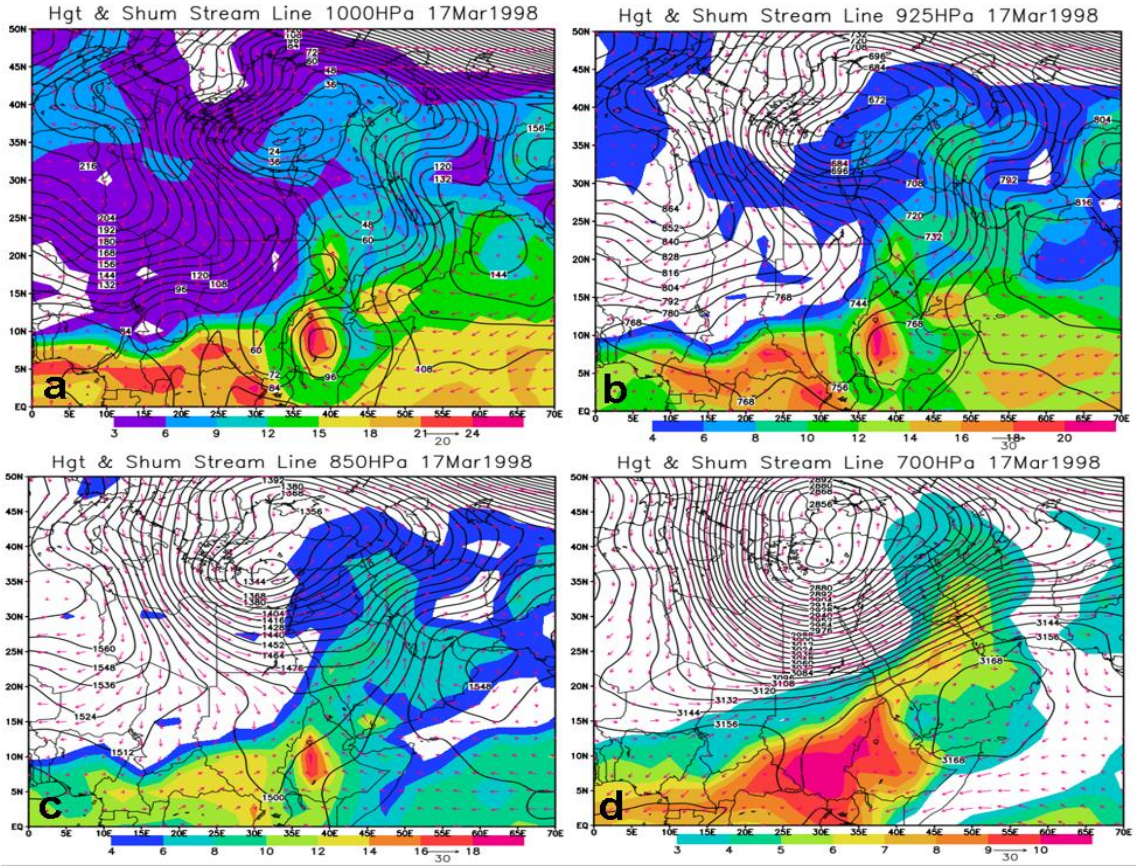


شکل(۱۱): پهنه‌بندی بارش غرب و شمال غرب ایران روز ۲۸ژانویه۲۰۱۹

Fig (11): Rainfall zoning in the west and northwest on January 28, 2019.

الگوی رودخانه‌های با منشأ منطقه همگرایی حاره‌ای

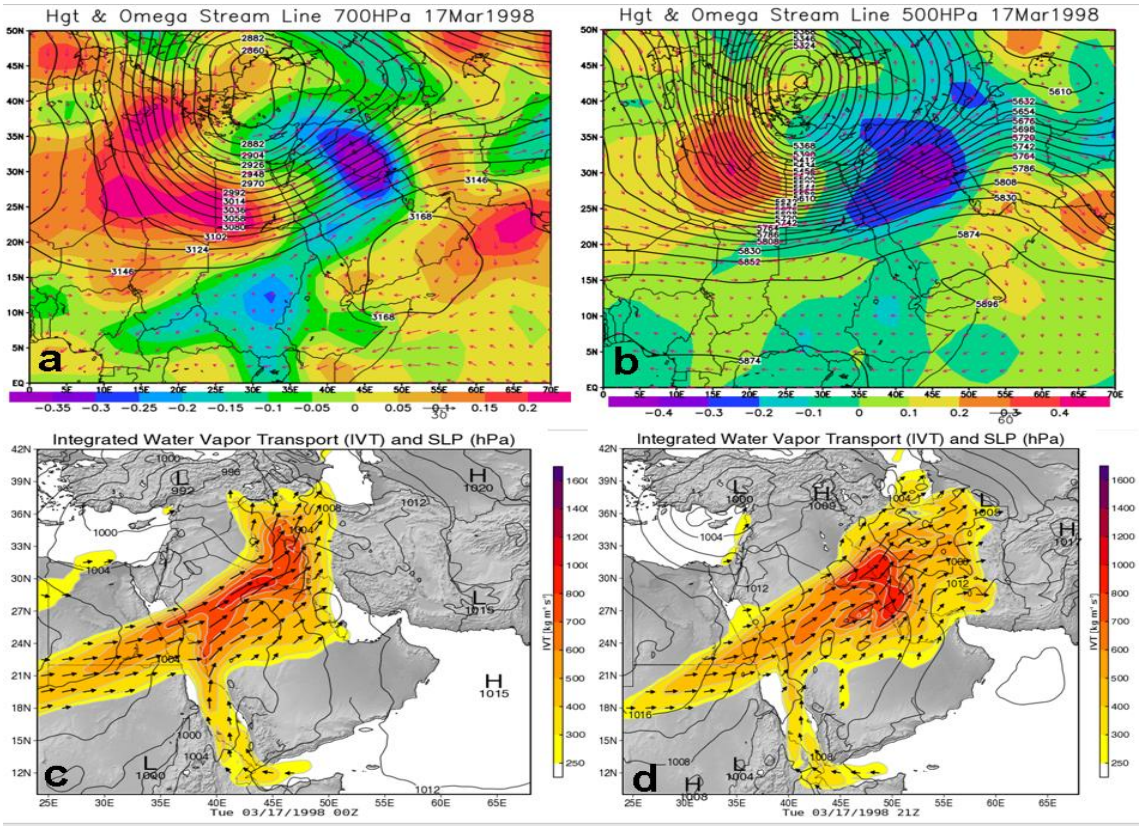
در این گروه از رودخانه‌های جوی ساختار افقی و قائم الگوهای همدیدی به‌گونه‌ای است که رطوبت منطقه حاره‌ای نقش اساسی در شکل‌گیری رودخانه جوی ایفا می‌کند. شکل ۱۲ آرایش سامانه‌ها را در تراز زیرین تروپوسفر نشان می‌دهد.در این الگو در تراز زیرین تروپوسفر به‌ویژه در ترازهای دریا تا ۹۲۵ هکتوپاسکال مرکز چرخندی مدیترانه تمام محدوده غربی آسیا از غرب ایران تا شرق یونان و از سمت شمال تا دریای سیاه را در برمی‌گیرد. زبانه جنوبی این چرخند در گسترش جنوبی باکم فشار سودان ادغام می‌شود. درنتیجه زبانه کم‌فشاری از جنوب سودان تا شمال دریای سیاه تحت تسلط این زبانه کم‌فشار گسترده قرار می‌گیرد. در این الگو نیز همچنان زبانه پرفشار سیبری تمام پهنه دریاهای گرم عرب و عمان و در ادامه تا خلیج عدن را در برمی‌گیرد. تفاوت ایجادشده در این الگو نسبت به الگوی سودانی شکل‌گیری هسته فرعی در درون زبانه پرفشار سیبری در غرب شبه‌جزیره عربستان و بر روی دریای عمان است. همان‌طور که نقشه ترکیبی جریان نیز نشان می‌دهد،گردش واچرخندی حاصل از این هسته واچرخندی رطوبت دریای عمان را به درون زبانه کم‌فشار سودانی و در ادامه تا غرب و شمال غرب ایران فرارفت نموده است. تندبادهای شرقی شکل‌گرفته بر روی دریای عرب و شمال اقیانوس هند رطوبت آب‌های گرم این منطقه را بر روی خشکی‌های شرقی آفریقا فرارفت نموده است. هسته‌های رطوبتی شکل‌گرفته بر روی شاخ آفریقا، دریای سرخ و شمال غرب ایران بیانگر این رطوبت فرارفت شده از دریاهای گرم جنوبی است(اشکال۱۲a,b).



شکل (۱۲): ارتفاع ژئوپتانسیل (کانتور)، میدان باد (بردار) و رطوبت (سایه‌دار) ترازهای ۱۰۰۰(a)، ۹۲۵(b)، ۸۵۰(c) و ۷۰۰ (d)هکتوپاسکال روز ۱۷ مارس ۱۹۹۸

Fig (12): Geopotential height (contour), wind field (vector) and humidity (shaded) levels of 1000 (a), 925 (b), 850 (c) and 700 (d) hectopascals on March 17, 1998

در این الگو از تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال سامانه‌های دینامیکی بر ساختار کلی جو منطقه غربی آسیا حاکمیت پیداکرده‌اند. مرکز چرخندی که در ترازهای زیرین تروپوسفر بر روی غرب ایران تا شرق یونان شکل‌گرفته بود از تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال با تشدید فرارفت سرد جنب قطبی به درون چرخند و تزریق تاوایی مناسب حاصل از جریان‌های شمالی دامنه غربی چرخند کاملاً تقویت‌شده و مرکز کم ارتفاع بریده قوی در محدوده کشور قبرس تا دریای سیاه شکل‌گرفته است. با شمالی شدن جریان‌های در دامنه غربی چرخند و تزریق تاوایی مناسب به‌وسیله جریان‌های نصف‌النهاری و فرارفت سرد قطبی، ناوه کاملاً تقویت‌شده و ضمن گسترش جنوب سوی، تمام پهنه شمال و شرقی صحرای آفریقا را در برگرفته است به‌طوری‌که انتهای جنوبی ناوه تا جنوب کشور سودان و هم‌جوار با منطقه همگرایی حاره‌ای گسترش‌یافته است. با گسترش بیش‌ازحد ناوه به عرض‌های جنوبی و دسترسی به منابع رطوبتی منطقه همگرایی حاره‌ای، این رطوبت به‌وسیله جریان‌های جنوب – جنوب غربی جلو ناوه به عرض‌های شمالی و درنهایت بر روی منطقه موردمطالعه فرارفت شده است.کانال رطوبتی شکل‌گرفته در تمام ترازهای ۸۵۰ تا ۷۰۰ هکتوپاسکال در جلوی ناوه به‌خوبی بیانگر مشارکت رطوبت منطقه همگرایی حاره‌ای در تأمین رطوبت رودخانه جوی شکل‌گرفته بر روی شرق صحرای آفریقا است(اشکال c,d ۱۲).

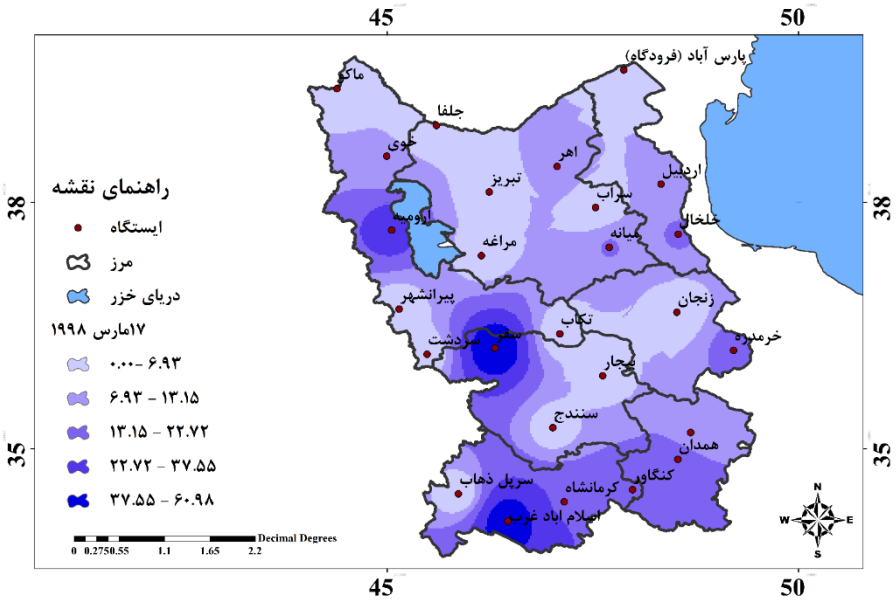


شکل (۱۳): ارتفاع ژئوپتانسیل (کانتور)، میدان باد (بردار) و امگای(سایه‌دار) ترازهای ۷۰۰(**a**)،۵۰۰(**b**) هکتوپاسکال و رودخانه‌های جوی (**IVT**)، تراز فشار دریا(**SLP**)در ساعت‌های(**c**) ۰۰، ۲۱(**d**)روز ۱۷مارس۱۹۹۸

Fig (13): Geopotential height (contour), wind field (vector) and Omega (shaded) levels of 700(a), 500(b) hectopascals and atmospheric rivers (IVT), sea level pressure (SLP) at (c) 00 hours, 21(d) on March 17, 1998

شکل‌های۱۳a,b نقشه ترکیبی امگا، جریان و ارتفاع ژئوپتانسیل را در ترازهای میانی تروپوسفر نشان می‌دهند. همان‌که بر روی نقشه‌های هر دو تراز مشاهده می‌شود در این الگو نیز میدان گسترده‌ای از امگای منفی تمام پهنه غربی ایران و کشور عراق را در برگرفته است. بزرگای امگای منفی در هر دو تراز بیش از ۰/۳۵- تا ۰/۴- پاسکال بر ثانیه است که بیانگر حاکمیت جریان‌های بالاسوی قوی در تمام بخش‌های غربی ایران و منطقه موردمطالعه است. رطوبت فراوان فرارفت شده به‌وسیله رودخانه جوی و جریان‌های بالاسوی قوی حاکم بر منطقه شرایط مناسبی را برای شکل‌گیری ابرهای همرفتی قوی به دلیل انرژی ترمودینامیکی آزادشده توسط گرمای بادرو فراهم می‌کند. شکل‌های ۱۳c,d نمونه‌هایی از رودخانه‌های جوی شکل‌گرفته در این الگوی همدیدی را نشان می‌دهند. این رودخانه‌های جوی عموماً از شرق سودان و در محدوده کشورهای چاد و نیجر شکل‌گرفته و در طول مسیر با رطوبت فرارفت شده از روی دریاهای سرخ، عمان و خلیج‌فارس، به‌ویژه از ترازهای زیرین تقویت می‌شوند(۱۳c,d).

شکل ۱۴ نقشه پهنه بارشی را در این روز بر روی منطقه موردمطالعه نشان می‌دهد. شدت بارش در برخی ایستگاه‌ها همانند اسلام‌آباد غرب و سقز به بیش از ۳۷ میلی‌متر نیز رسیده است.



شکل(۱۴): پهنه‌بندی بارش غرب و شمال غرب ایران روز ۱۷ مارس ۱۹۹۸

Fig (14): Rainfall zoning in the west and northwest on March 17, 1998

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد علیرغم نزدیکی منطقه موردمطالعه به منابع رطوبتی دریاهای مدیترانه، خزر و دریای سیاه این دریاها نقش اساسی را در تأمین رطوبت رودخانه‌های جوی ندارند. ولی دریاهای گرم جنوبی سهم بالاتری از رودخانه‌های جوی ورودی به منطقه را بر عهده‌دارند. به‌طوری‌که ۴۵/۵درصد رودخانه‌های ورودی به منطقه به‌طور مستقیم از کم‌فشار سودان و رطوبت دریاهای جنوبی متأثر شده و ۱۸درصد نیز در حالت ادغام‌شده کم‌فشار سودان و چرخند مدیترانه و رطوبت دریاهای مدیترانه و دریاهای جنوبی شکل‌گرفته و وارد منطقه مطالعاتی می‌شوند. در این راستا رودخانه‌های جوی با منشأ رطوبتی منطقه همگرایی حاره‌ای و رودخانه‌های جوی ادغامی در رتبه‌های بعدی قرار دارند. باوجوداینکه منطقه مطالعاتی نزدیک‌ترین فاصله را با دریای مدیترانه دارد، ولی تعداد رودخانه‌های منشأ گرفته از این منبع رطوبتی کمترین سهم را در بارش‌های منطقه داشته‌اند.

پدیده دیگر در ارتباط با رودخانه‌های جوی منطقه غرب و شمال غرب کشور عدم تداوم رودخانه‌های جوی در بازه زمانی است. به‌عبارت‌دیگر زمانی که رودخانه جوی وارد منطقه موردمطالعه می‌شوند ممکن است فقط در دو بازه زمانی سه‌ساعته تداوم داشته و سپس از بین رفته یا جابجا می‌شود. درصورتی‌که رودخانه جوی ممکن است با همان منشأ ثابت برای چندین روز متوالی بر روی ایران فعال باشد. پدیده دیگر نامنظم بودن توالی زمانی رودخانه‌ها بر روی منطقه است. به‌عنوان‌مثال ممکن است رودخانه برای یک یا دو بازه زمانی سه‌ساعته بر روی منطقه فعال بوده و سپس برای چند بازه زمانی از بین رفته و دوباره بر روی منطقه فعال گردد. اصولاً رودخانه‌های جوی که از منشاء دریای مدیترانه وارد منطقه مطالعاتی می‌گردند،کمترین میزان تداوم رادارند که بندرت این رودخانه‌ها در دو یا سه بازه زمانی قوام داشته و فعال بوده‌اند. درمجموع رودخانه‌های جوی با منشأ دریاهای جنوبی هم ازلحاظ تداوم زمانی و هم ازلحاظ شدت و مقدار رطوبت انتقالی قوی‌تر از سایر منشأها بوده‌اند. ازلحاظ تراز انتقال رطوبت، رودخانه‌های جوی با منشأ دریاهای جنوبی با الگوی همدیدی سودان بخش عمده رطوبت در لایه‌های زیرین تروپوسفر به‌ویژه ترازهای ۱۰۰۰ و ۹۲۵ هکتوپاسکال از دریاهای عرب و عمان و در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال از دریای سرخ فرارفت شده و در ادامه این رطوبت به لایه‌های میانی همرفت شده است. در رودخانه‌های جوی با منشأ منطقه همگرایی حاره‌ای در لایه زیرین تروپوسفر از دریاهای عرب و عمان و دریای سرخ و در لایه‌های میانی از منطقه همگرایی حاره‌ای فرارفت می‌شود.برای رودخانه‌های جوی با منشأ دریای مدیترانه در دوردست دریای مدیترانه از لایه زیرین و به سمت شرق از لایه‌ای میانی فرارفت صورت می‌گیرد. نتایج این تحقیق در تأیید بر مطالعات (لشکری و همکاران، ۱۳۹۹ص۹۹؛ لشکری و همکاران، ۱۴۰۰ص۸۱؛در ارتباط با نقش دریاهای جنوبی در تأمین رطوبت رودخانه‌های جوی و مطالعات لشکری و همکاران،۱۳۹۵ص۵۹؛ محمدی

و همکاران، ۱۴۰۰ص۱؛ مزیدی و همکاران، ۱۳۹۱ص۱؛ امیدوار و همکاران، ۱۳۹۶ص۲۳۷) در ارتباط با نقش سامانه‌های کم‌فشار سودان و الگوی ترکیبی کم‌فشار سودان و مدیترانه در ایجاد بارش‌های سنگین بود.

منابع

Asakereh, H., Khoshakhlag, F., & shamohamadi, Z. (2017). Phase Extraction of Synoptic Patterns with Positive North Atlantic Oscillation (NAO) and its Impact on the Winter Precipitation in Iran. Hydrogeomorphology, 3(9), 113-137[In Parsin].

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.

Esfandiari, N., & Lashkari, H. (2021). The effect of atmospheric rivers on cold-season heavy precipitation events in Iran. Journal of Water and Climate Change, 12(2), 596-611.

Gimeno, L., Nieto, R., Vázquez, M., & Lavers, D. A. (2014). Atmospheric rivers: A mini-review. Frontiers in Earth Science, 2, 2.

Guan B., Waliser DE. (2015). Detection of atmospheric rivers: Evaluation and application of an algorithm for global studies. Journal of Geophysical Research, 120(24), 12,514-12,535.

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 hazarts, 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., Ghaeemi, H., Hojati, Z., & Amini, M. (2012). Synoptic Analysis of Heavy Precipitation in the Isfahan Province. Physical Geography Research Quarterly, 44(4), 99-116[In Parsin].

Lashkari, H., Jafari, M., & Mohammadi, Z. (2021). Why Does Precipitation Decrease in the South and Southwest of Iran in February Compared to Other Winter Months?. Geography and Environmental Planning, 32(3), 81-104[In Parsin].

Lashkari, H., Matkan, A., Azadi, M., & Mohammadi, Z. (2016). Synoptic analysis of Arabian subtropical high pressure and subtropical jet stream in shortest period of precipitation in south and south west of Iran. Environmental Sciences, 14(4), 59-74[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.

Mazidi, A., Koushki, H., & Nasr Azadani, M. (2012). A Synoptic Analysis of Higher-than 30 mm Rains from 2000 to 2005: The Case of Khoram Abad. Geographic Thought, 6(11), 1-33[In Parsin].

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.

Mohammadi, Z., Lashkari, H., & Mohammadi, M. S. (2021). Synoptic analysis and core situations of Arabian anticyclone in shortest period precipitation in the south and southwest of Iran. Arabian Journal of Geosciences, 14, 1-18[In Parsin].

Montazeri, M. (2016). Statistical and Synoptic Analysis of the Rainfall-Run off in the Beheshtabad Basin. Hydrogeomorphology, 3(6), 137-159[In Parsin].

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.

Omidvar, K., Sepandar, N., & Shafiee, S. (2018). Synoptic and thermodynamic analysis of heavy precipitation in the Province of Kermanshah from October27 to 30, 2015. Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR), 27(107), 237-252. [In Parsin].

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),1-20. 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].

Sepandar, 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].

Shadmani, N., Nasr Esfahani, M. A., & Ghasemi, A. (2018). Determination of humidity sources and accurate trajectory of moist air mass effective on heavy rainfalls in west and south of Iran (case study: flooding events of October and November 2015). Iranian Journal of Geophysics, 12(2), 50-63.

Sodemann, 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., & Sodemann, 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.