



<https://gep.ui.ac.ir/?lang=en>
Geography and Environmental Planning
E-ISSN: 2252- 0910
Document Type: Research Paper
Vol. 35, Issue 1, No.93, Spring 2024, pp. 1- 3
Received: 23/01/2023 Accepted: 04/09/2023

Arabian Sea's Moisture Transfer Mechanisms in Pervasive Dry and Wet Periods of Iran

Zahed Deldarzehi¹, Peyman Mahmoudi² , Mahmood Khosravi³

1- MA, Department of Physical Geography, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran
deldar.zahed@yahoo.com

2- Associate Professor, Department of Physical Geography, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran
p_mahmoudi@gep.usb.ac.ir

3- Professor, Department of Physical Geography, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran
khosravi@gep.usb.ac.ir

Abstract

To recognize the Arabian Sea's moisture transfer mechanisms during the occurrence of pervasive drought and wet years in Iran, a standardized precipitation index (SPI) was applied to quantize Iran's droughts within the format of a monthly scale. Next, based on a spatial threshold, the drought or the wet years that had engaged about 75% or more of the studied stations (63 synoptic stations) within the period of a cold period (October-April) during 30 years (1986-2016) were defined as the pervasive drought or wet years. In the end, using atmospheric gridded variables, the various mechanisms of the Arabian Sea's moisture transfer were examined during the occurrence of Iran's pervasive drought and wet years. The results indicated that during winter, the Asian thermal high pressure reaches its strongest state, its western part is expanded, and, together with the Atlantic Ocean's dynamic high pressure, they capture the whole of central Asia, the Middle East, and northern Africa. Under these conditions, the high pressure established over the Saudi Arabian Peninsula takes a more western position and this new position disrupts moisture transfer from the Arabian Sea into Iran the result of which would be pervasive dry winters for Iran.

Keywords: Geopotential Height, Dynamical High Pressure, Thermal Low Pressure, Saudi Arabian Peninsula, Tibetan Plateau, Monsoon.

*Corresponding Author

Deldarzehi, Z., Mahmoudi, P., & Khosravi, M. (2023). Arabian Sea's Moisture Transfer Mechanisms in pervasive dry and wet periods of Iran. *Geography and Environmental Planning*, 35 (1), 1 - 4 .

2252-0910 © University of Isfahan

This is an open access article under the CC BY-NC 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



10.22108/GEP.2023.136560.1571

Introduction

Due to the transfer of a large volume of moisture, the Arabian Sea and the Mediterranean Sea are amongst the most important moisture resources of Iran's precipitations. The Mediterranean Sea, during the early fall and late spring, and the Arabian Sea, as well, as during the other months of the year's cold periods, are at the top of the most significant moisture resources for supplying Iran with precipitations. The superior role of the Arabian and Mediterranean seas in the supplying of moisture to Iran's precipitations can stem from factors like their wide vastness and depth in contrast to the other water breadths. Considering the results of the studies during the recent several decades, appropriate knowledge on the identification of the synoptic patterns leading to Iran's drought and wet years in various temporal and spatial scales is obtained in this regard in Iran's climatological literature. However, even with such very rich literature, there are still ambiguities regarding the mechanisms of moisture transfer from the adjacent seas, especially the Indian Ocean and Arabian Sea at the time of the occurrence of pervasive drought and wet years. To fill the gap, the present study intends to investigate the synoptic reasons for the translocation of the cyclonic and anti-cyclonic circulation patterns over the Arabian Sea and north of the Indian Ocean at the time of the occurrence of the pervasive drought and wet years in Iran.

Materials and Methods

To recognize the Arabian Sea's moisture transfer mechanisms during the occurrence of pervasive drought and wet years in Iran, two different databases were used. The first belongs to the monthly precipitation data recorded in 63 synoptic stations for 30 years (1986-2016) and obtained from Iran's meteorological organization. The second database, as well, is pertinent to the atmospheric gridded variables recorded in the form of monthly monitoring and acquired from the European Center for Medium-Range Weather Forecast (ECMWF). After collecting the data and forming an information bank, a standardized precipitation index (SPI) was applied to quantize Iran's droughts within the format of a monthly scale. Next, based on a spatial threshold, the drought or the wet years that had engaged about 75% or more of the studied stations (63 synoptic stations) within a cold period (October-April) during 30 years (1986-2016) were defined as the pervasive drought or wet years. In the end using atmospheric gridded variables, the various mechanisms of the Arabian Sea's moisture transfer were examined during the occurrence of Iran's pervasive drought and wet years.

Research Findings

During fall, the delay in the translocation of southward monsoon low pressure in southern Asia causes its western part to be expanded over the Arabian Sea. This expansion causes dislocation of westward high pressure situated over the Saudi Arabian Peninsula and the moisture transfer from this sea into Iran is resultantly disrupted leading to pervasive droughts in Iran. But, when the South Asian monsoon low pressure is located in a more southern situation, the expansion of its western part is reduced and the high pressure located over the Saudi Arabian peninsula moves to the coasts of the Arabian Sea with a little eastward dislocation. Under such circumstances, the whole Arabian Sea is overwhelmed by this high pressure and its moisture enters Iran through the Saudi Arabian Peninsula's moisture canal. Nevertheless, Iran's pervasive drought and wet years during winter are a function of the jigsaw behavior between Asia's thermal high pressure and the Atlantic Ocean's dynamic high pressure. When Asia's thermal high pressure reaches its strongest state, its western part is expanded and, along with the Atlantic Ocean's dynamical high pressure, spread over the entire Central Asia, the Middle East, and Northern Africa. Under these conditions, the high pressure situated over the Saudi Arabian Peninsula takes a more western position and this new location causes disruption in the

moisture transfer from the Arabian Sea into Iran and this ends in pervasive dry winters in Iran.

However, during some times when the Asian thermal high pressure is in its weakest state, the western part thereof would not have the spatial expansion it has to. In such a situation, the eastern part of the Atlantic Ocean's dynamic high pressure is corroborated and expanded. Such an expansion caused the high pressure situated over the Saudi Arabian Peninsula to move eastward and become established over the eastern coasts of the Saudi Arabian Peninsula. This new situation causes the transfer of moisture from the Arabian Sea into Iran to happen easily and the result would be pervasive wet winters for Iran.

But, during spring, Tibetan low pressure and the Atlantic Ocean's high pressure are the most important actors of climate in southwest Asia. Whenever the low pressure of the Tibetan plateau low pressure is strengthened and expanded over the eastern half of the Arabian Sea, the high pressure established over Saudi Arabia would be dislocated westward as a result of which pervasive droughts happen in Iran. However, when the Tibetan Plateau's low pressure is ameliorated and its western part distances away from the Arabian Sea, the Atlantic Ocean's dynamic high pressure is corroborated and its eastern part is expanded. This expansion causes the high pressure situated over the Saudi Arabian Peninsula to move eastward with its central core taking place over the western shores of the Arabian Sea under which conditions the whole Arabian Sea would be captured by this high pressure. This high pressure transfers the Arabian Sea's moisture through the Saudi Arabian Peninsula's moisture canal into Iran via a clockwise circulation. During the ending months of spring, as well, and with the northward dislocation of the tropical convergence belt and its establishment over southern Asia and also with the establishment of some parts of India's monsoon low pressure over the eastern half of the Arabian Sea, the moisture transfer from the Arabian Sea into Iran is practically decreased to a minimum.

Discussion of Results and Conclusion

The results indicated that certain patterns play roles during every season in this sea's transferring of moisture. During fall, delay in the southward dislocation of southern Asia's monsoon low pressure causes the transfer of moisture from this sea into Iran to be disrupted the result of which would be pervasive droughts in Iran. During winter when the Asian thermal high pressure reaches its strongest state, its western part is expanded and, together with the Atlantic Ocean's dynamical high pressure, it captures the whole of central Asia, the Middle East, and northern Africa. Under these conditions, the high pressure established over the Saudi Arabian Peninsula takes a more western position and this new position disrupts moisture transfer from the Arabian Sea into Iran the result of which would be pervasive dry winters for Iran. During spring, the Tibetan low pressure and the Atlantic Ocean's high pressure are the most important players in the climate in southwest Asia. Whenever the western part of the Tibetan Plateau's low pressure is strengthened and expanded over the eastern half of the Arabian Sea, the high pressure established over Saudi Arabia is dislocated westward the result of which would be pervasive droughts for Iran.

مقاله پژوهشی

سازوکارهای انتقال رطوبت دریای عرب در خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر ایران

زاهد دلدارزهی: دانش‌آموخته کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

deldar.zahed@yahoo.com

پیمان محمودی* | ID، دانشیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

p_mahmoudi@gep.usb.ac.ir

محمود خسروی: استاد اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

khosravi@gep.usb.ac.ir

چکیده

پژوهش حاضر براساس یک آستانه فضایی، خشکسالی‌ها یا ترسالی‌هایی که حدود ۷۵ درصد و بیشتر ایستگاه‌های مطالعه شده (۶۳ ایستگاه همدید) را در دوره سرد سال (اکتبر-آوریل) و در بازه زمانی ۳۱ ساله (۱۹۸۶-۲۰۱۶) درگیر خود کرده بودند به‌عنوان خشکسالی‌ها یا ترسالی‌های فراگیر تعریف شدند. در این پژوهش از متغیرهای شبکه‌بندی جوئی همچون ارتفاع ژئوپتانسیل، چرخندگی نسبی، پوشش ابر پایین، پوشش ابر میانی و پوشش ابر بالا (اخذ شده از تارنمای مرکز اروپایی پیش‌بینی‌های میان‌مدت جوئی ECMWF) استفاده و سازوکارهای مختلف انتقال رطوبت دریای عرب در زمان وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر ایران نیز بررسی شده است. نتایج نشان داد که در هر فصل الگوهای خاصی در انتقال رطوبت این دریا نقش دارد. در فصل پاییز تأخیر در جابه‌جایی جنوب‌سوی کم‌ارتفاع مونسونی جنوب آسیا باعث می‌شود که انتقال رطوبت این دریا به داخل ایران مختل و در نهایت، منجر به خشکسالی‌های فراگیر ایران شود. در فصل زمستان زمانی که پراارتفاع حرارتی آسیایی در قوی‌ترین حالت خود قرار می‌گیرد، زبانه غربی آن گسترش و با پراارتفاع دینامیکی اقیانوس اطلس، کل آسیای مرکزی، خاورمیانه و شمال آفریقا را فرا می‌گیرند. در این شرایط پراارتفاع مستقر بر روی شبه‌جزیره عربستان، موقعیت غربی‌تری به خود می‌گیرد که این موقعیت جدید از طرفی، باعث اختلال انتقال رطوبت دریای عرب به داخل ایران می‌شود و از طرف دیگر، زمستان‌های خشک فراگیر را برای ایران به وجود می‌آورد. در فصل بهار کم‌ارتفاع تبت و پراارتفاع اقیانوس اطلس مهم‌ترین بازیگران اقلیم جنوب‌غرب آسیا هستند. تقویت زبانه غربی کم‌ارتفاع فلات تبت و گسترش آن بر روی نیمه شرقی دریای عرب باعث جابه‌جایی غرب‌سوی پراارتفاع مستقر بر روی عربستان می‌شود که نتیجه آن خشکسالی‌های فراگیر برای ایران خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع ژئوپتانسیل، پراارتفاع دینامیکی، کم‌ارتفاع حرارتی، شبه‌جزیره عربستان، فلات تبت، مونسون.

*نویسنده مسؤول

دلدارزهی، زاهد، محمودی، پیمان، خسروی، محمود. (۱۴۰۲). سازوکارهای انتقال رطوبت دریای عرب در خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر ایران جغرافیا و برنامه

ریزی محیطی، ۳۵ (۱)، ۷۲-۴۵.



مقدمه

موقعیت جغرافیایی خاورمیانه به گونه‌ای است که در مرز بین دو اقلیم معتدل (مدیترانه‌ای) و خشک جهان قرار گرفته است. به همین دلیل، آن را مستعد وقوع خشک‌سالی‌های شدید و طولانی‌مدت کرده است (Trewartha & Hasanean & Almazroui, 2015; Alpert et al., 2002; Horn, 1980). از مهم‌ترین ویژگی‌های بارشی این سرزمین، تغییرپذیری برون سالانه زیاد آن است (Lockwood, 1988) که در نتیجه اندرکنش بین سیستم‌های همدید حاره‌ای-جنب حاره‌ای به وقوع می‌پیوندد (Ziv et al., 2005; Ziv, 2001; Knippertz, 2005; De Vries et al., 2013; Martius et al., 2013). محققان در مطالعات بسیاری به منشأ همدید بارش‌های خاورمیانه توجه کرده‌اند؛ به طوری که برخی از محققان در این مطالعات نشان داده‌اند که بارش‌های سالانه شرق مدیترانه با الگوهای همدید و بزرگ‌مقیاس جوی همبستگی ضعیفی دارد و بیشتر تحت تأثیر عوامل محلی و سیستم‌های همرفتی است (Dayan & Sharon, 2002; Kahana et al., 2002; Dayan et al., 2001; 1980). زیو و همکاران اظهار داشته‌اند که بارش‌های سالانه ممکن است با نوسان‌های بزرگ‌مقیاس جوی به صورت مستقیم و غیرمستقیم از طریق سیستم‌های محلی کنترل شود (Ziv et al., 2014). بنابراین بارش‌ها در منطقه خاورمیانه نه تنها تحت تأثیر سازوکارهای محلی، تحت تأثیر نوسان‌های بزرگ‌مقیاس جوی همچون نوسان‌های اقیانوس اطلس شمالی (NAO) و نوسان‌های قطبی (AO) نیز است (Eshel & Farrell, 2000; Cullen et al., 2002; Dunkeloh & Jacobeit 2003; Raymond et al., 2018; Ghasemi & Khalili 2008; Oikonomou et al., 2010; Trambly & Hertig, 2018; Saaroni et al., 2019).

ایران با وسعتی معادل ۱۶۴۸۱۹۵ کیلومتر مربع در بین عرض‌های جغرافیایی ۲۵ تا ۴۰ درجه شمالی و ۴۴ تا ۶۴ درجه طول شرقی در کمربند بیابانی نیمکره شمالی و در جنوب غرب آسیا واقع شده است. کوهساری ایران پیچیدگی‌های بسیار خاصی دارد که دلیل آن می‌تواند وجود دو رشته‌کوه مرتفع البرز و زاگرس در همسایگی دو بیابان بزرگ دشت لوت و دشت کویر در ایران مرکزی باشد. همچنین، این سرزمین با سه پهنه آبی و وسیع، یعنی خلیج فارس (با ۱۴۰۰ کیلومتر طول خط ساحلی) و دریای عمان (با ۶۳۷ کیلومتر طول خط ساحلی) در جنوب و دریای خزر (با ۹۲۲ کیلومتر خط ساحلی) در شمال مرز مشترک دارد (Heydarizad et al., 2018). رشته‌کوه‌های البرز و زاگرس از مهم‌ترین بازیگران اقلیم‌شناسی ایران هستند؛ زیرا آنها مانع ورود توده‌های حامل رطوبت به داخل بخش‌های مرکزی فلات ایران می‌شوند که نتیجه آن کاهش میانگین بارش سالانه برای این قسمت از فلات مرکزی ایران است (علیجانی، ۱۳۸۲، ص. ۲۱). آب‌وهوای ایران با توده‌هواهای مختلفی که از جانب شمال، غرب، جنوب غرب و جنوب شرق وارد می‌شوند، اثر می‌پذیرد. توده‌هواهای سرد قاره‌ای سیبری که از جانب شمال وارد ایران می‌شوند، با رشته‌کوه البرز متوقف و باعث ایجاد بارش‌های عظیمی (بیش از ۱۳۰۰ میلیمتر در سال) در امتداد نواحی ساحلی دریای خزر و شیب‌های شمالی رشته‌کوه البرز می‌شوند. این توده‌هواها، رطوبت دریای خزر را به سمت خشکی‌های ایران هدایت می‌کنند (فتح‌نیا و همکاران، ۱۳۹۷؛ احمدی حجت و همکاران، ۱۳۹۲؛ عزیزی و یوسفی، ۱۳۸۴). توده‌هواهای سودانی، جنوب و جنوب غرب ایران را تحت تأثیر قرار می‌دهند و رطوبت دریاهای عرب، سرخ، عمان و خلیج فارس را به سمت ایران انتقال می‌دهند (علیجانی، ۱۳۸۲). بعضی از اوقات توده‌هواهای سودانی با سامانه‌های مدیترانه‌ای ادغام و باعث

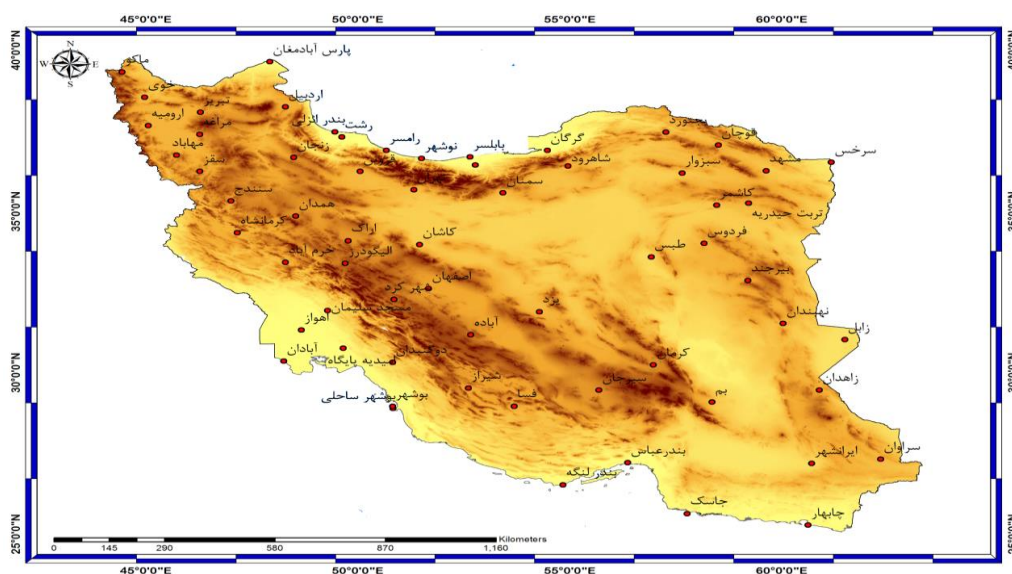
بارش‌های بسیار سنگین و سیلابی در جنوب و جنوب غرب ایران می‌شوند (لشکری، ۱۳۸۱؛ مفیدی و زرین، ۱۳۸۴؛ پرک و همکاران، ۱۳۹۴؛ Sabziparvar et al., 2015). سامانه‌هایی که بخش‌های غربی و شمال غربی ایران را متأثر می‌کنند در واقع، چرخندهایی هستند که از دریای مدیترانه، اقیانوس اطلس شمالی و دریای سیاه منشأ گرفته‌اند و حامل رطوبت بسیار فراوانی هستند. این چرخندها نقش بسیار برجسته‌ای را در ایجاد بارش و ابری شدن این منطقه از ایران دارند (علیجانی، ۱۳۸۲؛ Sabziparvar et al., 2015). علاوه بر سامانه‌های ذکر شده که در فصل مرطوب سال ایران را تحت تأثیر قرار می‌دهند، در فصل خشک سال، مونسون تابستانه هند، جنوب شرق ایران را متأثر می‌کند و با خود هوای گرم و مرطوب، بادهای قوی و بارش‌های سنگین را به همراه می‌آورد (آب خرابات و همکاران، ۱۳۹۵؛ علیجانی و دوستان، ۱۳۹۱؛ رسولی و همکاران، ۱۳۹۱). توزیع زمانی و فضایی بارش در ایران به دلایلی همچون گستردگی مساحت، تغییرات عرض جغرافیایی زیاد، کوه‌ساری پیچیده، نزدیکی به پهنه‌های آبی و وسیع و منابع رطوبتی مختلف همراه با توده‌های هوای مؤثر بر آن بسیار متغیر است (Modarres & Sarhadi, 2009). مطالعات متعددی بر روی تغییرات زمانی و فضایی بارش ایران انجام شده است (علیجانی و همکاران، ۱۳۹۱؛ علیجانی و همکاران، ۱۳۹۳؛ Ghesmati et al., 2004; Modarres & Sarhadi, 2009; Rahimzadeh et al., 2009; Tabari & Talaee, 2011; Balling et al., 2016; Roustae et al., 2016; Fallah Ghalhari et al., 2106; Javari, 2016). اما مطالعاتی که در آن به صورت اختصاصی به تعیین منابع رطوبتی بارش‌های ایران (خوشحال و همکاران، ۱۳۸۸؛ کریمی و فرج‌زاده، ۱۳۹۰؛ خدادی و همکاران، ۱۳۹۲؛ نوری و همکاران، ۱۳۹۲؛ خسروی و همکاران، ۱۳۹۶) توجه شده باشد، بسیار کم است. کریمی احمدآباد (۱۳۸۶) در یک بررسی جامع نشان داد که دو دریای عرب و مدیترانه به علت ترابرد حجم بزرگی از رطوبت بر روی ایران از مهمترین منابع رطوبتی بارش‌های ایران است. دریای مدیترانه در اوایل فصل پاییز و اواخر فصل بهار و دریای عرب نیز در دیگر ماه‌های دوره سرد سال در صدر مهم‌ترین منابع تأمین رطوبت بارش‌های ایران هستند. نقش برتر دریاهای عرب و مدیترانه در تأمین رطوبت بارش‌های ایران می‌تواند ناشی از عواملی همچون وسعت و عمق زیاد آنها در مقابل دیگر پهنه‌های آبی باشد؛ بنابراین باتوجه به اهمیت دریای عرب در تأمین رطوبت بارش‌های ایران، محققان بسیاری بر روی شناسایی آرایش الگوهای همدید در انتقال رطوبت این دریا به داخل خشکی‌های ایران کار کرده‌اند (خوشحال و همکاران، ۱۳۸۸؛ رنجبرسعادت آبادی و ایزدی، ۱۳۹۲؛ خدادی و همکاران، ۱۳۹۲؛ لشکری و محمدی، ۱۳۹۴؛ آب‌خرابات و همکاران، ۱۳۹۵؛ لشکری و همکاران، ۱۳۹۶؛ محمدی و لشکری، ۱۳۹۷). محمدی و همکاران (۱۴۰۱الف) اشاره کرده‌اند که در زمان وقوع خشکسالی‌های فراگیر در دوره سرد سال ایران، همواره یک ناهنجاری ساعتگرد را بر روی دریای عرب می‌توان مشاهده کرد. این ناهنجاری ساعتگرد باعث می‌شود که انتقال رطوبت دریای عرب که مهم‌ترین تأمین‌کننده رطوبت ایران در این ماه‌هاست، دچار اختلال شود. محمدی و همکاران (۱۴۰۱ب) با بررسی نقشه‌های ارتفاعی ترازهای مختلف جو در ماه‌های تر فراگیر فصل زمستان ایران نشان داده‌اند که پرفشار عربستان همواره یک جابه‌جایی شرق‌سو به سمت دریای عرب داشته است که این جابه‌جایی باعث عمیق‌شدن فرود دریای مدیترانه می‌شود. در این شرایط رطوبت دریای عرب و دریای مدیترانه به‌طور همزمان، به داخل ایران تزریق می‌شود و سپس کل مساحت ایران را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد؛ اما در خشکسالی

های فراگیر این ماه‌ها، پرفشار عربستان با جابه‌جایی غرب سو و شمال‌سوی خود در شمال غرب شبه‌جزیره عربستان استقرار پیدا می‌کند. استقرار این پرفشار در این موقعیت باعث می‌شود که محور فرودهای دریای مدیترانه علاوه بر جابه‌جایی به سمت عرض‌های شمالی‌تر به سمت غرب نیز جابه‌جایی داشته باشد؛ بنابراین در این شرایط انتقال رطوبت دریای مدیترانه به عرض‌های شمالی‌تر ایران و رطوبت دریای عرب و دریای سرخ نیز به ایران منتقل نمی‌شود. کریمی و همکاران با دسته‌بندی بارش‌های ایران به سه دسته بارش‌های سبک (۱۰-۱ میلی‌متر در روز)، بارش‌های متوسط (۳۰-۱۰ میلی‌متر در روز) و بارش‌های سنگین (بیش از ۳۰ میلی‌متر در روز) ارتباط آنها را با موقعیت جغرافیایی مرکز و اچرخند دریای عرب بررسی کردند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که در ۴۲ تا ۸۵ درصد از روزهای بارشی، و اچرخند دریای عرب یا یک مرکز بسته دارد و یا با پرفشارهای سیبری و تبت ادغام می‌شود (Karimi et al., 2022). همچنین، بیشینه فراوانی مراکز این و اچرخند در روزهای بارشی مدنظر در ۴۱/۶۲ درصد موارد در سواحل شرقی شبه‌جزیره عربستان، شمال غرب دریای عرب و نیز در ترازهای پایین‌تر مشاهده شده است. این موقعیت جغرافیایی شرایط را برای بارش‌های سبک و متوسط ایران فراهم می‌کند؛ اما در هنگام وقوع بارش‌های سنگین در ایران، مرکز این و اچرخند در سه تراز ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال در سواحل شرقی شبه‌جزیره عربستان و غرب دریای عرب با یک جابه‌جایی غرب سو فعال‌تر می‌شود؛ بنابراین محققان پژوهش حاضر علاوه بر موقعیت جغرافیایی مرکز و اچرخند عربستان در بارش‌های سنگین ایران بر ضخامت از جو که این و اچرخند در آن توسعه پیدا می‌کند نیز تأکید کرده‌اند.

با در نظر گرفتن نتایج مطالعاتی که در چند دهه اخیر بر روی شناسایی الگوهای هم‌دید منجر به خشکسالی‌ها و ترسالی‌های ایران در مقیاس‌های زمانی و فضایی مختلف انجام شده است، اکنون دانش بسیار مناسبی در این زمینه و در پیشینه اقلیم‌شناسی ایران حاصل شده است؛ اما با داشتن این پیشینه بسیار غنی هنوز ابهام‌هایی درباره سازوکارهای انتقال رطوبت از دریاها و مجاور به خصوص اقیانوس هند و دریای عرب در زمان خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر ایران وجود دارد که در این پژوهش قصد بر این است تا جابه‌جا شدن الگوهای گردشی چرخندی و و اچرخندی بر روی دریای عرب و شمال اقیانوس هند در زمان وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر ایران بررسی شود.

داده‌ها و روش‌شناسی

برای شناخت سازوکارهای انتقال رطوبت دریای عرب در زمان خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر ایران و در راستای رسیدن به هدف‌های اصلی پژوهش حاضر به دو پایگاه داده‌ای مختلف نیاز بود. پایگاه داده‌ای اول مربوط به داده‌های بارش ماهانه ۶۳ ایستگاه هم‌دید برای یک دوره ۳۱ ساله (1986-2016) است که از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. علت انتخاب این تعداد ایستگاه، طول دوره آماری مناسب و پراکنش مناسب مکانی آنها بوده است. این داده‌ها آمار کامل و مطمئنی دارند که اندک خلأ آماری آنها با استفاده از روش هم‌بستگی و رگرسیون خطی کلاسیک بازسازی شد. توزیع و پراکنش ایستگاه‌های مطالعه‌شده در گستره ایران در [شکل ۱](#) آورده شده است.



شکل ۱: نقشه موقعیت و پراکنش جغرافیایی ایستگاه‌های مطالعه‌شده (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۰)

Figure 1: Situation and geographical distribution map of the studied stations

پایگاه داده‌ای دوم متغیرهای شبکه‌بندی شده جوی ارتفاع ژئوپتانسیل، رطوبت ویژه، چرخندگی نسبی، پوشش ابر پایین، پوشش ابر میانی و پوشش ابر بالاست که تمامی آنها از تارنمای مرکز اروپایی پیش‌بینی‌های میان مدت‌جوی (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) (ECMWF) به آدرس <https://www.ecmwf.int> صورت دیده‌بانی‌های ماهانه اخذ شد.

بعد از جمع‌آوری داده‌های لازم از پایگاه‌های داده‌ای مختلف و تشکیل بانک اطلاعاتی آنها از شاخص بارش استاندارد شده (Standardized Precipitation Index) (SPI) (McKee et al., 1993, 1995) که یکی از شاخص‌های پیشنهادی سازمان هواشناسی جهانی (World Meteorological Organization) (WMO) است، استفاده شد. در پژوهش حاضر شاخص بارش استاندارد شده برای تمامی ایستگاه‌های مطالعه‌شده در مقیاس زمانی ماهانه (SPI) محاسبه و در مرحله بعد خشکسالی‌ها و ترسالی‌های ایران براساس یک معیار فضایی به سه دسته تقسیم شد (محمودی و همکاران، ۱۴۰۱ الف؛ محمودی و همکاران، ۱۴۰۱ ب).

- خشکسالی‌های (ترسالی‌های) محلی: خشکسالی‌هایی (ترسالی‌هایی) هستند که حدود ۲۵ درصد و کمتر از ایستگاه‌های مورد مطالعه درگیر خشکسالی (ترسالی) شده باشند.
- خشکسالی‌های (ترسالی‌های) نیمه فراگیر: خشکسالی‌هایی (ترسالی‌هایی) هستند که حدود ۲۵ تا ۷۵ درصد ایستگاه‌های مورد مطالعه درگیر خشکسالی (ترسالی) شده باشند.
- خشکسالی‌های (ترسالی‌های) فراگیر: خشکسالی‌هایی (ترسالی‌هایی) هستند که حدود ۷۵ درصد و بیشتر از ایستگاه‌های مورد مطالعه درگیر خشکسالی (ترسالی) شده باشند.

اساس تقسیم‌بندی خشکسالی‌ها به سه دسته اشاره‌شده براساس چارک‌ها بوده است. در آمار توصیفی به هریک از سه مقداری که یک مجموعه از داده‌های مرتب‌شده را به چهار بخش مساوی تقسیم می‌کند، چارک گفته می‌شود.

در ادامه، با مشخص شدن ماه‌های خشک و تر فراگیر ایران، سازوکارهای هم‌دید انتقال رطوبت دریای عرب در زمان وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر ایران در قالب تحلیل‌های هم‌دید بررسی می‌شود.

یافته‌های پژوهش و تجزیه و تحلیل

تعیین ماه‌های تر و خشک فراگیر ایران

در پژوهش حاضر از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) که یک ابزار بسیار قوی در تحلیل داده‌های بارش است، استفاده شده است. هدف اصلی این شاخص اختصاص یک ارزش عددی به هر حادثه بارندگی در مقیاس‌های زمانی مختلف (ماهانه، فصلی و سالانه) است تا بتوان براساس آن، نواحی با آب‌وهوای به‌طور کامل متفاوت را با یکدیگر مقایسه کرد؛ بنابراین از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در کل ایستگاه‌های مطالعه شده و نیز در مقیاس زمانی ماهانه استفاده شد. سپس براساس معیار فضایی تعریف شده در بخش داده‌ها و روش‌شناسی، ماه‌هایی که ۷۵ درصد و بیشتر ایستگاه یکی از طبقات مختلف خشکسالی یا ترسالی را تجربه کرده باشند، به‌عنوان ماه‌های همراه با خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر شناسایی شدند. در جدول ۱ به تفکیک ماه‌های همراه با خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر همراه با سال وقوع آنها آورده شده است. در این جدول به‌روشنی مشخص می‌شود که احتمال وقوع خشکسالی‌های فراگیر بسیار بیشتر از ترسالی‌های فراگیر است. ماه‌های دسامبر و آوریل با ۱۴ و ۱۳ رخداد بیشترین و ماه‌های می، اکتبر و مارس با ۴، ۸ و ۸ رخداد کمترین فراوانی وقوع خشکسالی‌های فراگیر را داشته‌اند (جدول ۱). بیشترین فراوانی وقوع ترسالی‌های فراگیر نیز با ۴ رخداد مربوط به ماه‌های اکتبر، نوامبر، ژانویه و آوریل بوده است. دو ماه مارس و فوریه نیز با ۱ رخداد کمترین فراوانی وقوع ترسالی‌های فراگیر را داشته است (جدول ۱).

جدول ۱: ماه‌های همراه با خشکسالی و ترسالی فراگیر برای دوره ۱۹۸۶-۲۰۱۶

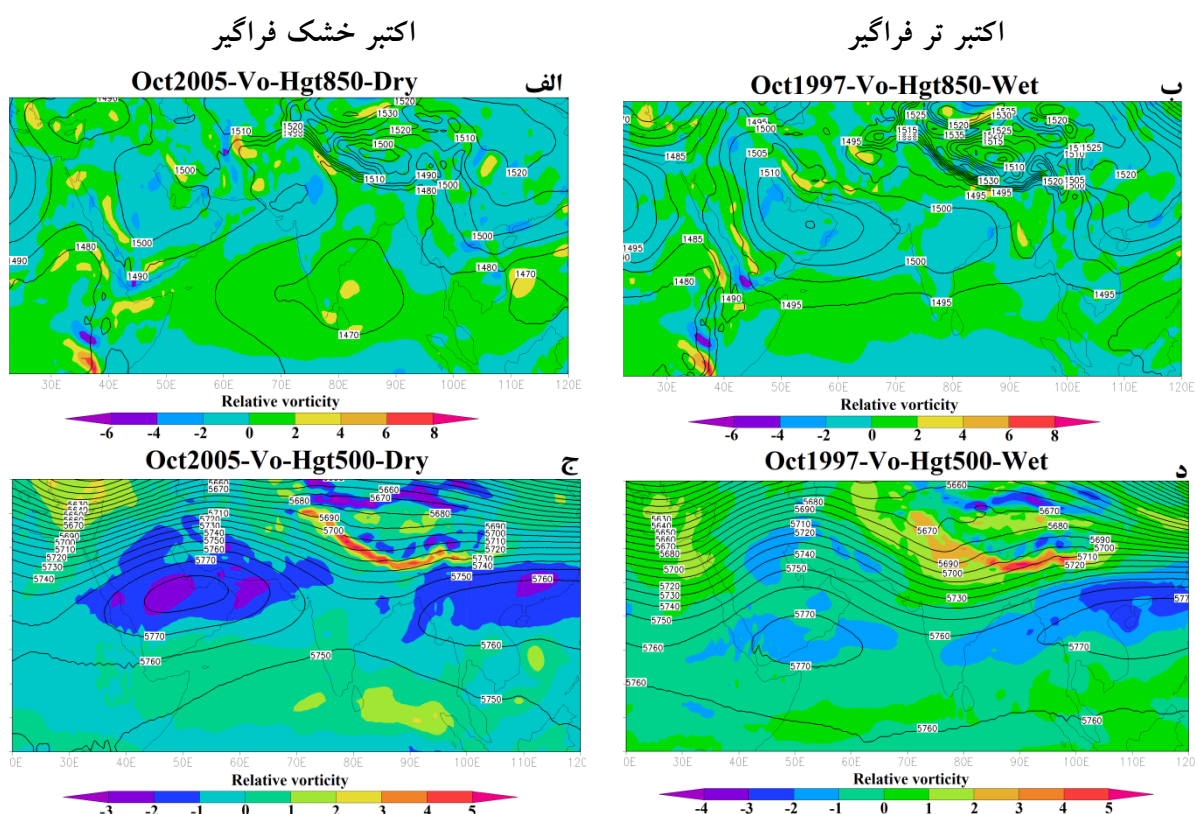
Table 1: Months with pervasive drought and wet years for the period 1986-2016

	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	۱۳۹۳	۱۳۹۴
خشکسالی‌های فراگیر	1992 2005 2007	1995 1998 2010	2010 2011	1986 1994 2014	2015	2007	1999 2000 2014	1987 1999
ترسالی‌های فراگیر	1987 1994 1997 2000 2011 2012 2014 2015	1986 1993 1994 1997 2000 2002 2004 2006 2009 2011 2012 2013 2014	1986 1987 1989 1991 1992 1997 2000 2001 2002 2003 2004 2009 2012	1987 1991 1995 1997 1998 1999 2003 2004 2005	1987 ۱۹۸۹ 1990 1992 1995 1997 2002 2006 2010	1986 1988 1990 1995 1996 1997 2002 2006	1987 1991 1992 1994 1995 2001 2002 2003 2005 2006 2008 2009 2015	1991 1993 2003 2009

منبع: نویسندگان، ۱۴۰۰

سازوکارهای انتقال رطوبت دریای عرب در زمان وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر فصل پاییز

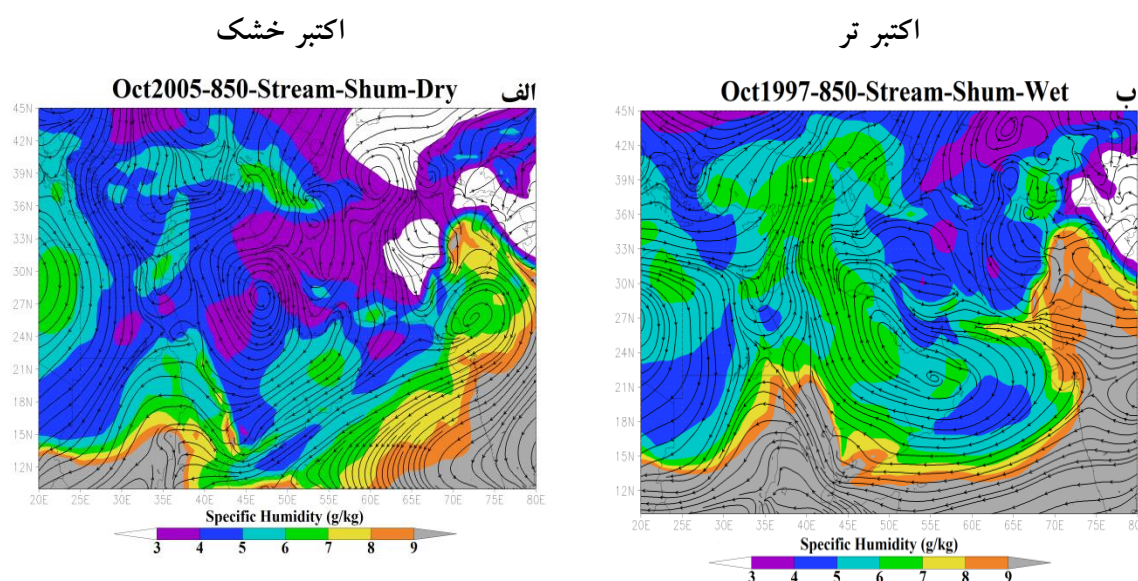
با بررسی نقشه‌های میانگین ماهانه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال برای اکتبرها و نوامبرهای همراه با خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر ایران مشاهده شد که در ماه‌های خشک فراگیر فصل پاییز همواره یک سلول کم ارتفاع را با چرخندگی مثبت در شرق سواحل شبه‌قاره هندوستان بر روی اقیانوس هند می‌توان مشاهده کرد. این سلول کم ارتفاع که در واقع، همان سامانه مونسونی جنوب آسیاست، صرف نظر از اینکه تمام شبه‌قاره هندوستان را تا جنوب رشته‌کوه‌های هیمالیا دربر گرفته، زبانه غربی آن کل دریای عرب و قسمت‌هایی از نیمه شرقی ایران را نیز احاطه کرده است. در نقطه مقابل این سامانه کم ارتفاع، یک سامانه پرارتفاع (با چرخندگی منفی) گسترده با دو هسته مرکزی یکی بر روی فلات تبت و دیگری بر روی شبه‌جزیره عربستان را می‌توان مشاهده کرد که هسته واقع بر روی شمال غرب شبه جزیره عربستان، نیمه غربی ایران، دریای عمان، خلیج فارس و کل شبه‌جزیره عربستان را تا سواحل عدن دربر می‌گیرد. در [شکل ۲ \(الف\)](#) نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال همراه با چرخندگی نسبی در اکتبر سال ۲۰۰۵ به عنوان نمونه‌ای از ماه‌های خشک فراگیر فصل پاییز آورده شده است. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز مشاهده شد که هسته‌ای از پرارتفاع جنب حاره‌ایی با چرخندگی منفی بر روی جنوب غرب آسیا واقع شده است. این هسته پرارتفاع باعث شده است که کل اقیانوس هند غربی، دریای عرب، شبه‌جزیره عربستان و قسمت‌هایی از نیمه جنوبی ایران زیر تسلط آن باشند ([شکل ۲ ب](#)). نکته بسیار مشهود درباره این پرارتفاع، استقرار شمال‌سوی آن است. قرارگیری هسته این پرارتفاع در عرض‌های جغرافیایی بالاتر باعث می‌شود که یک فراز عمیقی بر روی ایران شکل بگیرد؛ اما در نقشه‌های مربوط به ماه‌های تر فراگیر مشاهده شد که سامانه کم ارتفاع (با چرخندگی مثبت) واقع در سواحل شرقی اقیانوس هند به‌طور کامل، تضعیف شده است؛ به‌طوری که هسته مرکزی آن با یک جابه‌جایی جنوب‌سو در جنوب شبه‌قاره هندوستان قرار می‌گیرد. علاوه بر این جابه‌جایی از گستردگی زبانه غربی آن نیز به شدت کاسته شده است. تضعیف و جابه‌جایی جنوب‌سوی این سامانه کم ارتفاع باعث تقویت و جابه‌جایی پرارتفاع مستقر بر روی شبه‌جزیره عربستان می‌شود؛ به‌طوری که هسته مرکزی آن بر روی سواحل شرقی شبه‌جزیره عربستان قرار می‌گیرد. در چنین شرایطی کل ایران، دریای عرب و نیمه شمالی و مرکزی شبه‌قاره هند زیر سلطه این پرارتفاع قرار می‌گیرند ([شکل ۲ ب](#)). در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی الگوهای فضایی ماه‌های تر و خشک فراگیر به‌طور تقریبی، مشابه یکدیگر است. تنها تفاوتی که در الگوهای فضایی ماه‌های تر و خشک فراگیر در این تراز مشاهده می‌شود، این است که ماه‌های تر فراگیر پرارتفاع واقع بر روی شبه‌جزیره عربستان در مقایسه با ماه‌های خشک فراگیر موقعیت جنوبی‌تری و هسته مرکزی آن بر روی شبه جزیره عربستان قرار دارد ([شکل ۲ د](#)).



شکل ۲: نقشه‌های ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل (پریندها) و چرخندگی نسبی (مناطق رنگی) برای ترازهای ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال برای اکتبرهای خشک و تر فراگیر. (الف) اکتبر ۲۰۰۵ به‌عنوان یک اکتبر خشک فراگیر و (ب) اکتبر ۱۹۹۷ به‌عنوان یک اکتبر تر فراگیر. (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۰)

Figure 2: Composite maps of geopotential height (contour) and relative vorticity (color) for 850 and 500 hpa levels for pervasive wet and dry octobers. (a) october 2005 as a pervasive dry october and (b) october 1997 as a pervasive wet october

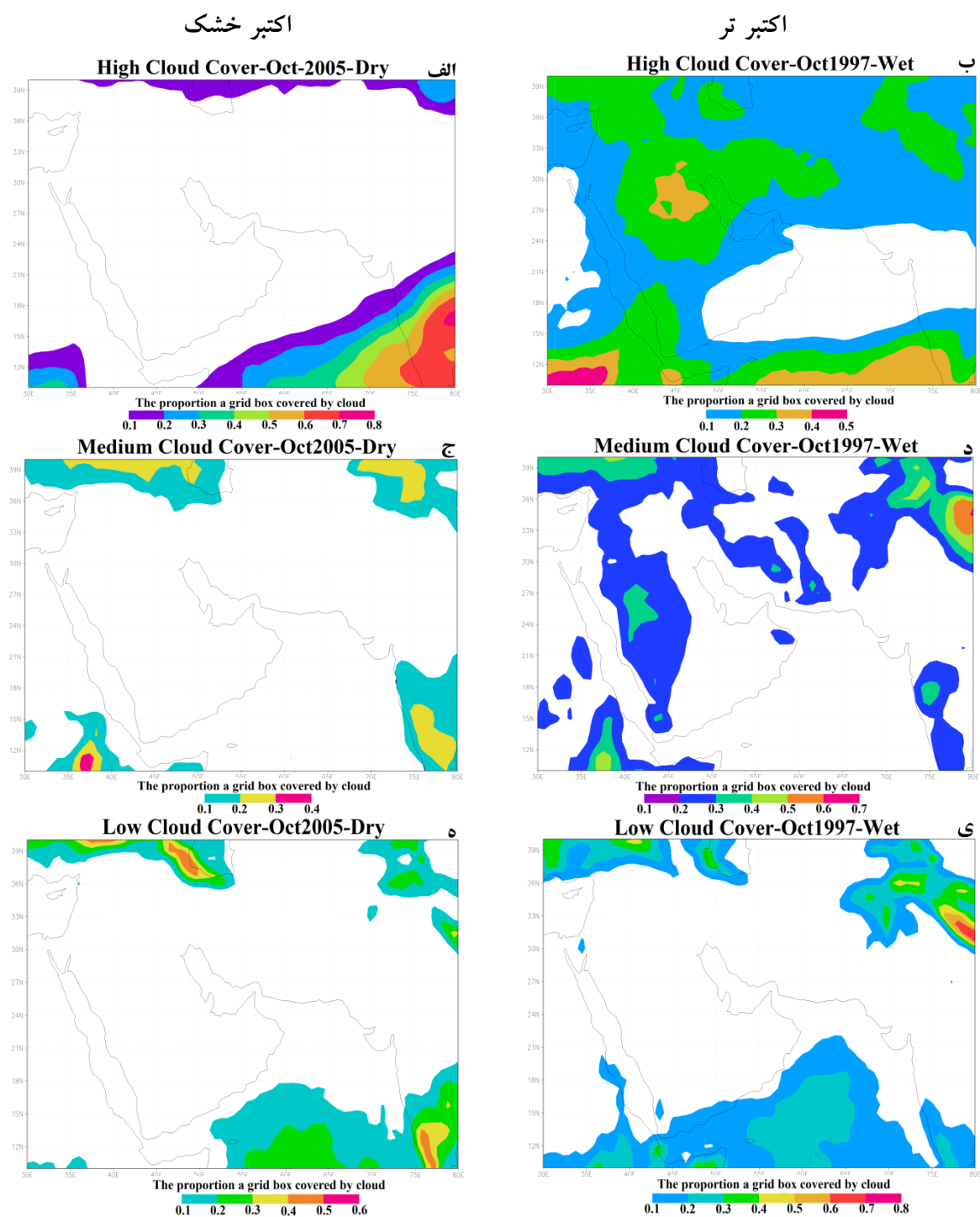
باتوجه به آرایش الگوهای ارتفاع ژئوپتانسیل در ترازهای مختلف جوی در زمان وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر ماه‌های فصل پاییز، میزان رطوبت ویژه جو ایران در هر دو شرایط تر و خشک فراگیر در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (شکل ۳ الف و ب) برای دو اکتبر ۱۹۹۷ و ۲۰۰۵ به‌عنوان یک اکتبر خشک فراگیر و یک اکتبر تر فراگیر آورده شده است. این نقشه‌ها که همراه با خطوط جریان هستند، جو خشک ایران را در اکتبرهای خشک فراگیر به‌روشنی نشان می‌دهند (شکل ۳). خطوط جریان در اکتبر تر ۱۹۹۷ یک چرخش و اچرخندی عظیم را بر روی دریای عرب نشان می‌دهد که مرکز آن بر روی سواحل شرقی شبه‌جزیره عربستان قرار گرفته است. این چرخش و اچرخندی عظیم همراه با فرود دریای سرخ با کانال رطوبتی شبه‌جزیره عربستان، رطوبت را به داخل ایران انتقال می‌دهد؛ اما در اکتبر سال ۲۰۰۵ به‌عنوان یک ماه خشک فراگیر مشاهده می‌شود که مرکز این چرخش و اچرخندی از شرق به غرب شبه‌جزیره عربستان جابه‌جا و از گستردگی آن به‌شدت کاسته شده است. این جابه‌جایی باعث شده است که انتقال رطوبت دریای عرب به داخل ایران نیز کاهش پیدا کند (شکل ۳ الف).



شکل ۳: نقشه‌های ترکیبی رطوبت ویژه (مناطق رنگی) و خطوط جریان تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (پربندها) برای اکتبرهای خشک و تر فراگیر. (الف) اکتبر ۲۰۰۵ به عنوان یک اکتبر خشک فراگیر و (ب) اکتبر ۱۹۹۷ به عنوان یک اکتبر تر فراگیر (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۰)

Figure 3: composite maps of specific humidity (color) and stream line (contour) for 850 hpa levels for pervasive wet and dry octobers. (a) october 2005 as a pervasive dry october and (b) october 1997 as a pervasive wet october

در پژوهش حاضر برای درکی دقیق‌تر از انتقال رطوبت دریای عرب به داخل خشکی‌های ایران در ترازهای مختلف جو و در زمان وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر از نقشه‌های پوشش ابر در سه سطح پایین، میانی و بالا استفاده شده است. همان‌گونه که در [شکل ۴](#) مشاهده می‌شود پوشش ابر در دو سطح پایین ([شکل ۴الف](#)) و میانی ([شکل ۴ج](#)) در ماه‌های خشک فراگیر و فقط در شمال غرب و سواحل جنوبی دریای خزر دیده می‌شود و در تراز بالا ([شکل ۴ه](#)) پوشش ابری را بر سطح خشکی‌های ایران نمی‌توان مشاهده کرد؛ بنابراین انتقال رطوبت به داخل ایران در زمان وقوع خشکسالی‌های فراگیر این فصل از جانب دریای عرب دچار مشکل شده است. به همین خاطر، تنها رطوبت دریای مدیترانه در این شرایط وارد ایران می‌شود؛ اما در اکتبرهای تر فراگیر بیشترین پوشش ابر متعلق به دو لایه میانی ([شکل ۴د](#)) و بالا ([شکل ۴الف](#)) جو بوده است. جدا از میزان پوشش ابر، نحوه آرایش پوشش ابرها در سطح‌های مختلف جو، مسیرهای ورودی رطوبت را به داخل ایران نیز نشان می‌دهد. این آرایش ابرها با الگوهای ارتفاع ژئوپتانسیل در سطح‌های مختلف جو انطباق کاملی دارد ([شکل ۴](#)).



شکل ۴: نقشه‌های پوشش ابر در سه سطح پایین، میانی و بالا در زمان وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر ایران. از بالا به پایین به ترتیب سطح بالا، میانی و پایین. پانل سمت چپ میزان پوشش ابر در اکتبر خشک فراگیر سال ۲۰۰۵ و پانل سمت راست میزان پوشش ابر در اکتبر تر فراگیر سال ۱۹۹۷ (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۰)

Figure 4: Cloud cover maps at the three levels of lower, middle and upper of atmosphere during the occurrence of pervasive dry and wet months in iran. left panel, cloud cover in pervasive dry october 2005 and right panel, cloud cover in pervasive wet october 1997

با بررسی نقشه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل در سه تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (به‌عنوان نماینده ترازهای پایین و ۵۰۰ هکتوپاسکال و نیز به‌عنوان نماینده ترازهای میانی جو) مشاهده شد زمانی که سامانه کم‌فشار مونسونی جنوب آسیا در فصل پاییز (اکتبر و نوامبر) با تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال و تأخیر زیاد، حرکت جنوب سوی خود را به سمت عرض‌های جغرافیایی پایین آغاز می‌کند زبانه غربی آن در ترازهای پایین جو، کل غرب اقیانوس هند و دریای عرب را زیر سلطه خود می‌آورد. در این شرایط هسته پراارتفاع واقع بر روی شبه‌جزیره عربستان در یک جابه‌جایی غرب سو در شمال غرب شبه‌جزیره عربستان قرار می‌گیرد. در این شرایط، پراارتفاع کل نیمه غربی ایران، خلیج فارس و شبه‌جزیره عربستان را تا خلیج عدن فرامی‌گیرد؛ بنابراین قرارگیری این دو سامانه یکی با چرخش پادساعتگرد و دیگری با گردش ساعتگرد بر روی اقیانوس هند و دریای عرب از طرفی، باعث می‌شوند که انتقال رطوبت دریای عرب و اقیانوس هند با شبه جزیره عربستان به داخل سرزمین ایران دچار مشکل شود و از طرف دیگر، باعث خشکسالی‌های فراگیر فصل پاییز می‌شوند. علاوه بر این، استقرار پرفشار جنب حاره‌ای در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز (بر روی نیمه جنوبی ایران، غرب اقیانوس هند، دریای عمان و شبه‌جزیره عربستان) اجازه صعود هوا را در ترازهای پایینی جو بر روی غرب اقیانوس هند و دریای عرب نمی‌دهد؛ بنابراین در چنین شرایطی اگر انتقال رطوبتی به داخل ایران صورت گیرد، این انتقال در ارتفاعات پایین‌تر و در یک ضخامت کمتر از جو صورت می‌گیرد؛ اما در ماه‌های تر فراگیر فصل پاییز (در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال) سامانه کم‌فشار مونسونی جنوب آسیا در قالب کمربند هم‌گرایی حاره‌ای، به موقع (قبل از اکتبر) به عرض‌های جغرافیایی پایین‌تر عقب‌نشینی می‌کند. این جابه‌جایی به موقع (قبل از اکتبر) باعث می‌شود که سامانه پراارتفاع شبه جزیره عربستان در یک جابه‌جایی شرق سو بر روی ساحل شرقی شبه‌جزیره عربستان قرار گیرد و به‌طور کامل، غرب اقیانوس هند و دریای عرب را احاطه و با حرکت ساعتگرد رطوبت اقیانوس هند و دریای عرب را با شبه‌جزیره عربستان به داخل ایران انتقال دهد؛ چون در این شرایط (در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال) یک پراارتفاع بر روی غرب اقیانوس هند و دریای عرب مستقر و سرانجام، رطوبت این دو پهنه آبی در یک ضخامت بیشتر از جو زمین (از ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال) به داخل خشکی‌های ایران منتقل می‌شود.

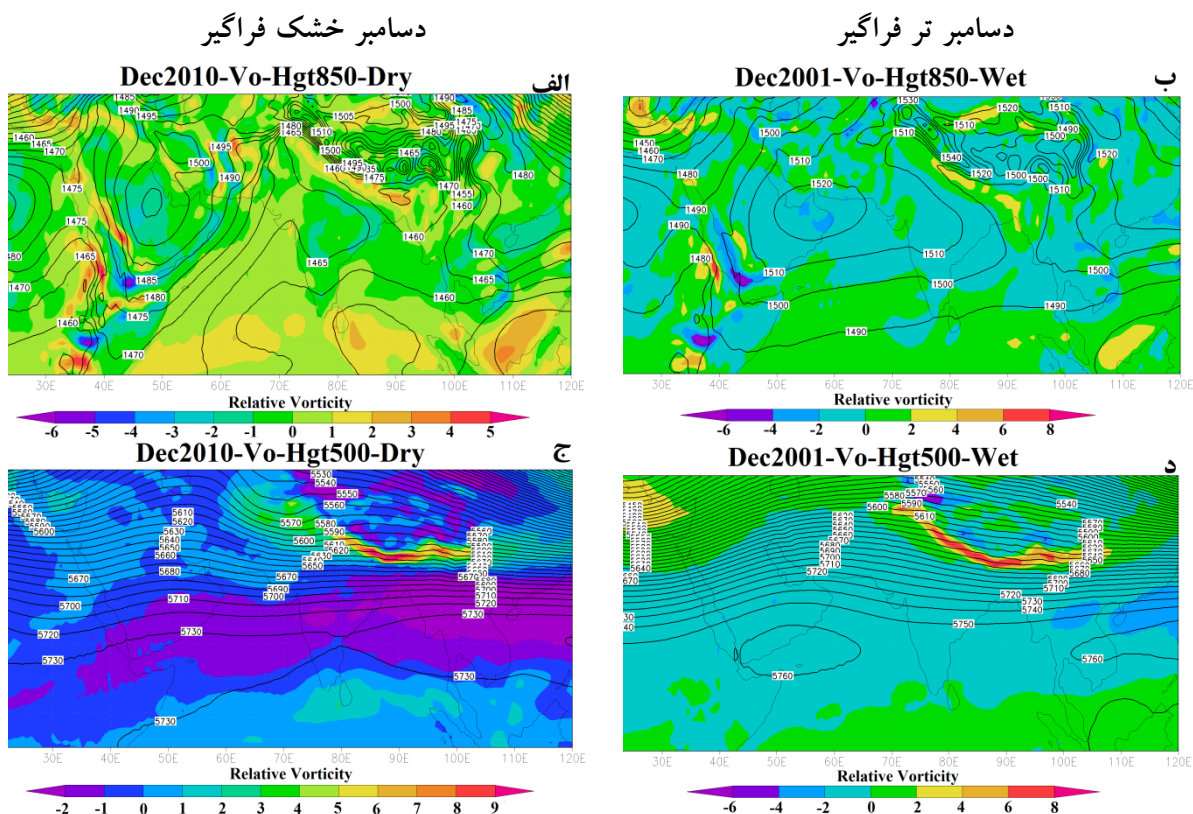
سازوکارهای انتقال رطوبت دریای عرب در زمان وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر فصل زمستان

در ماه‌های فصل زمستان (دسامبر، ژانویه و فوریه) با استقرار الگوهای فصل سرد سال بر روی جنوب غرب آسیا شاهد الگوهای به نسبت یکسانی بر روی دریای عرب و اقیانوس هند برای تمامی این سه ماه هستیم. در این فصل (در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال) همواره می‌توان یک هسته پراارتفاع بر روی آسیای مرکزی، یک هسته پراارتفاع بر روی جنوب غرب آسیا و یک هسته پراارتفاع دیگر را بر روی اقیانوس اطلس و شمال آفریقا با مقدار چرخندگی منفی مشاهده کرد. هسته مرکزی سامانه آسیای مرکزی که در واقع، یک سامانه پراارتفاع حرارتی است و از این به بعد با نام پراارتفاع آسیایی از آن نام برده می‌شود، بر روی سیبری و هسته مرکزی سامانه اقیانوس اطلس و شمال آفریقا که در واقع، یک سامانه پراارتفاع دینامیکی است و از این به بعد با نام پراارتفاع اقیانوس اطلس از آن یاد خواهد شد، بر روی شرق اقیانوس اطلس

مستقر است. علاوه بر این، می‌توان مشاهده کرد که در فصل زمستان همواره یک هسته پراارتفاع دیگر با چرخندگی منفی بر روی شرق شبه‌جزیره عربستان در این تراز وجود دارد که می‌تواند هسته فرعی یا ثانویه‌ای از پراارتفاع اقیانوس اطلس باشد که با زبانه غربی آن تا این قسمت از جنوب غرب آسیا امتداد پیدا کرده است (شکل ۵ الف و ب).

با بررسی نقشه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال تمامی ماه‌های تر و خشک فراگیر فصل زمستان ایران مشاهده شد که در ماه‌های خشک فراگیر، همواره یک پراارتفاع گسترده و پیوسته که از کنار هم قرارگرفتن دو پراارتفاع آسیایی و اقیانوس اطلس شکل گرفته، سرتاسر آسیای مرکزی، خاورمیانه و شمال آفریقا را دربرگرفته است. در این شرایط کل اقیانوس هند غربی و دریای عرب نیز زیر تسلط این پراارتفاع (با چرخندگی منفی) قرار دارند. در این شرایط مشاهده می‌شود که پراارتفاع مستقر بر روی عربستان که وظیفه آن انتقال رطوبت دریای عرب به داخل خشکی‌های ایران است در مقایسه با ماه‌های تر فراگیر در یک موقعیت غربی‌تری بر روی شبه‌جزیره عربستان قرار دارد؛ اما پراارتفاع پیوسته و گسترده‌ای که در ماه‌های خشک فراگیر تمامی آسیای مرکزی، خاورمیانه و شمال آفریقا را دربرگرفته بود، در ماه‌های تر فراگیر، دیگر مشاهده نمی‌شود. در ماه‌های تر فراگیر این فصل، پراارتفاع آسیایی و اقیانوس اطلس در حوالی دریای سرخ به دو سامانه مجزا تقسیم می‌شوند. در این تقسیم‌بندی پراارتفاع مستقر بر روی شبه‌جزیره عربستان همراه با پراارتفاع آسیایی از پراارتفاع اقیانوس اطلس جدا می‌شود و موقعیت شرقی‌تری نسبت به ماه‌های خشک فراگیر به خود می‌گیرد (شکل ۵ الف و ب).

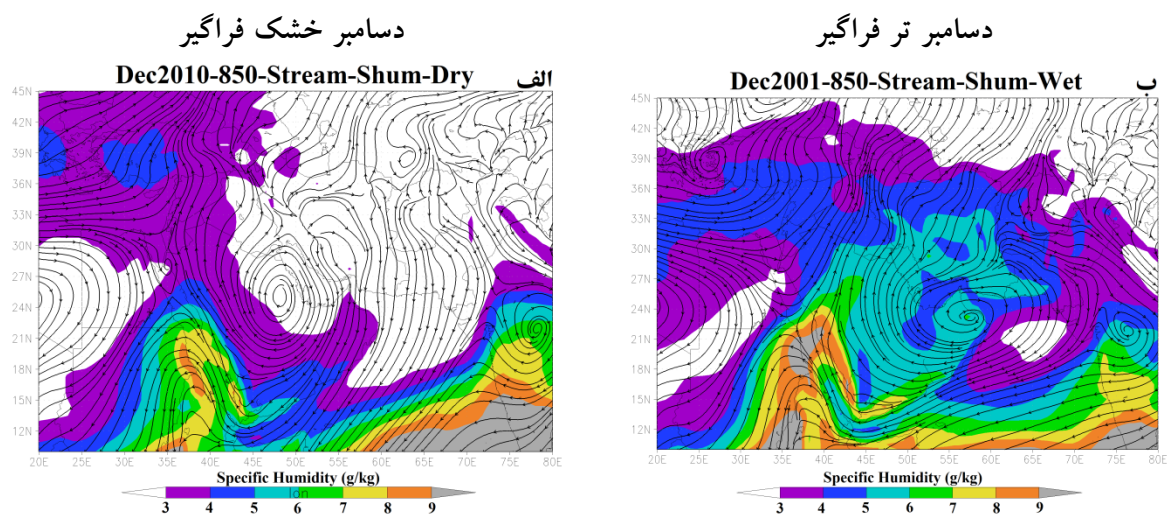
در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و نیز در زمان وقوع ترسالی‌های فراگیر، یک هسته پراارتفاع را با چرخندگی منفی بر روی جنوب شبه‌جزیره عربستان می‌توان مشاهده کرد (شکل ۵ د). این هسته پراارتفاع در زمان وقوع خشکسالی‌های فراگیر مشاهده نمی‌شود (شکل ۵ ج). جدا از استقرار این هسته پراارتفاع، مشاهده می‌شود که در زمان وقوع خشکسالی‌های فراگیر آرایش خطوط ارتفاع بادهای غربی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بر روی خاورمیانه به‌طور تقریبی، مداری است (شکل ۵ ج) درحالی که در زمان وقوع ترسالی‌های فراگیر این آرایش نصف‌النهاری می‌شود و در بیشتر مواقع نیز ایران در منطقه هم‌گرایی بالایی آن قرار می‌گیرد (شکل ۵ د).



شکل ۵: نقشه‌های ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل (پربندها) و چرخندگی نسبی (مناطق رنگی) برای ترازهای ۸۵۰ و ۵۰۰ به‌عنوان یک دسامبر خشک و تر فراگیر. (الف) دسامبر ۲۰۱۰ به‌عنوان یک دسامبر خشک فراگیر و (ب) دسامبر ۲۰۰۱ به‌عنوان یک دسامبر تر فراگیر (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۰)

Figure 5: composite maps of geopotential height (contour) and relative vorticity (color) for 850 and 500 hpa levels for pervasive wet and dry decembers. (a) december 2010 as a pervasive dry december and (b) december 2001 as a pervasive wet december

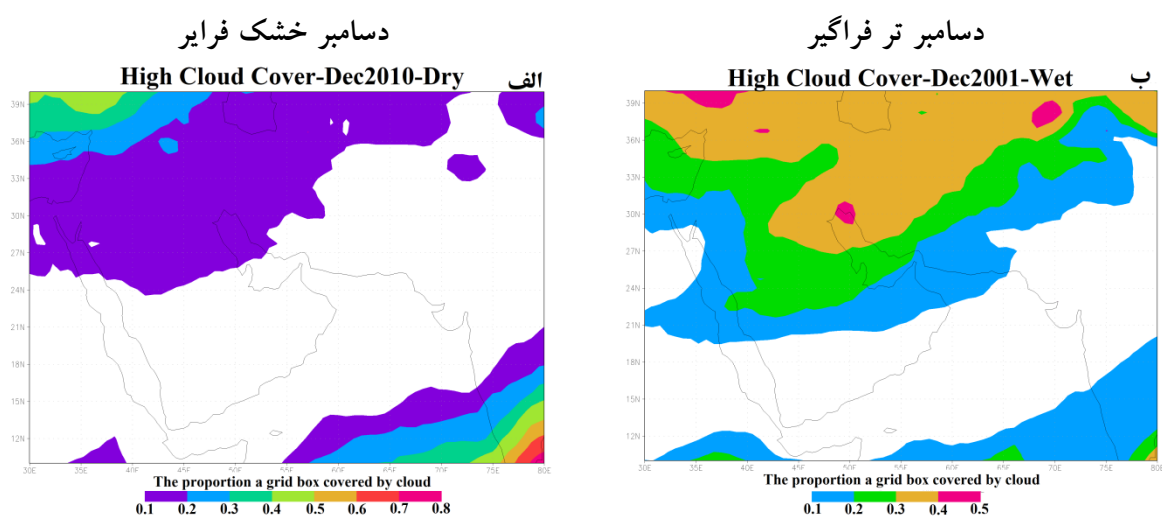
شکل ۶ در قالب دو نقشه یکی مربوط به دسامبر ۲۰۱۰ (به‌عنوان نماینده‌ای از ماه‌های خشک فراگیر) (**شکل ۶الف**) و دیگری مربوط به دسامبر ۲۰۰۱ (به‌عنوان نماینده‌ای از دسامبرهای تر فراگیر) (**شکل ۶ب**) ارائه شده که در آن به محتوای رطوبتی فصل زمستان جنوب غرب آسیا و به‌ویژه ایران توجه شده است. همان‌گونه که در **شکل ۶الف** مشاهده می‌شود در ماه‌های خشک فراگیر محتوای رطوبتی جو ایران در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در مقایسه با ماه‌های تر فراگیر بسیار اندک است. بااطمینان، این شرایط ناشی از آرایش الگوهای همدید در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال بر روی جنوب غرب آسیا به‌ویژه بر روی دریای عرب و غرب اقیانوس هند است (**شکل ۶الف**). خطوط جریان رسم شده در این نقشه‌ها به صورت مشخص نقش پررنگ استقرار پراارتفاع واقع بر روی شبه‌جزیره عربستان را در انتقال رطوبت دریای عرب و اقیانوس هند بر روی ایران نشان می‌دهد (**شکل ۶ب**).

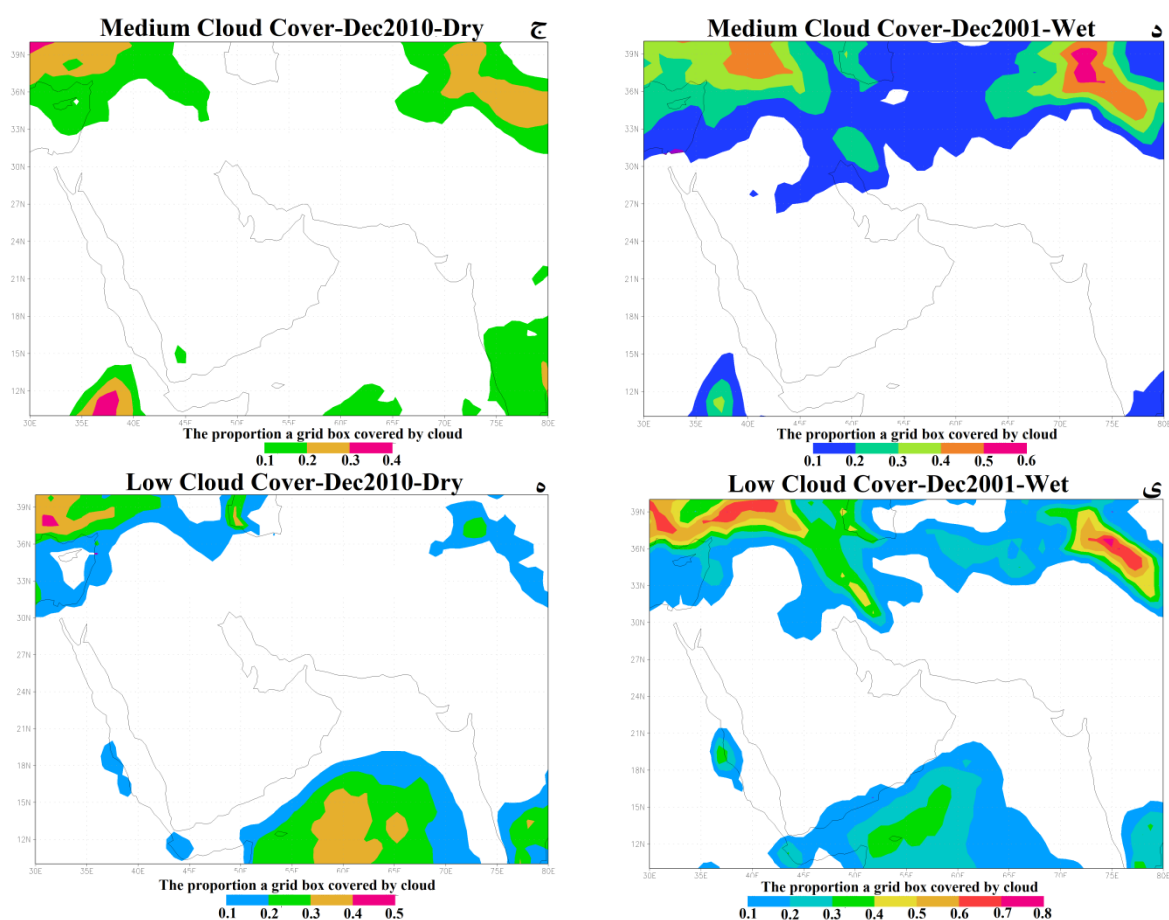


شکل ۶: نقشه‌های ترکیبی رطوبت ویژه (مناطق رنگی) و خطوط جریان تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (پربندها) برای دسامبرهای خشک و تر فراگیر. (الف) دسامبر ۲۰۱۰ به‌عنوان یک دسامبر خشک فراگیر و (ب) دسامبر ۲۰۰۱ به‌عنوان یک دسامبر تر فراگیر. (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۰)

Figure 6: Composite maps of specific humidity (color) and stream line (contour) for 850 hpa levels for pervasive wet and dry decembers. (a) december 2010 as a pervasive dry december and (b) december 2001 as a pervasive wet december

پوشش انواع مختلف ابر می‌تواند کمک‌کننده بسیار بزرگی در راستای درک سازوکارهای انتقال رطوبت دریای عرب و اقیانوس هند به داخل خشکی‌های ایران در زمان وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر ایران باشد. در دسامبرهای خشک فراگیر تنها می‌توان ابرهای با سطح‌های بالا (شکل ۷الف) را در جو ایران ردیابی کرد؛ درحالی‌که در دسامبرهای تر فراگیر علاوه بر ابرهای با سطح‌های بالا، می‌توان ابرهای با سطح‌های میانی و پایینی جو را نیز ردیابی کرد (شکل ۷د، ب، ی).





شکل ۷: نقشه‌های پوشش ابر در سه سطح پایین، میانی و بالا در زمان وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر ماه دسامبر ایران. از بالا به پایین به ترتیب سطح بالا، میانی و پایین. پانل سمت چپ میزان پوشش ابر در دسامبر خشک فراگیر سال ۲۰۱۰ و پانل سمت راست میزان پوشش ابر در دسامبر تر فراگیر سال ۲۰۰۱ (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۰)

Figure 7: Cloud cover maps at the three levels of lower, middle and upper of atmosphere during the occurrence of pervasive dry and wet months in iran. left panel, cloud cover in pervasive dry december 2010 and right panel, cloud cover in pervasive wet december 2001

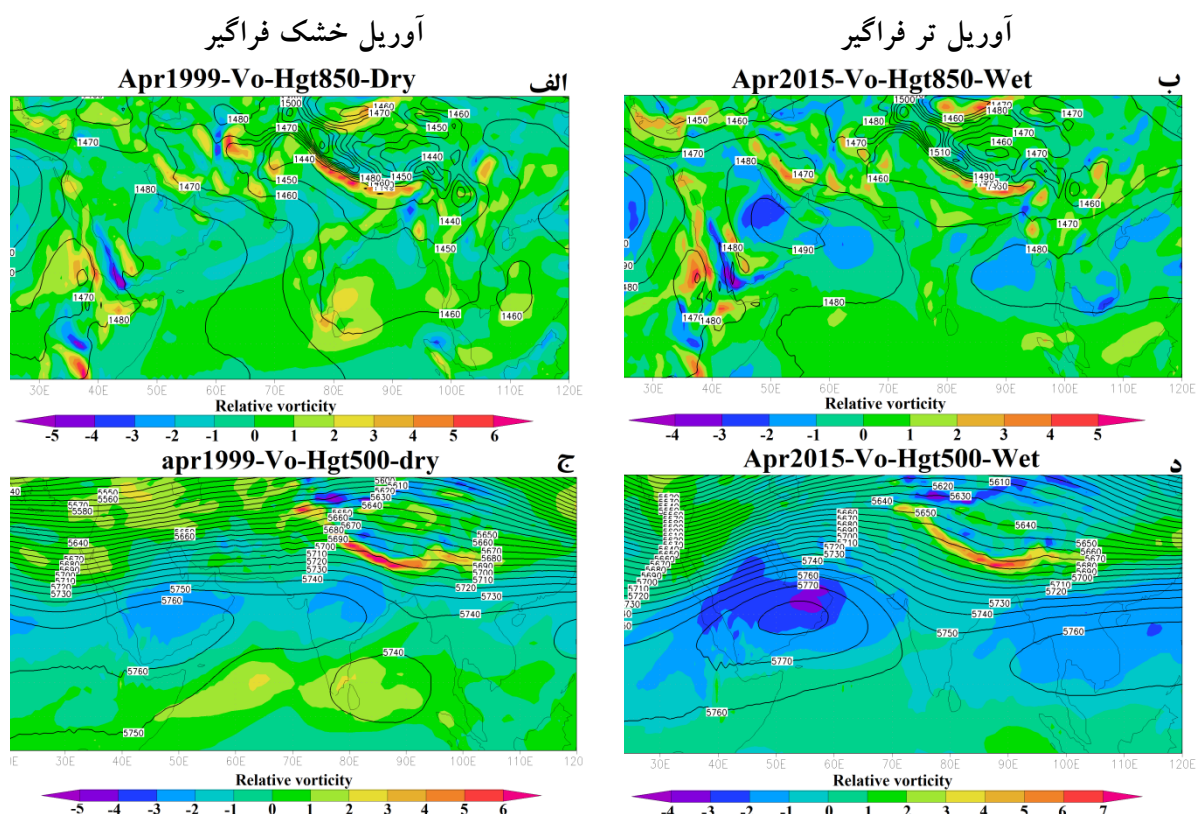
اکنون با بررسی نقشه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل در ترازهای مختلف جوی می‌توان به سازوکارهای انتقال رطوبت دریای عرب و اقیانوس هند در زمان وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر ماه‌های فصل زمستان پی برد. در زمان وقوع خشکسالی‌های فراگیر با کنار هم قرارگرفتن دو پراترفاع آسیایی (پراترفاع حرارتی) و اقیانوس اطلس (پراترفاع دینامیکی) در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، سرتاسر آسیای مرکزی، خاورمیانه و شمال آفریقا زیر سیطره یک سامانه پراترفاع گسترده و پیوسته قرار می‌گیرند. مرز شمالی این سامانه گسترده و پیوسته، بخش‌های عظیمی از دریای مدیترانه را به خصوص نیمه جنوبی آن فرا می‌گیرد. گسترش زبانه شمالی این پراترفاع بر روی دریای مدیترانه جدا از اینکه باعث اختلال در فرآیند چرخندزایی دریای مدیترانه می‌شود، اجازه عمیق‌شدن امواج بادهای غربی را بر روی دریای سرخ نمی‌دهد؛ بنابراین مهم‌ترین دلیلی که این دو پراترفاع در ماه‌های خشک فراگیر فصل زمستان در کنار هم قرار می‌گیرند، جابه‌جایی شمال سوی پراترفاع اقیانوس اطلس و گسترش زبانه شمالی آن بر روی دریای مدیترانه است. اکنون سؤالی

که در اینجا باقی می‌ماند و باید به آن پاسخ داده شود، این است که حرکت شمال‌سوی پراارتفاع اقیانوس اطلس و استقرار مرز شمالی آن چه تأثیری بر روی سازوکار انتقال رطوبت دریای عرب و اقیانوس هند بر روی ایران دارد؟ در پاسخ به این سؤال باید اشاره شود زمانی که امواج بادهای غربی بر روی دریای سرخ عمیق نشود و به دنبال آن نتواند زبانه جنوبی خود را در قالب ناوهای عمیق به عرض‌های جغرافیایی پایین بکشد، پراارتفاع مستقر بر روی شبه‌جزیره عربستان با یک جابه‌جایی غرب سو بر روی نیمه غربی شبه‌جزیره عربستان قرار می‌گیرد و در این شرایط است که انتقال رطوبت دریای عرب با کانال دریای سرخ دچار اختلال می‌شود. گفتنی است در این فصل با توجه به نقشه‌ای که [کریمی احمدآباد \(۱۳۸۶\)](#) درباره توزیع فضایی مهم‌ترین سطح‌های آبی در بارش‌های نواحی مختلف ایران در فصل زمستان در اختیار قرار داده است، مشاهده می‌شود که به جزء نواحی جنوب و جنوب شرق که منبع تأمین بارش‌های آن فقط دریای عرب گزارش شده است، در بقیه نواحی ایران، منبع اصلی تأمین رطوبت ایران ترکیب توأمان دریای عرب و مدیترانه با یکدیگر بوده است؛ اما در زمان وقوع خشکسالی‌های فراگیر ایران مشاهده می‌شود که دو پراارتفاع آسیایی و اقیانوس اطلس که در زمان وقوع خشکسالی‌های فراگیر ماه‌های فصل زمستان به صورت یک پراارتفاع گسترده و پیوسته کل آسیای مرکزی، خاورمیانه و شمال آفریقا را دربر گرفته بودند، در ماه‌های تر فراگیر در حوالی دریای سرخ به دو سامانه پراارتفاع جدا از هم تقسیم می‌شوند. سامانه پراارتفاع اقیانوس اطلس در این ماه‌ها یک جابه جایی جنوب سو به سمت عرض‌های جغرافیایی پایین داشته است و هسته مرکزی آن بر روی شرق اقیانوس اطلس قرار می‌گیرد. با این جابه‌جایی مرز شمالی پراارتفاع اقیانوس اطلس از روی دریای مدیترانه خارج و سپس شرایط بهینه برای چرخندزایی بر روی این دریا فراهم می‌شود؛ اما جدا از این شرایط مناسب برای چرخندزایی بر روی دریای مدیترانه، باید به عمیق شدن امواج بادهای غربی بر روی دریای مدیترانه نیز توجه ویژه‌ای کرد؛ بنابراین یکی از مهم‌ترین دلایلی که باعث می‌شود دو پراارتفاع آسیایی و اقیانوس اطلس از یکدیگر منفک شوند، عمیق شدن ناو دریای مدیترانه و امتداد زبانه جنوبی آن تا جنوب دریای احمر است. با این توضیحات اکنون می‌توان دلیل جابه‌جایی شرق‌سوی پراارتفاع عربستان را در ماه‌های تر فراگیر فصل زمستان تبیین کرد. عمیق شدن ناو دریای مدیترانه و امتداد زبانه جنوبی آن تا جنوب دریای احمر باعث می‌شود که دو پراارتفاع آسیایی و اقیانوس اطلس از یکدیگر منفک شوند. این انفکاک باعث می‌شود پراارتفاع مستقر بر روی عربستان با یک جابه‌جایی شرق سو به نیمه شرقی شبه‌جزیره عربستان انتقال داده و شرایط نیز برای انتقال رطوبت به داخل ایران به بهترین نحو ممکن فراهم شود؛ اما همان‌گونه که پیشتر از این به صراحت اشاره شد، دریای مدیترانه نقش بزرگی در انتقال رطوبت دریای عرب به داخل ایران دارد؛ بنابراین نباید از آن غافل بود.

سازوکارهای انتقال رطوبت دریای عرب در زمان وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر فصل بهار

در فصل بهار (مارس، آوریل و می) که فصل گذار از دوره سرد سال به دوره گرم سال در جنوب غرب آسیاست، ماهیت بسیاری از سامانه‌های همدید به خصوص پراارتفاع آسیایی که یک سامانه‌ای با ماهیت حرارتی است، تغییر پیدا می‌کند. در این فصل با جابه‌جایی خورشید از نیمکره جنوبی به نیمکره شمالی و گرم شدن تدریجی سطح زمین، علاوه

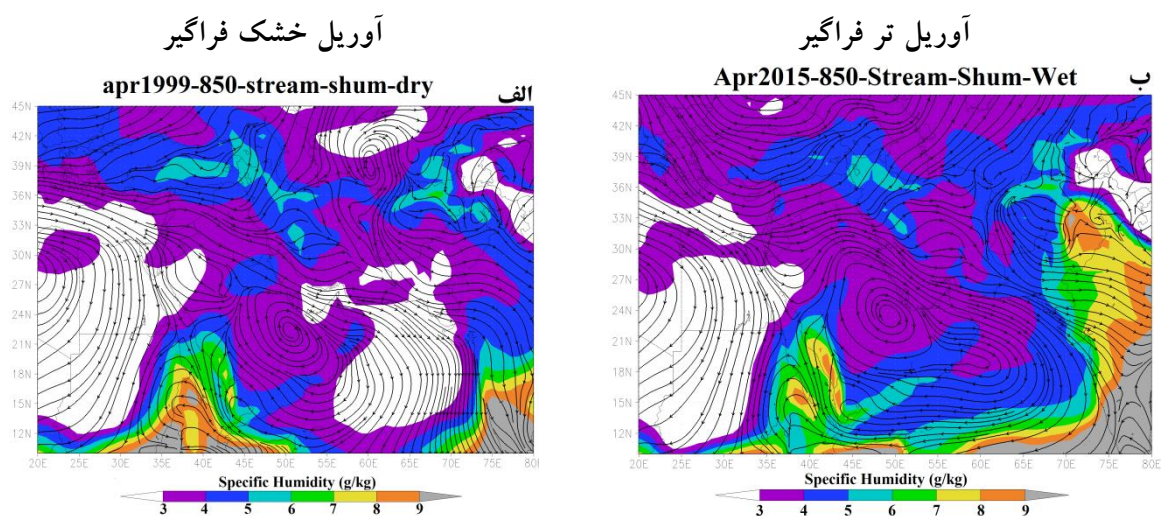
بر جابه‌جایی شمال‌سوی پرفشار جنب حاره و کمربند هم‌گرایی حاره‌ایی به عرض‌های جغرافیایی بالاتر، سامانهٔ پراتفعا آسیایی (سیبری) نیز تضعیف می‌شود و از بین می‌رود. با بررسی نقشه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در تمامی ماه‌های تر و خشک فراگیر فصل بهار مشاهده شد که تعاملی الاکنگی بین پراتفعا اقیانوس اطلس و کم‌ارتفاع فلات تبت در جابه‌جایی پراتفعا عربستان در جنوب غرب آسیا وجود دارد. زمانی که کم‌ارتفاع فلات تبت در وضعیت تضعیف شده‌ای قرار می‌گیرد و از گسترش زبانهٔ غربی آن کاسته می‌شود، پراتفعا اقیانوس اطلس امکان گسترش زبانهٔ شرقی خود را بر روی جنوب غرب آسیا پیدا می‌کند. این گسترش باعث جابه‌جایی شرق سوی پراتفعا عربستان می‌شود؛ به‌طوری که این جابه‌جایی سبب می‌شود که پراتفعا عربستان بر روی شرق شبه‌جزیرهٔ عربستان و غرب دریای عرب قرار گیرد. در این شرایط کل دریای عرب و غرب اقیانوس هند زیر سیطرهٔ این پراتفعا قرار می‌گیرند؛ بنابراین این پراتفعا با گردش ساعتگرد (موافق عقربه‌های ساعت) خود رطوبت دریای عرب و اقیانوس هند را با کانال رطوبتی واقع بر روی شبه‌جزیرهٔ عربستان به داخل ایران انتقال می‌دهد (شکل ۸ب)؛ اما در زمان وقوع خشکسالی‌های فراگیر مشاهده می‌شود که کم‌ارتفاع فلات تبت در قوی‌ترین حالت خود است. در این حالت، زبانهٔ غربی این کم‌ارتفاع، گسترش فضایی زیادی پیدا می‌کند؛ به‌طوری که نیمهٔ شرقی دریای عرب و اقیانوس هند غربی را در این تراز زیر پوشش خود قرار می‌دهد. پراتفعا اقیانوس اطلس نیز در این شرایط در یک موقعیت تضعیف شده قرار می‌گیرد؛ به‌طوری که در زبانهٔ شرقی آن یک جابه‌جایی به سمت شمال آفریقا مشاهده می‌شود؛ بنابراین با تقویت کم‌ارتفاع تبت و تضعیف پراتفعا اقیانوس اطلس یک جابه‌جایی غرب‌سو در پراتفعا مستقر بر روی شبه‌جزیرهٔ عربستان مشاهده می‌شود؛ به‌طوری که هستهٔ مرکزی این پراتفعا بر روی نیمهٔ غربی و به صورت ویژه بر روی شمال غرب شبه‌جزیرهٔ عربستان قرار می‌گیرد. با این توضیحات نیمهٔ غربی دریای عرب زیر سیطرهٔ پراتفعا شبه‌جزیرهٔ عربستان با گردش ساعتگرد (موافق عقربه‌های ساعت) و نیمهٔ شرقی آن زیر سیطرهٔ زبانهٔ کم‌ارتفاع فلات تبت با گردش پادساعتگرد (مخالف عقربه‌های ساعت) است؛ بنابراین در چنین شرایطی انتقال رطوبت دریای عرب به داخل ایران در این فصل مختل می‌شود (شکل ۸الف)؛ اما در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال الگوهای به‌نسبت مشابهی از آرایش خطوط هم‌ارتفاع را در زمان وقوع ماه‌های تر و خشک فراگیر فصل بهار بر روی دریای عرب و غرب اقیانوس هند می‌توان مشاهده کرد. در این تراز همواره یک پراتفعا بر روی دریای عرب و غرب اقیانوس هند استقرار دارد. این پراتفعا که در واقع، همان پراتفعا جنب حاره‌ایی است، نقش بزرگی در وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر ماه‌های فصل بهار دارد. استقرار این پراتفعا همواره روی دریای عرب و غرب اقیانوس هند با نزول هوا همراه است؛ بنابراین زمانی که این پراتفعا با پراتفعا‌های حاکم بر ترازهای پایین‌جو بر روی دریای عرب و اقیانوس هند هماهنگ می‌شود، انتقال رطوبت دریای عرب و اقیانوس هند غربی به داخل ایران به‌سهولت انجام می‌شود و سپس این دو پراتفعا ترسالی‌های فراگیر ایران را در این فصل رقم می‌زنند (شکل ۸د)؛ اما زمانی که در ترازهای پایین، کم‌ارتفاع و در ترازهای میانی به‌خصوص در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال پراتفعا حاکم باشد، صعود هوا در کم‌ارتفاع‌ها و نزول هوا از پراتفعا‌ها باعث اختلال در انتقال رطوبت از دریای عرب و غرب اقیانوس هند به داخل ایران و درنهایت، سبب خشکسالی‌های فراگیر فصل بهار می‌شود (شکل ۸ج).



شکل ۸: نقشه‌های ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل (پریندها) و چرخندگی نسبی (مناطق رنگی) برای ترازهای ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال برای آوریل‌های خشک و تر فراگیر. (الف) آوریل ۱۹۹۹ به‌عنوان یک آوریل خشک فراگیر و (ب) آوریل ۲۰۱۵ به‌عنوان یک آوریل تر فراگیر (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۰)

Figure 8: Composite maps of geopotential height (contour) and relative vorticity (color) for 850 and 500 hpa levels for pervasive wet and dry aprils. (a) april 1999 as a pervasive dry april and (b) april 2015 as a pervasive wet april

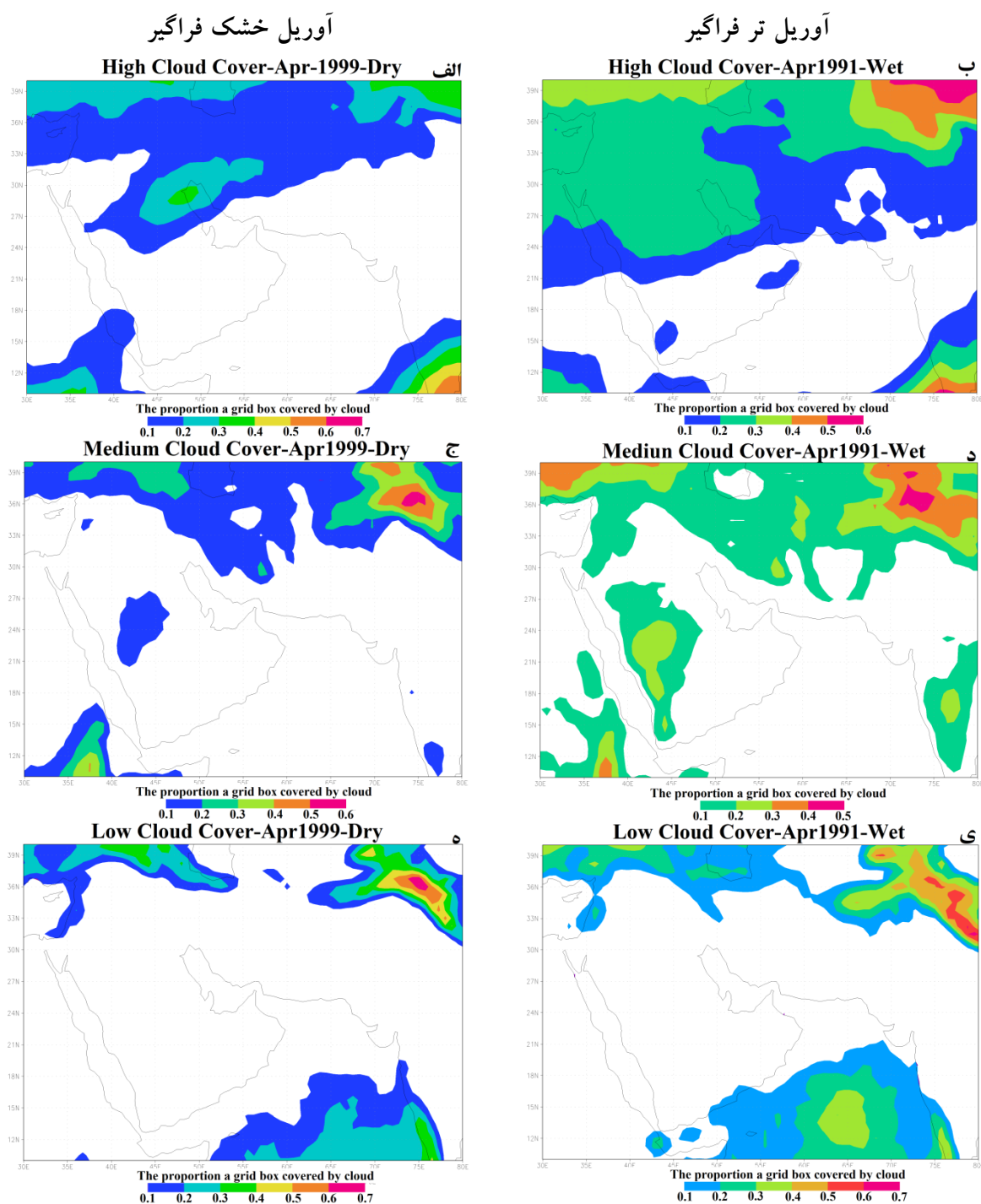
در پژوهش حاضر محتوای رطوبتی جو ایران در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال و نیز در زمان وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر فصل بهار بررسی شد. با بررسی نقشه‌های ترکیبی رطوبت ویژه و خطوط جریان به‌روشنی مشخص شد که انتقال رطوبت دریای عرب به‌شدت تابعی از استقرار پراارتفاع عربستان بر روی شبه‌جزیره عربستان است. زمانی که این پراارتفاع بر روی نیمه غربی شبه‌جزیره عربستان باشد، رطوبت کمتری از این دریا به داخل ایران منتقل می‌شود. خطوط جریان به‌روشنی این اختلال را در انتقال رطوبت برای ماه آوریل ۱۹۹۹ در [شکل ۹ \(الف\)](#) به نمایش می‌گذارد. در این ماه مشاهده می‌شود که رطوبت دریای مدیترانه و انتقال آن به داخل ایران نقش پررنگ‌تری در این شرایط دارد ([شکل ۹ \(ب\)](#))؛ اما زمانی که این پراارتفاع بر روی نیمه شرقی و به‌صورت ویژه بر روی سواحل شرقی شبه‌جزیره عربستان قرار می‌گیرد، رطوبت بیشتری به داخل ایران وارد می‌شود که خطوط جریان ماه آوریل ۲۰۱۵ انتقال رطوبت دریای عرب را از کانال شبه‌جزیره عربستان به‌خوبی نشان می‌دهد ([شکل ۹ \(ب\)](#)).



شکل ۹: نقشه‌های ترکیبی رطوبت ویژه (مناطق رنگی) و خطوط جریان تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (پریندها) برای آوریل‌های خشک و تر فراگیر. (الف) آوریل ۱۹۹۹ به‌عنوان یک آوریل خشک فراگیر و (ب) آوریل ۲۰۱۵ به‌عنوان یک آوریل تر فراگیر (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۰)

Figure 9: Composite maps of specific humidity (color) and stream line (contour) for 850 hpa levels for pervasive wet and dry aprils. (a) april 1999 as a pervasive dry april and (b) april 2001 as a pervasive wet april

در پژوهش حاضر نقشه‌های پوشش ابر ارتفاعات مختلف نیز در تمامی ماه‌های تر و خشک فراگیر فصل بهار بررسی شد. آنچه در این نقشه‌ها بسیار مهم بود، حضور کم‌رنگ پوشش ابرهای پایین در زمان وقوع ترسالی‌ها و خشکسالی‌های فراگیر ایران بود (شکل ۱۰-ا-ی)؛ اما جدا از ابرهای پایین، وجود پوشش ابرهای میانی و بالا در جو ایران و در زمان وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر این فصل بسیار مشهود است (شکل ۱۰-الف-د). همچنین، آنچه باعث می‌شود که ماه‌های تر و خشک فراگیر از یکدیگر جدا شوند، میزان پوشش آنهاست. همان‌گونه که در شکل ۱۰ (ب) و (د) مشاهده می‌شود در زمان ترسالی‌های فراگیر میزان پوشش ابرهای میانی و بالا بسیار بیشتر از زمان خشکسالی‌های فراگیر است. علاوه بر این، مشاهده می‌شود که در زمان وقوع خشکسالی‌های فراگیر، پیوستگی ابرهای میانی و فوقانی بر روی شبه‌جزیره عربستان قطع می‌شود که ناشی از جابه‌جایی غرب‌سوی پراتفیع عربستان بر روی شبه‌جزیره عربستان است؛ اما در زمان ترسالی‌های فراگیر این پیوستگی در ابرها در کانال رطوبتی دریای عرب بر روی شبه‌جزیره بیشتر است (شکل ۱۰-الف و ج).



شکل ۱۰: نقشه‌های پوشش ابر در سه سطح پایین، میانی و بالا در زمان وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر ماه آوریل ایران. از بالا به پایین به ترتیب سطح بالا، میانی و پایین. پانل سمت چپ میزان پوشش ابر در آوریل خشک فراگیر سال ۱۹۹۹ و پانل سمت راست میزان پوشش ابر در آوریل تر فراگیر سال ۱۹۹۱ (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۰)

Figure 10: Cloud cover maps at the three levels of lower, middle and upper of atmosphere during the occurrence of pervasive dry and wet months in iran. left panel, cloud cover in pervasive dry april 1999 and right panel, cloud cover in pervasive wet april 1991

نتیجه‌گیری

شناسایی الگوهای همدید منجر به خشکسالی‌ها و ترسالی‌های ایران در مقیاس‌های زمانی و فضایی مختلف می‌شود که این موضوع همواره یکی از دغدغه‌های هواشناسان و اقلیم‌شناسان در ایران بوده است. با داشتن یک پیشینه غنی در این زمینه هنوز ابهام‌هایی درباره سازوکارهای انتقال رطوبت از دریاها و مجاور به خصوص اقیانوس هند و دریای عرب در زمان خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر ایران وجود دارد؛ بنابراین هدف اصلی پژوهش حاضر بررسی جابه‌جاشدن الگوهای گردشی چرخندی و واچرخندی بر روی دریای عرب و شمال اقیانوس هند در زمان وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر ایران است.

با بررسی سازوکارهای مختلف انتقال رطوبت دریای عرب در زمان وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر ایران مشخص شد که در هر فصل الگوهای خاصی در انتقال رطوبت این دریا نقش دارد. در فصل پاییز تأخیر در جابه‌جایی جنوب سوی کم‌ارتفاع مونسونی جنوب آسیا باعث می‌شود که زبانه غربی آن بر روی دریای عرب گسترش پیدا کند و این گسترش از طرفی، باعث جابه‌جایی غرب سوی پراترفاع مستقر بر روی شبه‌جزیره عربستان می‌شود و از طرف دیگر، انتقال رطوبت این دریا را به داخل ایران مختل می‌کند و در نهایت، سبب خشکسالی‌های فراگیر ایران می‌شود؛ اما زمانی که کم‌ارتفاع مونسونی جنوب آسیا در موقعیت جنوبی تری قرار می‌گیرد از گسترش زبانه غربی آن کاسته می‌شود و سپس پراترفاع مستقر بر روی شبه‌جزیره عربستان با یک جابه‌جایی شرق سو بر روی سواحل دریای عرب قرار می‌گیرد. در این شرایط کل دریای عرب زیر سیطره این پراترفاع قرار می‌گیرد و رطوبت آن با کانال رطوبتی شبه‌جزیره عربستان وارد ایران می‌شود.

خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر ایران در فصل زمستان تابعی از رفتار الاکلنگی بین پراترفاع حرارتی آسیایی و پراترفاع دینامیکی اقیانوس اطلس است. زمانی که پراترفاع حرارتی آسیایی در قوی‌ترین حالت خود قرار می‌گیرد، زبانه غربی آن گسترش پیدا می‌کند و سپس با پراترفاع دینامیکی اقیانوس اطلس کل آسیای مرکزی، خاورمیانه و شمال آفریقا را فرامی‌گیرند. در این شرایط پراترفاع مستقر بر روی شبه‌جزیره عربستان موقعیت غربی تری به خود می‌گیرد که این موقعیت جدید از طرفی، باعث تضعیف انتقال رطوبت دریای عرب به داخل ایران می‌شود و از طرف دیگر، زمستان‌های خشک فراگیر را برای ایران به وجود می‌آورد؛ اما زمانی که پراترفاع حرارتی آسیایی در ضعیف‌ترین حالت خود قرار می‌گیرد از گسترش زبانه غربی آن کاسته می‌شود. در این شرایط زبانه شرقی پراترفاع دینامیکی اقیانوس اطلس تقویت و گسترش پیدا می‌کند. این گسترش باعث می‌شود که پراترفاع مستقر بر روی شبه‌جزیره عربستان یک جابه‌جایی شرق سو داشته باشد که سرانجام، این پراترفاع بر روی سواحل شرقی شبه‌جزیره عربستان مستقر می‌شود. این موقعیت جدید باعث می‌شود که از طرفی، انتقال رطوبت دریای عرب به داخل ایران به سهولت انجام بگیرد و از طرف دیگر، ایران زمستان‌های تر فراگیری را داشته باشد. در فصل بهار با جابه‌جایی خورشید از نیمکره جنوبی به نیمکره شمالی بسیاری از سامانه‌های فصل زمستان ماهیت خود را از دست می‌دهند و سامانه‌های جدیدی جایگزین آنها می‌شود. در این فصل کم‌ارتفاع تبت و پراترفاع اقیانوس اطلس مهم‌ترین بازیگران اقلیم جنوب غرب آسیا هستند. هر زمان زبانه غربی کم‌ارتفاع فلات تبت تقویت و بر روی نیمه شرقی دریای عرب گسترش پیدا کند، جابه‌جایی غرب سوی

پراترفاع مستقر بر روی عربستان صورت می‌گیرد که نتیجه آن خشکسالی‌های فراگیر برای ایران خواهد بود؛ اما زمانی که کم‌ارتفاع فلات تبت تضعیف شود و زبانه غربی آن از روی دریای عرب فاصله بگیرد، پراترفاع دینامیکی اقیانوس اطلس تقویت می‌شود و زبانه شرقی آن گسترش پیدا می‌کند. این گسترش باعث می‌شود که پراترفاع مستقر بر روی شبه‌جزیره عربستان یک جابه‌جایی شرق‌سو داشته باشد و هسته مرکزی آن نیز بر روی سواحل غربی دریای عرب قرار گیرد که در چنین شرایطی کل دریای عرب زیر سیطره این پراترفاع قرار خواهد گرفت. این پراترفاع با یک گردش ساعتگرد (موافق عقربه‌های ساعت)، رطوبت دریای عرب را با کانال رطوبتی شبه‌جزیره عربستان به داخل ایران انتقال می‌دهد. در ماه‌های انتهایی فصل بهار نیز انتقال رطوبت دریای عرب به داخل ایران با جابه‌جایی شمال‌سوی کمربند هم‌گرایی حاره‌ای و استقرار آن بر روی جنوب آسیا و گسترش زبانه‌ای از کم‌ارتفاع مونسونی هندوستان بر روی نیمه شرقی دریای عرب به کمترین مقدار خود می‌رسد.

منابع

- آب خرابات، شعیب، رضایی بنفشه، مجید، جهانبخش اصل، سعید، کریمی مصطفی، و رسولی، علی‌اکبر (۱۳۹۵). تحلیل دینامیک-سینوپتیکی سازوکار بارش‌های تابستانه جنوب شرق ایران. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۴۸(۹۷)، ۳۴۹-۳۵۵. <https://doi.org/10.22059/jphgr.2016.60092>
- احمدی حجت، معصومه، احمدی گیوی، فرهنگ، و حجام، سهراب (۱۳۹۲). بررسی روند تغییرات پرفشار سبیری و تأثیر آن بر میدان‌های هواشناختی در بازه زمانی ۱۹۴۸ تا ۱۹۹۸. *فیزیک زمین و فضا*، ۳۹(۲)، ۱۲۷-۱۳۸. <https://doi.org/10.22059/jesphys.2013.35193>
- پرک، فاطمه، روشنی، احمد، و علیجانی، بهلول (۱۳۹۴). واکاوی همدیدی سامانه‌های کم‌فشار سودانی در رخداد ترسالی‌ها و خشکسالی‌های نیمه جنوبی ایران. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۴(۳)، ۷۵-۹۰. <https://doi.org/10.22067/geo.v4i3.40062>
- خدادی، محمدمهدی، آزادی، مجید، و قائمی، هوشنگ (۱۳۹۲الف). نقش سامانه‌های همدیدی گذرا در ترابرد فصلی رطوبت روی ایران. *پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*، ۴(۱۵)، ۴۷-۶۲.
- خدادی، محمدمهدی، آزادی، مجید، و رضازاده، پرویز (۱۳۹۲ب). منابع رطوبت و ترابرد ماهانه آن روی ایران و برهمکنش آن با مونسون هندوستان و پراترفاع جنب حاره. *ژئوفیزیک ایران*، ۷(۲)، ۹۶-۱۱۳. https://www.ijgeophysics.ir/article_40589.html?lang=en
- خسروی، یونس، دوستکامیان، مهدی، و طاهریان، الله مراد (۱۳۹۶). بررسی و تحلیل الگوی فرارفت رطوبتی بارش‌های فراگیر ایران. *جغرافیا*، ۱۵(۵۳)، ۲۵۱-۲۶۴.
- خوشحال، جواد، خسروی، محمود، و نظری‌پور، حمید (۱۳۸۸). شناسایی منشأ و مسیر رطوبت بارش‌های فوق سنگین استان بوشهر. *جغرافیا و توسعه*، ۷(۱۶)، ۷-۲۸. <https://doi.org/10.22111/gdij.2009.1173>
- رسولی، علی‌اکبر، باباییان، ایمان، قائمی، هوشنگ، و زوار رضا، پیمان (۱۳۹۱). تحلیل سری‌های زمانی فشار مراکز الگوهای سینوپتیکی موثر بر بارش‌های فصلی ایران. *جغرافیا و توسعه*، ۱۰(۲۷)، ۷۷-۸۸. <https://doi.org/10.22111/gdij.2012.486>

رنجبر سعادت آبادی، عباس، و ایزدی، پردیسا (۱۳۹۲). ارتباط بی‌هنجاری‌های دمای آب سطح اقیانوس هند و دریای عرب با بی‌هنجاری‌های بارش نیمه جنوبی ایران. *فیزیک زمین و فضا*، ۳۹(۴)، ۱۷۵-۱۳۵.

<https://doi.org/10.22059/jesphys.2013.35986>

عزیزی، قاسم، و یوسفی، حسن (۱۳۸۴). زمانیابی ورود پرفشار سیبری به سواحل جنوبی دریای خزر. *مدرس علوم انسانی*، ۹(۴)، ۸۱-۱۰۰.

علیجانی، بهلول (۱۳۸۲). *اقلیم‌شناسی ایران*. انتشارات دانشگاه پیام نور.

علیجانی، بهلول، و دوستان، رضا (۱۳۹۱). شناسایی کانون‌های کنترل‌کننده اقلیم ایران و الگوهای فشار مربوط در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال جو ایران در دوره سرد سال. *جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای*، ۱۰(۲)، ۲۷۹-۲۵۵.

<https://doi.org/10.22067/geography.v0i0.23259>

علیجانی، بهلول، محمودی، پیمان، و چوگان، عبدالجبار (۱۳۹۱). بررسی روند تغییرات بارش‌های سالانه و فصلی ایران با استفاده از روش ناپارامتریک «برآوردکننده شیب سنس». *پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*، ۳(۹)، ۲۳-۴۲.

علیجانی، بهلول، محمودی، پیمان، شاه‌وزئی، عبدالرئوف، و محمدی، عبدالمجید (۱۳۹۳). بررسی احتمال تداوم روزهای بارش در ایران زمین. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۲۵(۴)، ۱-۱۶.

https://gep.ui.ac.ir/article_18692.html?lang=en

فتح‌نیا، امان‌الله، رحیمی، حمید، و آب خرابات، شعیب (۱۳۹۷). تعیین گسترش زمانی-مکانی پرفشار سیبری بر روی ایران و اثر آن بر تغییرات دما و بارش. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۲(۶۳)، ۱۸۳-۲۰۲.

کریمی احمدآباد، مصطفی (۱۳۸۶). *تحلیل منابع رطوبت بارش‌های ایران* [پایان‌نامه دکترای منتشرنشده]. دانشگاه تربیت مدرس.

کریمی، مصطفی، و فرج‌زاده، منوچهر (۱۳۹۰). شار رطوبت و الگوهای فضایی-زمانی منابع تأمین رطوبت بارش‌های ایران. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۱۱(۲۲)، ۱۰۹-۱۲۷.

<http://jgs.khu.ac.ir/article-1-630-fa.html>

لشکری، حسن (۱۳۸۱). مسیریابی سامانه‌های کم‌فشار سودانی ورودی به ایران. *فصلنامه مدرس علوم انسانی*، ۲(۲۵)، ۷۱-۹۵.

لشکری، حسن، و محمدی، زینب (۱۳۹۴). اثر موقعیت استقرار پرفشار جنب حاره‌ای عربستان بر سامانه‌های بارشی در جنوب و جنوب غرب ایران. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۴۷(۹۱)، ۷۳-۹۰.

<https://doi.org/10.22059/jphgr.2015.53679>

لشکری، حسن، متکان، علی‌اکبر، آزادی، مجید، و محمدی، زینب (۱۳۹۶). تحلیل همدیدی نقش پرفشار جنب حاره ای عربستان و رودباد جنب حاره‌ای در خشکسالی‌های شدید جنوب و جنوب غرب ایران. *پژوهش‌های دانش زمین*، ۱(۳۰)، ۱۴۱-۱۶۳.

<https://doi.org/20.1001.1.20088299.1396.8.2.10.0>

محمدی، زینب، و لشکری، حسن (۱۳۹۷). نقش جابه‌جایی مکانی پرفشار عربستان و رودباد جنب حاره‌ای در الگوهای همدیدی و ترمودینامیکی ترسالی‌های شدید جنوب و جنوب غرب ایران. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۰(۱۰۵)، ۴۹۱-۵۰۹.

<https://doi.org/10.22059/jphgr.2018.249422.1007165>

- محمودی، پیمان، طاوسی، تقی، و کردی تمندانی، صابره (۱۴۰۱الف). شناسایی الگوهای ناهنجاری‌های همدیدی منجر به خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر ایران. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۴(۱)، ۲۰-۱.
<https://doi.org/10.22059/jphgr.2022.267431.1007286>
- محمودی، پیمان، حمیدیان‌پور، محسن، و سنایی، مهدی (۱۴۰۱ب). ویژگی‌های هم‌گرایی شار رطوبتی در زمان وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر ایران. *پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*، ۱۳(۵۲)، ۱۴۳-۱۶۸.
https://clima.irimo.ir/article_172925.html
- مفیدی، عباس، و زرین، آذر (۱۳۸۴). بررسی سینوپتیکی تأثیر سامانه‌های کم‌فشار سودانی در وقوع بارش‌های سیل‌زا در ایران. *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، ۲(۷۷)، ۱۱۳-۱۳۶.
- نوری، حمید، غبور، حسنعلی، مسعودیان، ابوالفضل، و آزادی، مجید (۱۳۹۲). تحلیل فراوانی تابع هم‌گرایی شار رطوبت و منابع رطوبتی بارش سواحل جنوبی خزر. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۲۴(۳)، ۱-۱۴.
https://gep.ui.ac.ir/article_18614.html?lang=en

References

- Abkharabat, S. M., Rezaeibanafsheh, S., Jahanbakhsh Asl, M., Karimi, A., & Rasouli, A. A. (2016). Dynamical-synoptical analysis of summer precipitation process in southeast Iran. *Physical Geography Research Quarterly*, 48(3), 335-349. <https://doi.org/10.22059/jphgr.2016.60092> [In Persian].
- Ahmadi-hojat, M., Ahmadi-Givi, F., & Hajjam, S. (2013). The trend of the Siberian high pressure and its impacts on the meteorological fields during 1948-2008. *Journal of the Earth and Space Physics*, 39(2), 127-138. <https://doi.org/10.22059/jesphys.2013.35193> [In Persian].
- Alijani, B. (1997). *Climate of Iran*. Payam Noor University Press. [In Persian].
- Alijani, B., & Doostan, R. (2013). Identifying the controlling centers of the climate of Iran and their pressure patterns in the 500 Hpa level during cold period of the year. *Journal of Geography and Regional Development*, 19, 255-279. <https://doi.org/10.22067/geography.v0i0.23259> [In Persian].
- Alijani, B., Mahmoudi, P., & Chogana, J. (2012). A study of annual and seasonal precipitation trends in Iran using a nonparametric method (Sen's slope estimator). *Journal of Climate Research*, 3(9), 23-43. [In Persian].
- Alijani, B., Mahmoudi, P., Shahoozahi, A., & Mohammadi, A. (2014). A study of the persistence of precipitation days in Iran. *Journal of Geography and Environmental Planning*, 25(4), 1-16. https://gep.ui.ac.ir/article_18692.html?lang=en [In Persian].
- Alpert, P., Ben-Gai, T., Baharad, A., Benjamini, Y., Yekutieli, D., Colacino, M., ... & Manes, A. (2002). The paradoxical increase of Mediterranean extreme daily rainfall in spite of decrease in total values. *Geophysical Research Letters*, 29(11), 1-31.
- Azizi, G., & Yosefi, H. (2006). Time detection of Siberian high-pressure arrival to the southern coasts of Caspian Sea. *Modarres Human Sciences*, 9(4), 81-100. [In Persian].
- Balling, R. C., Keikhosravi Kiany, M. S., Sen Roy, S., & Khoshhal, J. (2016). Trends in extreme precipitation indices in Iran: 1951-2007. *Journal of Advances in Meteorology*, 2016, 1-8. <https://doi.org/10.1002/joc.6708>
- Cullen, H. M., Kaplan, A., Arkin, P. A., & Demenocal, P. B. (2002). Impact of the North Atlantic Oscillation on Middle Eastern climate and streamflow. *Journal of Climatic Change*, 55, 315-338. <https://doi.org/10.1023/A:1020518305517>
- Dayan, U., & Sharon, D. (1980). Meteorological parameters for discriminating between widespread and spotty storms in the Negev. *Isr Journal of Earth Sciences*, 29(4), 253-256.

- Dayan, U., Ziv, B., Margalit, A., Morin, E., & Sharon, D. (2001). A severe autumn storm over the middle-east: synoptic and mesoscale convection analysis. *Journal of Theoretical and Applied Climatology*, 69, 103-122. <https://doi.org/10.1007/s007040170038>
- De Vries, A. J., Tyrlis, E., Edry, D., Krichak, S. O., Steil, B., & Lelieveld, J. (2013). Extreme precipitation events in the Middle East: dynamics of the Active Red Sea Trough. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(13), 7087-7108. <https://doi.org/10.1002/jgrd.50569>.
- Dükeloh, A., & Jacobeit, J. (2003). Circulation dynamics of Mediterranean precipitation variability 1948–98. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 23(15), 1843-1866. <https://doi.org/10.1002/joc.973>
- Eshel, G., & Farrell, B. F. (2000). Mechanisms of eastern Mediterranean rainfall variability. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 57(19), 3219-3232. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(2000\)057<3219:MOEMRV>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(2000)057<3219:MOEMRV>2.0.CO;2)
- Fallah Ghalhari, G. A., Dadashi Roudbari, A. A., & Asadi, M. (2016). Identifying the spatial and temporal distribution characteristics of precipitation in Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 9, 1-12. <https://doi.org/10.1007/s12517-016-2654-9>
- Fathnia, F., Rahimi, H., & Abkharabat, S. (2018). Determine of spatial-temporal spread of the Siberian high pressure on Iran and its effect on precipitation and temperature changes. *Journal of Geography and Planning*, 22(63), 183-202. [In Persian].
- Ghasemi, A. R., & Khalili, D. (2008). The association between regional and global atmospheric patterns and winter precipitation in Iran. *Journal of Atmospheric Research*, 88(2), 116-133. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2007.10.009>
- Ghesmati, D., Shafiti, L., Kompouti, Z., Naghusi, A., Pepki, M., Zarif, O., & Haghighat, M. (2004). Spatial variation of precipitation in Iran. *Journal of Soil Water Sciences*, 1, 16–25. <https://doi.org/10.3390/ijgi9020073>
- Hasanean, H., & Almazroui, M. (2015). Rainfall: features and variations over Saudi Arabia, a review. *Climate*, 3, 578–626. <https://doi.org/10.3390/cli3030578>
- Heydarizad, M., Raeisi, E., Sori, R., & Gimeno, L. (2018). The identification of Iran's moisture sources using a lagrangian particle dispersion model. *Atmosphere*, 9(10), 408. <https://doi.org/10.3390/atmos9100408>
- Javari, M. (2016). Trend and homogeneity analysis of precipitation in Iran. *Climate*, 4, 44. <https://doi.org/10.3390/cli4030044>
- Kahana, R., Ziv, B., Enzel, Y., & Dayan, U. (2002). Synoptic climatology of major floods in the Negev Desert, Israel. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 22(7), 867-882. <https://doi.org/10.1002/joc.766>
- Karimi Ahmad Abad, M. (2007). *Analysis of the moisture supplying sources for Iran's precipitation*. [Unpublished doctoral dissertation]. Tarbiat Modarres University. [In Persian].
- Karimi, M., & Farajzadeh, M. (2012). Moisture flux and spatial-temporal patterns of moisture supply resources in precipitation of Iran. *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*, 11(22), 109-127. <http://jgs.khu.ac.ir/article-1-630-fa.html> [In Persian].
- Karimi, M., Jafari Norouzi, F., Khoshakhlagh, F., & Shamsipour, A. (2022). Atmospheric circulation and precipitation in Southwest Asia: The role of the Arabian Anticyclone in precipitation of Iran. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 238-239, 105933. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2022.105933>
- Khodadi, M. M., Azadi, M., & Ghaemi, H. (2013). Role of transient synoptic systems on seasonal moisture transport over Iran. *Journal of Climate Research*, 4(15), 47-62. [In Persian].
- Khodadi, M. M., Azadi, M., & Rezazadeh, P. (2013). Moisture sources and transport over Iran and its interaction with Indian monsoon and subtropical high. *Iranian Journal of Geophysics*, 7(2), 96-113. https://www.ijgeophysics.ir/article_40589.html?lang=en [In Persian].

- Khosravi, Y., Doustkamian, M., & Taheriyani, A. M. (2017). The survey of moisture advection pattern of Iran's comprehensive precipitations. *Geography*, 15(53), 251-264. [In Persian].
- Khoushhal, J., Khosravi, M., & Nazaripour, H. (2010). Identification humidity resources and course of super heavy precipitation in Bushehr Province. *Journal of Geography and Development*, 7(16), 7-28. <https://doi.org/10.22111/gdij.2009.1173> [In Persian].
- Knippertz, P. (2005). Tropical-extratropical interactions associated with an Atlantic tropical plume and subtropical jet streak. *Monthly Weather Review*, 133(9), 2759-2776. <https://doi.org/10.1175/MWR2999.1>
- Lashkari, H. (2002). Tracking Sudanian low systems entering Iran. *Modarres Human Sciences*, 6(2), 133-156. [In Persian].
- Lashkari, H., & Mohammadi, Z. (2015). The role of Saudi Arabian sub-tropical high pressure on the south and south-west of Iran rainfall systems. *Physical Geography Research Quarterly*, 47(91), 73-90. <https://doi.org/10.22059/jphgr.2015.53679> [In Persian].
- Lashkari, H., Motakan, A., Azadi, M., & Mohammadi, Z. (2017). Synoptic analysis of the role of Saudi Arabia subtropical high pressure subtropical and polar jet streams and severe droughts in South and South West of Iran. *Journal of Earth Science Researches*, 8(30), 141-163. <https://doi.org/10.1001.1.20088299.1396.8.2.10.0> [In Persian].
- Lockwood, J. G. (1988). Climate and climatic variability in semi-arid regions at low latitudes. In *The Impact of Climatic Variations on Agriculture: Volume 2: Assessments in Semi-Arid Regions* (pp. 85-120). Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-009-2965-4_3
- Mahmoudi, P., Hamidianpour, M., & Sanaei, M. (2023). Characteristics of moisture flux convergence in pervasive wet and dry periods in Iran. *Journal of Climate Research*, 13(52), 143-168 [In Persian].
- Mahmoudi, P., Tavousi, T., & Kordi Tamandani, S. (2022). Identifying patterns of synoptic anomalies resulting in pervasive droughts and wet periods in Iran. *Physical Geography Research Quarterly*, 54(1), 1-20. <https://doi.org/10.22059/jphgr.2022.267431.1007286> [In Persian].
- Martius, O., Sodemann, H., Joos, H., Pfahl, S., Winschall, A., Croci-Maspoli, M., ... & Wernli, H. (2013). The role of upper-level dynamics and surface processes for the Pakistan flood of July 2010. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 139(676), 1780-1797. <https://doi.org/10.1002/qj.2082>
- McKee, T. B. (1995). Drought monitoring with multiple time scales. In *Proceedings of 9th Conference on Applied Climatology*, Boston.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology* (Vol. 17, No. 22, pp. 179-183).
- Modarres, R., & Sarhadi, A. (2009). Rainfall trends analysis of Iran in the last half of the twentieth century. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 114, 101. <https://doi.org/10.1029/2008JD010707>
- Mofidi, A., & Zarrin, A. (2005). The synoptic study of low-pressure systems of the Sudan in heavy rain falls in Iran. *Journal of Geographical Research*, 20(2), 113-136. [In Persian].
- Mohammadi, Z., & Lashkari, H. (2018). Effects of spatial movement of Arabia subtropical high pressure and subtropical jet on synoptic and thermodynamic patterns of intense wet years in the south and south west Iran. *Physical Geography Research Quarterly*, 50(105), 491-509. <https://doi.org/10.22059/jphgr.2018.249422.1007165> [In Persian].
- Nouri, H., Ghayour, H., Masoodian, S. A., & Azadi, M. (2013). Analysis of moisture flux convergence and moisture sources for precipitation in the southern coasts of Caspian Sea. *Journal of Geography and Environmental Planning*, 24(3), 1-14. https://gep.ui.ac.ir/article_18614.html?lang=en [In Persian].
- Oikonomou, C., Flocas, H. A., Hatzaki, M., Nisantzi, A., & Asimakopoulos, D. N. (2010). Relationship

- of extreme dry spells in Eastern Mediterranean with large-scale circulation. *Journal of Theoretical and Applied Climatology*, 100, 137-151. <https://doi.org/10.1007/s00704-009-0171-4>
- Parak, F., Roshani, A., & Alijani, B. (2015). Synoptic investigation of the role of the Sudanese low-pressure system during wet and drought years in the southern half of Iran. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 4(3), 75-90. <https://doi.org/10.22067/geo.v4i3.40062> [In Persian].
- Rahimzadeh, F., Asgari, A., & Fattahi, E. (2009). Variability of extreme temperature and precipitation in Iran during recent decades. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 29(3), 329-343. <https://doi.org/10.1002/joc.1739>
- Ranjbar Saadatabadi, A., & Izadi, P. (2013). Relationships between Arab sea and Indian Ocean surface temperature anomalies with precipitation over southern of Iran. *Journal of the Earth and Space Physics*, 39(4), 135-157. <https://doi.org/10.22059/jesphys.2013.35986> [In Persian].
- Rasouli, A. A., Babaeian, I., Ghaemi, H., & Zawarreja, P. (2012). Time series analysis of the pressure of the synoptic pattern centers affecting on seasonal precipitation of Iran. *Journal of Geography and Development*, 10(27), 18-21. <https://doi.org/10.22111/gdij.2012.486> [In Persian].
- Raymond, F., Ullmann, A., Camberlin, P., Oueslati, B., & Drobinski, P. (2018). Atmospheric conditions and weather regimes associated with extreme winter dry spells over the Mediterranean basin. *Climate Dynamics*, 50, 4437-4453. <https://doi.org/10.1007/s00382-017-3884-6>
- Rousta, I., Soltani, M., Zhou, W., & Cheung, H. H. (2016). Analysis of extreme precipitation events over central plateau of Iran. *American Journal of Climate Change*, 5(3), 297-313. <http://dx.doi.org/10.4236/ajcc.2016.53024>
- Saaroni, H., Ziv, B., Harpaz, T., & Lempert, J. (2019). Dry events in the winter in Israel and its linkage to synoptic and large-scale circulations. *International Journal of Climatology*, 39(2), 1054-1071. <https://doi.org/10.1002/joc.5862>
- Sabziparvar, A. A., Movahedi, S., Asakereh, H., Maryanaji, Z., & Masoodian, S. A. (2015). Geographical factors affecting variability of precipitation regime in Iran. *Journal of Theoretical and Applied Climatology*, 120, 367-376. <https://doi.org/10.1007/s00704-014-1174-3>
- Tabari, H., & Talaee, P. H. (2011). Temporal variability of precipitation over Iran: 1966-2005. *Journal of Hydrology*, 396(3-4), 313-320. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.11.034>
- Tramblay, Y., & Hertig, E. (2018). Modelling extreme dry spells in the Mediterranean region in connection with atmospheric circulation. *Journal of Atmospheric Research*, 202, 40-48. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.11.015>
- Trewartha, G. T., & Horn, L. H. (1980). *Introduction to Climate* (5nd ed.). McGraw Hill.
- Ziv, B. (2001). A subtropical rainstorm associated with a tropical plume over Africa and the Middle-East. *Journal of Theoretical and Applied Climatology*, 69, 91-102. <https://doi.org/10.1007/s007040170037>
- Ziv, B., Dayan, U., & Sharon, D. (2005). A mid-winter, tropical extreme flood-producing storm in southern Israel: synoptic scale analysis. *Journal of Meteorology and Atmospheric Physics*, 88, 53-63. <https://doi.org/10.1007/s00703-003-0054-7>
- Ziv, B., Saaroni, H., Pargament, R., Harpaz, T., & Alpert, P. (2014). Trends in rainfall regime over Israel, 1975-2010, and their relationship to large-scale variability. *Journal of Regional Environmental Change*, 14, 1751-1764. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0414-x>

