

The Effects of the Arabia Anticyclone (AA) on the Extreme and Widespread Precipitation of the Cold Season in Iran

H. Fahimi¹, A. Faraji^{2*}, B. Alijani³

1 and 2- Ph.D. in Climatology and Assistant Professor, Department of Geography, Faculty of Humanities, University of Zanjan, Zanjan, Iran, respectively.

(*- Corresponding Author Email: abfaraji@znu.ac.ir)

3- Professor, Department of Geography, Kharazmi University, Tehran, Iran

Received: 08-03-2024

Revised: 02-11-2024

Accepted: 19-11-2024

Available Online: 19-11-2024

How to cite this article:

Fahimi, H., Faraji, A., & Alijani, B. (2024). The effects of the Arabia Anticyclone (AA) on the extreme and widespread precipitation of the cold season in Iran. *Journal of Water and Soil*, 38(5), 649-667. (In Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22067/jsw.2024.87969.1408>

Introduction

A subtropical high system that significantly impacts the Iranian climate is the Arabia Anticyclone (Raziei, 2012). This high-pressure system is located southeast of the Red Sea, over the Arabian Peninsula and the Arabian Sea. It is one of the semi-permanent centers in the lower levels of the atmosphere, and its influence leads to notable climate changes and characteristics in the region (Karimi, 2016). This system is a component of atmospheric circulation affecting cold-period precipitation in Iran (Karimi *et al.*, 2021); due to its dynamic structure, it has a great ability to provide humid air, especially in the lower layers (Mohammadi & Lashkari, 2018). So far, some studies have been conducted on subtropic high's effect on the Iranian climate, but its impact on the occurrence of precipitation in Iran, especially during the cold period of the year, has received less attention. Therefore, in this study, we aimed to examine the role of the Arabia Anticyclone (AA) subtropical high in the pervasive extreme precipitation during the cold season in Iran. By analyzing its influence at different atmospheric levels, we sought to gain a clearer understanding of how this system affects precipitation patterns in Iran. The study also explores the changes in the AA at various atmospheric levels and its relationship with other atmospheric circulation systems, as well as how these factors contribute to the occurrence of extreme precipitation events in the region.

Materials and Methods

Daily precipitation data of Iranian synoptic stations from 1989 to the end of 2020 were extracted from the Meteorological Organization of Iran. Based on the relative index method, the 95th percentile index of extreme precipitation for all days and all the stations were calculated and extracted by MATLAB software. The criterion was as follows: If at least 20% of the synoptic stations in Iran have extreme precipitation (in case of spatial homogeneity), the days with pervasive/extreme precipitation were obtained, which amounted to 450 days in the entire period. The isohyetal map of 450 days of extreme/pervasive precipitation was drawn in Surfer software to identify the spatial homogeneity of days with extreme/pervasive precipitation because days with this kind of precipitation did not necessarily have spatial homogeneity. The 450 days with extreme/pervasive precipitation were arranged in ascending order, and 7 patterns with the highest extreme precipitation and the highest spatial homogeneity during the cold period of the year (October-March) were selected. Upper atmospheric data of the selected days were then specified to plot and analyze the synoptic maps. The required atmospheric data were geopotential altitude (meter), wind speed (m/s), wind direction, specific humidity (g/km), and average sea-level



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jsw.2024.87969.1408>

pressure. The data used were ERA5 data extracted from <https://www.ecmwf.int>. The data were extracted at three levels: lower, middle, and upper. To synoptically analyze the selected patterns using the selected upper atmosphere data, the following maps were plotted in Grads software:

A) Combined map of geopotential altitude and winds was plotted at the selected levels to determine the geographical location of the subtropical high, its displacement at different levels of the troposphere, its penetration, and its impact on Iran.

B) Combined maps of specific humidity, geopotential altitude, and wind were plotted in order to identify the role of the subtropical high in the transfer of humidity and its transfer to Iran at different levels.

Conclusion

In selected patterns, the AA with its anticyclonic current and passing through tropical warm waters, leads to the transfer of tropical humidity to subtropical and extratropical regions. At different atmospheric levels, the location and establishment of the Anticyclone central nucleus and its degree of expansion towards the north and west are determined by the tropical penetration of the cut off lows and the western trough. The AA has the most dominance over Iran in the lower level. In fact, in the lower level, Iran is dominated by two patterns of cut off low in the western and northern regions and the AA in the southern and eastern regions.

Due to the greater penetration of the southern branch of the westerlies and the orbitalization of the western currents in the middle level, the AA is displaced eastward and southward. The interaction and accompaniment of the AA and the mid-latitude cut off low form an atmospheric river with a tropical origin. The AA plays an important role in transferring the atmospheric river to Iran and its humidity feeding. On the maps, the southerly and easterly displacement of the AA Arabia is an important factor in the lack of formation of an atmospheric river in East Central Africa. By transferring tropical humidity to Iran, the humidity of the extreme pervasive precipitation is supplied. Another major role played by the AA is to strengthen the ITCZ humidity in East Central Africa, where tropical humidity ascends through the cut off low, West trough, and jet streams. The AA takes the Indian Ocean humidity to eastern Central Africa with its anticyclonic movement. At the ground level, the AA diverts humidity from the Arabian Sea and the Persian Gulf to the western and northwestern regions, preventing Turkey low from entering the western and southwestern regions of Iran. Furthermore, by entering the South Red sea, prevents the entry of the Sudan low into the Middle East and prevents the entry of precipitation systems into Iran. However, in supplying humidity to the extreme pervasive precipitation of Iran, it plays a very important role both by creating an atmospheric river in interaction with the mid-latitude cut off low and by transferring humidity through its anticyclonic flow.

Keywords: Arabia anticyclone, Atmospheric river, Extreme and widespread rainfall, Iran

بررسی نقش پراارتفاع جنب‌حاره عربستان در تأمین رطوبت بارش‌های فرین فراگیر فصل سرد ایران زمین

هاله فهیمی^۱ - عبدالله فرجی^{۲*} - بهلول علیجانی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۹

چکیده

هدف از انجام تحقیق حاضر بررسی نقش پراارتفاع عربستان بر بارش‌های فرین دوره سرد سال ایران است. به این منظور با استفاده از داده‌های ایستگاهی بارش روزانه ایران، روزهای بارش فرین استخراج شد. ۷ الگو با بیشترین بارش فرین و بیشترین همگنی مکانی جهت تحلیل‌های سینوپتیکی انتخاب گردید. با استفاده از داده‌های ERA5 نقشه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل و رطوبت ویژه ترسیم گردید. نتایج حاکی از آن است که پراارتفاع عربستان براساس موقعیت مکانی و تعامل با الگوهای گردشی عرض میانی نقش مهمی در تأمین رطوبت بارش‌های فرین فصل سرد سال ایران دارد. موقعیت مکانی و میزان گسترش آن تحت‌تأثیر نفوذ حاره‌ای سامانه‌های غربی در ۲ تراز زیرین و میانی تغییر می‌یابد. بیشترین حاکمیت بر روی ایران را در تراز زیرین دارد زیرا در ترازهای بالاتر به علت نفوذ بیشتر شاخه جنوبی بادهای غربی، موقعیتی جنوبی‌تر یافته و اثرات آن بر ایران کاهش می‌یابد. طوری که از تراز ۶۰۰ هکتوپاسکال به بالا تأثیری بر ایران ندارد. تعامل پراارتفاع عربستان با سامانه‌های عرض میانی منجر به شکل‌گیری رودخانه جوی با منشأ حاره‌ایی می‌شود. در عین حال عاملی مهم در انتقال رطوبت به شرق آفریقای مرکزی در منطقه حاره می‌باشد که محل منشأ شکل‌گیری رودخانه جوی است. در سطح زمین پراارتفاع عربستان رطوبت دریای عرب و خلیج فارس را به نواحی جنوب، جنوب‌غرب، غرب و شمال غرب می‌رساند و مانع از ورود گسترده کم‌فشار ترکیه به شمال غرب و غرب ایران می‌شود و با حاکمیت بر روی دریای سرخ جنوبی مانع ورود کم‌فشار سودان به خاورمیانه است. این نتیجه نشان می‌دهد که کم‌فشار سودان و مدیترانه عامل اصلی تمام بارش‌های فرین فراگیر فصل سرد سال ایران نیستند. اگرچه پراارتفاع عربستان مانع ورود سامانه‌های بارشی به درون ایران است اما در تأمین رطوبت بارش‌های فرین فراگیر مناطق جنوب و نیمه غرب ایران هم به‌صورت ایجاد رودخانه جوی در تعامل با سردچال عرض میانی و هم انتقال رطوبت از طریق جریان واچرخندی خود به درون ایران نقش بسیار مهمی دارد.

واژه‌های کلیدی: بارش فرین فراگیر، پراارتفاع جنب‌حاره، پراارتفاع جنب‌حاره عربستان، رودخانه جوی

مقدمه

هستند (Pepler, 2019). پراارتفاع‌های نیمه دائمی که در بیشتر ایام سال در عرض‌های جنب‌حاره و حوالی مدار ۳۰ تا ۴۰ درجه قرار دارند تحت عنوان پراارتفاع‌های جنب‌حاره شناخته شده‌اند (Zhou, 2005; Colbert, 2012; Wu, 2004) که از عناصر اصلی در ساختار گردش جوی (Karimi, 2021) و تعیین کننده قوی شرایط آب و هوا هستند (Seager, 2019). همچنین به همراه تاوه قطبی نقش مهمی در تغییر اقلیم دارند. پراارتفاع جنب‌حاره نتیجه فرونشست هوا در لبه قطبی سلول هدلی است (Seager, 2003; Rodwell, 2001) که یک محرک غالب در فصل زمستان است و در فصل تابستان توسط دیگر

پراارتفاع‌های جوی، سیستم‌های گردشی دائمی و نیمه‌دائمی

۱ و ۲- به ترتیب دکتری اقلیم‌شناسی و دانشیار، گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

*- نویسنده مسئول: (Email: abfaraji@znu.ac.ir)

۳- استاد گروه جغرافیا، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

<https://doi.org/10.22067/jsw.2024.87969.1408>

افزایش بارش می‌شود. جابه‌جایی مرکز پراترفاع جنب‌حاره در میزان بارش، شدت و کاهش بارش‌های موسمی آسیا نقش مهمی دارد (Lu, 2001). پراترفاع جنب‌حاره اطلس شمالی نیز نقش مهمی در بارش‌های ایالات متحده ایفا می‌کند. حرکت رو به غرب پراترفاع اطلس شمالی (NASH¹) انتقال رطوبت و حرکت قائم جو را بر روی جنوب شرق آمریکا کنترل می‌کند. زمانی که لبه پشته NASH در جنوب غرب موقعیت نرمال خود قرار گیرد انتقال رطوبت بیشتر و در نتیجه بارش‌های تابستانی افزایش می‌یابد (Li, 2012). لبه غربی NASH در قاره آمریکا به کنترل انتقال رطوبت، حرکات قائم و بارندگی‌های جنوب‌شرق ایالات متحده و دریای کارائیب می‌انجامد (Bishop, 2019). اثرات NASH بر جریان سطوح پایین، فشار سطح دریا و حرکات قائم جو مشخص است (Nieto Ferreira, 2020) و با کنترل رودبادهای سطح پایین به تعدیل رطوبت و بارش شرق آمریکای مرکزی منجر می‌شود (Wei, 2019). زمانی که لبه غربی NASH در قسمت شمال غربی موقعیت نرمال خود قرار گیرد دماهای بالای غیر نرمال به علت ابرهای کمتر و کمبود بارش رخ می‌دهد و در نتیجه منجر به ناهنجاری‌های مثبت HI در جنوب‌شرق ایالات متحده می‌شود (Wu, 2019). پراترفاع جنوبی شمال غرب اقیانوس آرام (WNPSH) از شاخص‌های مهم اقلیم تابستانی در کشورهای همسایه غربی اقیانوس آرام شمالی است که تغییرات گسترده در کل اقیانوس آرام شمالی را نشان می‌دهد و با ایجاد آنومالی در گردش جو، تغییر جهت انتقال رطوبت و گرما، اثرات فصلی متفاوتی بر روی آب و هوای شرق آسیا دارد (Choi, 2019) و شدت آنومالی آن یک فاکتور مهم در تغییرات موسمی‌های تابستانه شرق آسیا (EAEM²) (Lee, 2006, 2013) و فعالیت‌های توفانی موسمی و توفان‌های استوایی شرق آسیا در فصل تابستان (Xigan, 2013; Lu, 2001) شناخته شده است. نقش WNPSH به‌عنوان کنترل‌کننده سیستم موسمی تابستانه به تعاملات جو-دریا مرتبط است (Sun, 2012). با شدت یافتن WNPSH انتقال رطوبت توسط بادهای آنومالی در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال منجر به رخداد بارش‌های زیاد در موسمی‌های آسیای شرقی و اقیانوس هند می‌شود (Sun, 2012).

در ایران نیز مطالعاتی بر روی سیستم‌های پراترفاع جنب‌حاره بر روی اقلیم ایران انجام شده است. به‌عنوان مثال سلیقه و صادق نیا (Salighe & Sadeghnia, 2010) نشان دادند که تغییرات و جابه‌جایی پراترفاع جنب‌حاره به لایه‌های بالاتر جو شرایط را برای صعود هوای مرطوب موسمی و ایجاد بارش‌های موسمی فراهم می‌کند. خورشید دوست و همکاران (Khorshiddost et al., 2014)،

الگوهای فشار سطوح بالای جو همراهی می‌شود (Seager, 2003) و به‌صورت قائم از لایه مرزی سیاره‌ای تا تروپوپاوز گسترش می‌یابد (Wu, 2004). تغییرات در ارتفاع پراترفاع جنب‌حاره ناشی از تغییرات ایجاد شده در نواحی حاره و عرض میانی از جمله فعالیت‌های همرفت حاره است (Lau, 2015). همچنین افزایش دما و گرمای محسوس سطح زمین منجر به شکل‌گیری پراترفاع‌های جنب‌حاره تراز بالای جو بر روی قاره‌ها (Wu, 2004) و افزایش ارتفاع هسته‌های پراترفاع می‌شود (Alijan, 2022). فرونشینی هوا در مناطق پراترفاع جنب‌حاره بسیار رایج است که کمبود بارش و تبخیر زیاد را ایجاد کرده است (Davis et al., 2013) و این امر به شکل‌گیری بزرگ‌ترین بیابان‌های جهان در مناطق با حاکمیت پراترفاع‌های جنب‌حاره منجر شده است (Lamb, 1972). پراترفاع‌های جنب‌حاره در فصل تابستان تقویت می‌شوند و تأثیر زیادی بر کاهش بارندگی مناطق تحت حاکمیت خود دارند (Zhou, 2005; Colbert, 2012). این سامانه در نیمه گرم سال نواحی وسیعی از تروپوسفر زیرین، میانی و فوقانی را در برمی‌گیرد و با استقرار دراز مدت در نواحی جنب‌حاره شرایط اقلیمی خشک و بیابانی ایجاد می‌کند (Farajzade et al., 2009). از طرفی پراترفاع‌های جنب‌حاره می‌توانند عاملی مهم در انتقال رطوبت (Zhaou, 2005; Raziei, 2012; Lashkari et al., 2019) بویژه در تراز زیرین تروپوسفر باشند که در مورد ایران آب‌های عرض‌های جنوبی را به سامانه‌های فعال بارشی بر روی ایران انتقال می‌دهند (Lashkari et al., 2019; Raziei, 2012). پراترفاع جنب‌حاره در طی فصل گرم و سرد جابه‌جایی مکانی دارد. طی فصل گرم به عرض‌های بالاتر انتقال می‌یابد و بر روی قسمت‌هایی از شمال ایران، دریای مدیترانه، نواحی مرکزی اروپا و آمریکای شمالی مستقر است و طی فصل سرد به عرض‌های پایین‌تر انتقال می‌یابد و در زمان گسترش منجر به حاکمیت شرایط پایدار جوی می‌شود (Movahedi et al., 2015). پراترفاع جنب‌حاره مهم‌ترین عامل اقلیمی دوره گرم قاره‌های آسیا و آفریقا شناخته شده است (Farajzade et al., 2013) و مهم‌ترین پدیده سینوپتیکی خاورمیانه و از جمله ایران است. طی نیم قرن گذشته روزهای تشدید و حضور پراترفاع جنب‌حاره نسبت به روزهای تضعیف این سامانه دینامیکی افزایش یافته است (Halabian & Shabankari, 2012) و افزایش شاخص شدت و سطح آن در تمام فصول مشاهده شده است (Aloipour et al., 2018). عساکره و فاتحیان (Asakere & Fatahey, 2019)، افزایش شدت و مساحت آن بر روی ایران را نمایانگر حاکمیت اقلیم خشک قاره‌ای دانسته‌اند. در نیمکره شمالی افزایش مساحت و تغییرات زمانی- مکانی و شدت این الگوی گردشی تأثیر زیادی در کنترل ریزش‌های جوی مناطق جنب‌حاره دارد. این اثرات یا کاهش بارش را در بردارد که با ایجاد شرایط پایدار جوی در زمان حاکمیتش رخ می‌دهد و یا با افزایش انتقال رطوبت در صورت وجود شرایط ناپایداری منجر به

1- North Atlantic Subtropical High

وجود پراترفاع جنب‌حاره در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را عامل ایجاد گرد و غبار می‌داند. همچنین براتی و همکاران (Barati et al., 2018) وجود پراترفاع آزور و نزدیک شدن آن به کم‌فشار ایران-پاکستان را عامل ایجاد گرد و غبار دانسته‌اند. یک سیستم پراترفاع جنب‌حاره که اقلیم ایران را به شدت متأثر می‌کند پراترفاع عربستان است (Raziei, 2012). یک پراترفاع که در جنوب‌شرق دریای سرخ و بر فراز شبه جزیره عربستان و دریای عرب قرار می‌گیرد و یکی از مراکز شبه ساکن در ترازهای زیرین جو است که منجر به تغییرات در ویژگی‌های اقلیمی منطقه تحت‌نفوذ خود می‌شود. این سامانه یکی از مؤلفه‌های گردش جوی مؤثر بر بارش‌های دوره سرد سال ایران است (Karimi et al., 2019). لشکری و همکاران (Lashkari et al., 2017)، خشکسالی‌های شدید را نتیجه ادغام پراترفاع‌های آزور، عربستان، آفریقا و سبیری می‌داند. در این صورت پراترفاع عربستان کاملاً به سمت غرب حرکت می‌کند و در تمام طول دوره بارشی بر روی خشکی شبه جزیره عربستان قرار می‌گیرد و در صورت ادغام با زبانه پراترفاع آفریقا منجر به راندن کم‌فشار سودان به عرض‌های جنوبی شده و مانع گسترش آن به عرض‌های بالاتر می‌شود. برون و همکاران (Boron et al., 2019)، دریافتند زمانی که پراترفاع عربستان در تراز میانی تروپوسفر بر روی دریای سرخ مستقر شود منجر به پایداری دینامیک و گرمایش بی‌دررو می‌شود که نتیجه آن تشدید گرمای زیرین و تداوم موج گرمایی است. مجیدی راد و رحیمی هرآبادی (Majidirad & Rahimi Herabadi, 2021)، اثرات جابه‌جایی سیستم پراترفاع عربستان و اثرگذاری آن بر وقوع و تشدید خشکسالی در ایران پرداخته‌اند. علی‌پور (Alipour, 2018)، بیان می‌کند که بارش تمام نواحی ایران به جز قلمرو دریای خزر که تحت نفوذ فرود دریای سیاه و دریای سیاه-دریای مدیترانه است، تحت حاکمیت پراترفاع دینامیکی جنب‌حاره است که در زمان حاکمیت خود به کنترل بارش و در عمل به متوقف شدن آن می‌انجامد. در واقع یک همبستگی منفی بین شدت پراترفاع جنب‌حاره و بارش وجود دارد که با افزایش شدت تابستانه این سامانه دینامیکی، بارش‌های تابستانه ایران کاهش معناداری داشته است.

تحقیقات صورت گرفته نشان از اهمیت نقش مراکز پراترفاع جنب حاره در اقلیم منطقه تحت نفوذ این سامانه دینامیکی است. تأثیرات آنها بر دما، بارش و تغییرات فصلی بیان شده است. تاکنون مطالعاتی بر روی تأثیر پراترفاع جنب حاره بر روی اقلیم ایران انجام شده است اما تأثیر پراترفاع جنب حاره بر رخداد بارش‌های فرین ایران طی دوره سرد سال کمتر مورد توجه بوده است. لذا در این تحقیق بر آن شدیم تا نقش پراترفاع جنب‌حاره عربستان را در بارش‌های فرین فراگیر فصل سرد سال در ایران و در ترازهای مختلف جوی بررسی کنیم تا تصویر و درک روشن‌تری از نقش این سامانه بر بارش‌های فرین دوره سرد سال ایران داشته باشیم و اینکه تغییرات آنها در ترازهای مختلف جوی و در ارتباط با دیگر سامانه‌های گردش جوی چگونه است و چگونه می‌تواند در رخداد بارش‌های فرین ایران نقش داشته باشد.

وجود پراترفاع جنب‌حاره در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را عامل ایجاد گرد و غبار می‌داند. همچنین براتی و همکاران (Barati et al., 2018) وجود پراترفاع آزور و نزدیک شدن آن به کم‌فشار ایران-پاکستان را عامل ایجاد گرد و غبار دانسته‌اند. یک سیستم پراترفاع جنب‌حاره که اقلیم ایران را به شدت متأثر می‌کند پراترفاع عربستان است (Raziei, 2012). یک پراترفاع که در جنوب‌شرق دریای سرخ و بر فراز شبه جزیره عربستان و دریای عرب قرار می‌گیرد و یکی از مراکز شبه ساکن در ترازهای زیرین جو است که منجر به تغییرات در ویژگی‌های اقلیمی منطقه تحت‌نفوذ خود می‌شود. این سامانه یکی از مؤلفه‌های گردش جوی مؤثر بر بارش‌های دوره سرد سال ایران است (Karimi et al., 2019) که به علت ساختار دینامیکی خود توانایی بسیاری در فراهم ساختن هوای مرطوب بویژه در لایه‌های زیرین دارد (Mohammadi & Lashkari, 2018) و در صورت همراهی با رودباد جنب‌حاره منجر به ایجاد ترسالی می‌شود (Lashkari et al., 2019). در زمان فعالیت این پراترفاع، ناوه‌های شرق مدیترانه، دریای سرخ و ناوه‌های موجود بر روی ایران نقشی مهم و تعیین‌کننده دارند. انتقال هوای گرم و مرطوب در تراز میانی تروپوسفر در جریانات جنوب‌غربی به درون ناوه‌های ذکر شده در تقویت آن‌ها بر روی ایران نقش مهمی دارند و نه تنها منجر به شرایط خشک و پایدار نمی‌شوند بلکه شرایط مناسب بارشی را فراهم می‌کنند (Raziei, 2012). در صورتی که پراترفاع عربستان حرکت شرق‌سو داشته باشد و بر روی دریا‌های عرب و عمان مستقر شود مناسب‌ترین الگو برای انتقال رطوبت به سامانه‌های بارشی ورودی به ایران است (Karimi et al., 2019). با جابه‌جایی شرق‌سوی پراترفاع عربستان در تراز زیرین سامانه‌های بارشی ورود گسترده‌ای بر روی ایران خواهند داشت و منجر به افزایش بارش در مناطق بیشتری از ایران خواهند شد. همچنین جابه‌جایی شرق‌سوی پراترفاع عربستان باعث حرکت و اچرخندی آن بر روی آب‌های گرم دریای عرب و عمان می‌شود که رطوبت آن‌ها را به درون سامانه‌های سودانی انتقال می‌دهد (Lashkari & Mohammadi, 2015; Mohammadi & Lashkari, 2021). از طرفی پراترفاع عربستان می‌تواند شرایط خشک و پایداری ایجاد کند. به‌عنوان نمونه قرارگیری پراترفاع عربستان بر روی شبه جزیره عربستان سبب می‌شود جریان و اچرخندی گرم و خشک به درون ایران هدایت شده و شرایط پایدار و توفان‌های گرد و غبار را سبب شود (Zangane, 2015). شروع و پایان دوره بارشی در ایران ارتباط نزدیکی با جابه‌جایی عرضی پراترفاع جنب‌حاره عربستان دارد. قرارگیری مرکز پراترفاع عربستان بر روی شبه جزیره عربستان، اتیوپی، مصر و سودان مانع از فعال شدن کم‌فشار سودان می‌شود. بنابراین یکی از سامانه‌های مهم و مؤثر بر بارش ایران از فعالیت باز می‌ماند (Mohammadi & Lashkari, 2021; Zangane, 2015). خوشحال و همکاران (Khoshhal et al., 2021).

داده‌ها و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه

بخش زیادی از ایران در منطقه جنب‌حاره قرار دارد (Masoudinan, 2011) و با توجه به موقعیت جغرافیایی خاص خود در منطقه انتقالی نسبت به الگوهای بزرگ مقیاس گردش عمومی و ردسپهری (تروپوسفری) قرار دارد و محل برهمکنش سیستم‌های گردش حاره، جنب‌حاره و برون حاره است (Mofidi, 2004; Mostafaii et al., 2016) که این برهمکنش منجر به تنوع زمانی-مکانی بارش می‌شود (Alijani, 1997). در این صورت تعاملات الگوهای گردشی حاره- برون حاره می‌توانند بر ایران اثر بگذارند. آب و هوای ایران با توجه به موقعیت جغرافیایی خود در فصول مختلف سال تحت تأثیر الگوهای گردشی مختلف، از نواحی حاره، جنب‌حاره و برون حاره قرار می‌گیرد. از منطقه برون حاره، پرفشار سبیری، رودباد جبهه قطبی، بادهای غربی، فرودهای بلند مدیترانه از مناطق جنب‌حاره و حاره نیز تحت تأثیر پرفشار آزور، کم فشار گنگ، فرود خلیج فارس و پرفشار جنب‌حاره طی فصول مختلف است. پرفشارها نقش مهمی بر بارش‌های ایران دارند. استقرار پرفشار بر روی شمال دریای سیاه، شرق اروپا و دریاچه آرال، اقیانوس اطلس و غرب دریای مدیترانه با تقویت و هدایت کم‌فشار سودان به سمت جنوب شرق ایران منجر به رخداد بارش می‌شوند (Lashkari, 2019). گسترش پرفشار سبیری به سمت شرق به فعال شدن سیکلون‌های مدیترانه‌ای و ایجاد بارش می‌انجامد (Mostafaii et al., 2016). پرفشار شمال غرب دریای خزر و نفوذ به عرض‌های ۲۰ درجه شمالی بر روی ایران و

همراه شدن با کم‌فشار عربستان (Alijani et al., 2019) شرایط را برای رخداد بارش فراهم می‌کنند. در زمستان عمدتاً وجود سامانه‌های پرفشار در عرض‌های بالاتر با ریزش هوای سرد به عرض‌های پایین منجر به ایجاد ناپایداری می‌شوند و هر کدام به تقویت سامانه‌های کم‌فشار می‌انجامد. این امر نقش مهمی در رخداد بارش‌های زمستانی ایران خصوصاً جنوب شرق دارند.

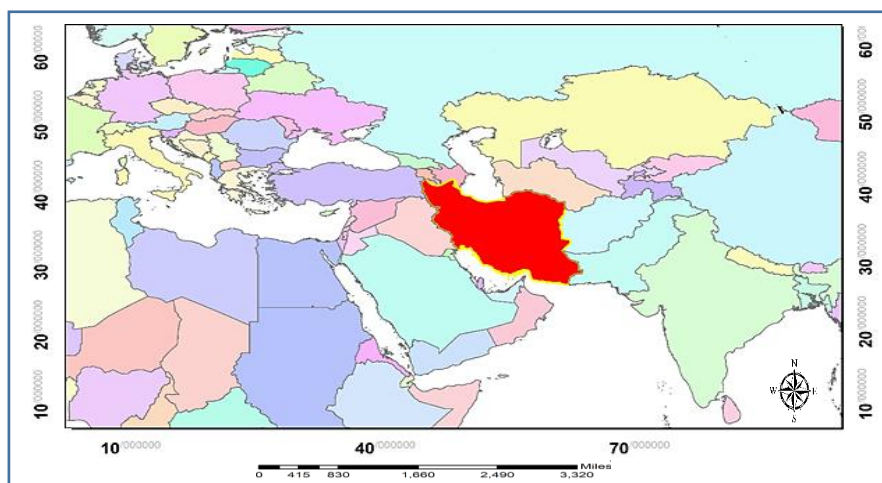
با توجه به اینکه هدف از این پژوهش بررسی نقش پرارتفاع عربستان بر روی بارش‌های فرین دوره سرد سال ایران است به منظور شناخت و آگاهی نسبت به موقعیت، گسترش و اثرگذاری پرارتفاع عربستان بر روی ایران و تعاملات آن با دیگر الگوهای گردشی، محدوده مورد مطالعه ۱۰ تا ۹۰ درجه شرقی و ۰ تا ۶۰ درجه شمالی انتخاب شد که ایران در محدوده مورد نظر قرار می‌گیرد (شکل ۱).

داده‌ها و روش تحقیق

برای انجام این پژوهش از دو دسته داده‌های سطح زمین و داده‌های جو بالا استفاده شده است.

الف: داده‌های سطح زمین (محیطی)

از داده‌های بارش روزانه ایستگاه‌های سینوپتیک کشور استفاده شده است. داده‌های بارش روزانه ایستگاه‌های سینوپتیک از سازمان هواشناسی کشور از زمان تأسیس هر ایستگاه تا ۲۵ ژانویه ۲۰۲۰ تهیه شد. در این میان به استخراج ایستگاه‌هایی پرداخته شد که ۳۰ سال دوره آماری داشته باشند. موقعیت ایستگاه‌ها در شکل ۲ آمده است.



شکل ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه

Figure 1- the location of the studied Area

ب: داده‌های جو بالا

داده‌های مورد استفاده جو بالا، ارتفاع ژئوپتانسیل^۱ (HGT) برحسب متر، مؤلفه باد مداری^۲ (VWIND) و نصف‌النهاری^۳ (UWIND) برحسب متر بر ثانیه، رطوبت ویژه^۴ (SHUM) برحسب گرم بر کیلوگرم و میانگین فشار سطح دریا^۵ (MSLP) (برحسب هکتوپاسکال) هستند. داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل به‌منظور ترسیم نقشه الگوهای گردشی و داده‌های مؤلفه بادهای مداری و نصف‌النهاری به‌منظور ترسیم رودبادهای انتخاب شده‌اند. داده‌های منتخب، داده‌های ERA5 با تفکیک مکانی ۲۵٪ در ۲۵ درجه و تفکیک زمانی روزانه و ساعتی (۰۰.۰۰، ۰۶.۰۰، ۱۲.۰۰، ۱۸.۰۰) هستند که از تارنمای <https://www.ecmwf.int> استخراج شده‌اند. استخراج داده‌ها در ۶ تراز ۱۰۰۰، ۸۵۰ و ۸۰۰ هکتوپاسکال (تراز زیرین)، ۷۰۰، ۶۰۰، ۵۰۰ (تراز میانی) صورت گرفته است. استفاده از داده‌های جوی در دو تراز زیرین و میانی به‌منظور یافتن پیوند و ارتباط بین بارش‌های فرین فراگیر با پراتفعا جنب‌حاره در هر دو تراز زیرین و میانی است. انتخاب ترازهای مختلف امکان شناسایی بهتر الگوهای گردشی و رطوبت، بررسی تغییرات آن‌ها و شرایط ناپایداری جو را فراهم می‌کند.

مراحل انجام تحقیق به شرح ذیل انجام شد. **گام اول:** داده‌های بارش روزانه ایستگاه‌های سینوپتیک از سازمان هواشناسی کشور از زمان تأسیس تا ۲۵ ژانویه ۲۰۲۰ تهیه شد. طول دوره آماری برای انجام پژوهش حاضر، ۳۰ سال در نظر گرفته شد. استخراج ایستگاه‌های با ۳۰ سال دوره آماری از سال ۱۹۸۹ تا ۲۵ ژانویه ۲۰۲۰ انجام شد. برای آن‌که بتوان بارش‌های فرین را در طی دوره طولانی‌تر بررسی کرد از دوره آماری ۳۰ ساله استفاده شد. این معیار منجر به حذف بیشتر ایستگاه‌هایی شد که کمتر از ۳۰ سال داده آماری داشتند. انتخاب دوره آماری طولانی‌تر، حذف ایستگاه‌های بیشتری را سبب می‌شد به همین دلیل از انتخاب دوره طولانی‌تر اجتناب شد. سپس در بین ایستگاه‌های به‌دست آمده ایستگاه‌های که داده‌های گمشده داشتند حذف گردیدند. زیرا بسیاری از آنها داده‌های مفقودی زیاد و حتی یک ساله داشتند که بازسازی داده‌ها با طول دوره طولانی، صحیح نیست. در نهایت ۸۴ ایستگاه در سراسر کشور باقی ماندند که ۳۰ سال داده بارش روزانه بدون داده مفقودی داشتند و همچنین پراکندگی مناسبی در سطح کشور داشتند. ایستگاه‌های به دست آمده از لحاظ وجود داده‌های پرت آزمون شدند که هیچ کدام

داده پرت نداشتند (شکل ۲). **گام دوم:** معیار تعیین بارش فرین انتخاب شد. تعریف بارش فرین مبتنی بر یک آستانه است. این آستانه نمایه مطلق (بر اساس یک مقدار عددی مشخص) و یا نسبی (همانند شاخص صدکی) است. در نظرگرفتن یک عدد مشخص به‌منظور تعریف بارش فرین و برای تمام ایستگاه‌ها نمی‌تواند صحیح باشد. مقدار بارشی که در یک ایستگاه کم‌باران، بارش فرین محسوب می‌شود ممکن است در ایستگاهی مرطوب و پرباران، بارشی معمول برای آن منطقه است (Borzoi & Azizi, 2015). در نتیجه استفاده از شاخص صدکی برای تعریف بارش فرین مناسب‌تر تشخیص داده شد. شاخص صدکی ۹۵ انتخاب شد. در این پژوهش بارش‌های فرین بارش‌هایی هستند که برابر و یا بیشتر از صدک ۹۵ باشد. بارش‌های فرین تمام ایستگاه‌ها برای تمام روزها طی ۳۰ سال دوره آماری ۱۹۸۹ تا ۲۵ ژانویه ۲۰۲۰ با استفاده از نرم‌افزار متلب استخراج شد. برای هر ایستگاه و برای تمام روزهای ۳۰ سال، بر اساس نمایه نسبی شاخص صدکی ۹۵ آستانه بارش فرین به دست آمد. بارش هر روز که برابر و یا بیشتر از آستانه بود روز با بارش فرین تعریف شد. **گام سوم:** معیار فراگیر بودن روزهای با بارش فرین مشخص گردید. چنانچه یک سوم ایستگاه‌ها (۲۸ ایستگاه) از بین ۸۴ ایستگاه منتخب به شرط همگنی مکانی، بارش فرین داشته باشند روز با بارش فرین فراگیر شناخته شد. در نهایت بر اساس آستانه تعریف شده، ۴۵۰ روز در طی ۳۰ سال به‌عنوان روزهای با بارش فرین - فراگیر شناخته شد. نقشه هم‌بارش روزهای با بارش فرین - فراگیر ترسیم گردید تا توزیع فضایی همگن ایستگاه‌های با بارش فرین شناسایی شود. زیرا روزهای با بارش فرین - فراگیر لزوماً توزیع فضایی همگنی نداشتند. **گام چهارم:** در میان روزهای با بارش فرین - فراگیر، ۷ الگو که بیشترین بارش فرین و بیشترین همگنی مکانی را داشتن انتخاب شدند. در این میان ۲ الگو دارای تداوم ۲ روزه، یک الگو تداوم ۳ روزه و ۶ الگو تداوم یک روزه هستند که در **جدول ۱** آمده است. **گام پنجم:** بر اساس داده‌های جو بالا در محیط نرم‌افزاری GRADS نقشه‌های سینوپتیک برای الگوهای انتخابی (**جدول ۱**) ترسیم شد. با استفاده از داده‌های جو بالا نقشه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل، رطوبت ویژه و میانگین فشار سطح دریا ترسیم گردید. به‌منظور تحلیل سینوپتیکی الگوهای انتخابی نقشه‌های زیر ترسیم شد:

الف) نقشه ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل و باد در ترازهای انتخابی ترسیم گردید تا موقعیت جغرافیایی پراتفعا جنب‌حاره، جابه‌جایی آن در ترازهای مختلف تروپوسفر، میزان نفوذ و تأثیر آن بر ایران مشخص گردد.

ب) نقشه‌های ترکیبی رطوبت ویژه، ارتفاع ژئوپتانسیل و باد ترسیم شد تا بتوان نقش پراتفعا جنب‌حاره را در انتقال رطوبت و انتقال آن به ایران در ترازهای مختلف شناسایی کرد.

- 1- Geopotential
- 2- V-component of wind
- 3- U-component of wind
- 4- Specific humidity
- 5- Mean sea level pressure

جدول ۱- الگوهای انتخابی برای انجام تحلیل سینوپتیکی

Table 1- Selected patterns for synoptic analysis

تداوم Duration (Number of days)	الگوهای انتخابی Selected Patterns		
	سال Year	ماه Month	روز Day
۱ روزه (One Day)	2003	مارس March	26
۱ روزه (One Day)	2004	ژانویه January	13
۱ روزه (One Day)	2013	ژانویه January	29
۱ روزه (One Day)	2015	نوامبر November	10
۱ روزه (One Day)	2017	فوریه February	13
۱ روزه (One Day)	2018	نوامبر November	25
۲ روزه (Two Day)	2019	مارس March	25
			26



شکل ۲- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیکی انتخابی

Figure 2- Geographic location of selected synoptic stations

نتایج و بحث

میان‌ی تحلیل شدند. به این ترتیب ترازهای ۸۵۰ و ۸۰۰ هکتوپاسکال (تراز زیرین)، ۵۰۰، ۶۰۰، ۷۰۰ هکتوپاسکال (تراز میانی) انتخاب شدند تا موقعیت، گسترش، تغییرات پرارتفاع جنب حاره عربستان و تعاملات آن با دیگر الگوهای گردشی جو در ترازهای مختلف جوی بررسی شوند.

از آنجا که این پژوهش نتیجه بررسی چندین الگو است، آوردن تمام الگوها و نقشه‌های آنها در مقاله حاضر امکان‌پذیر نیست. لذا از نقشه‌ها و تفاسیر روز ۲۶ مارس ۲۰۱۹ به‌عنوان نمونه استفاده شده است. اما نتایج به‌دست آمده بر اساس ۷ الگوی انتخابی است. نقشه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل و رطوبت ویژه در هر دو تراز زیرین و

الگوی نمونه ۲۶ مارس ۲۰۱۹

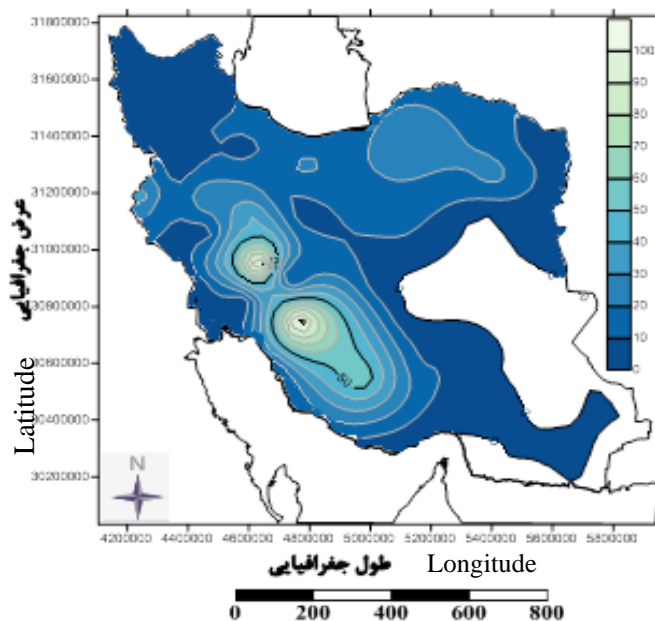
طی بازه زمانی ۱۶ مارس تا ۱ آوریل ۲۰۱۹ با ورود سامانه‌های بارشی قدرتمند به کشور بارش‌های شدید و فراگیر منجر به جاری شدن سیل در مناطق مختلف کشور شد (Alijani et al., 2019) که منجر به ایجاد سیل در بیشتر استان‌های ایران شد. در این بازه زمانی روز ۲۵ و ۲۶ مارس، ایران شدیدترین بارش‌ها را دریافت کرده است (شکل ۳). ۲۶ مارس در ۱۶ ایستگاه بارش بیش از ۲۰ میلی‌متر ثبت شده است. بیشترین بارش در این روز مربوط به ایستگاه‌های کوه‌رنگ با ۱۱۲، یاسوج ۱۱۱ میلی‌متر بوده است.

الف: تراز زیرین (۸۵۰ و ۸۰۰ هکتوپاسکال)

الگوی پراتفعا عربستان در جنوب‌شرق سردچال عرض میانی که هسته آن بر روی ترکیه واقع شده است شکل گرفته است (شکل ۴، A, B). هسته آن با ۱۵۰۰ ژئوپتانسیل متر بر روی دریای عمان، جنوب شرق ایران و شمال اقیانوس هند واقع شده و نواحی وسیعی از جنوب شرق، شرق و جنوب ایران را در بر گرفته است. بین سردچال عرض میانی که نفوذ حاره‌ایی دارد و پراتفعا عربستان همگرایی رخ داده است. جریان واچرخندی پراتفعا عربستان در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال جنوبی- شمالی است که تا نواحی شمال غرب ایران ادامه دارد (شکل ۴، A). نیمه غربی ایران تا ۵۵ درجه شرقی تحت حاکمیت جریان جنوبی- شمالی پراتفعا عربستان و همچنین

همگرایی این سامانه با سردچال عرض میانی است. نیمه شرقی ایران نیز تحت حاکمیت جریان پراتفعا عربستان با جهتی جنوب‌غرب- شمال‌شرق قرار دارد. جریان جنوبی شمالی پراتفعا عربستان همچنین عاملی مهم در جلوگیری از ورود گسترده کم ارتفاع عرض میانی به نواحی غرب ایران است (شکل ۴، A).

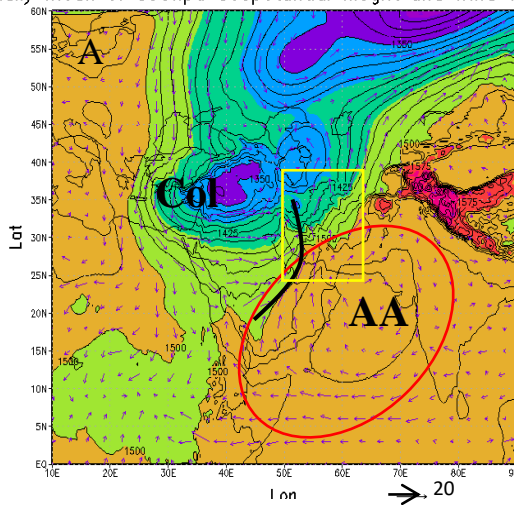
در تراز زیرین شاهد انتقال رطوبت حاره به برون حاره توسط عوامل دینامیکی برون حاره هستیم که نفوذ حاره‌ایی داشته‌اند (شکل ۵، A, B). با بررسی نقشه‌های رطوبت ویژه و ارتفاع ژئوپتانسیل مشخص شد که در محل نفوذ سردچال دینامیکی عرض میانی به منطقه حاره و تعامل با پراتفعا عربستان، رطوبت ویژه با جهتی نصف‌النهاری به مناطق برون حاره منقل و منجر به شکل‌گیری رودخانه جوی شده‌اند. در محل همگرایی دو الگوی سردچال و پراتفعا عربستان حجم بیشتری از رطوبت حاره به برون حاره وارد می‌شود. رطوبت منطقه ITCZ در شرق آفریقای مرکزی توسط سردچال ترکیه که به ۱۵ درجه شمالی رسیده است و پراتفعا عربستان در جهت نصف‌النهاری جنوب‌غرب- شمال شرق به منطقه برون حاره هدایت می‌شود و سبب شکل‌گیری رودخانه جوی شرق آفریقای مرکزی شده‌اند. پراتفعا عربستان نیز به‌عنوان عامل دینامیکی منطقه جنب حاره به انتقال رطوبت حاره به برون حاره در جهت جریان واچرخندی خود می‌انجامد و منجر به تقویت رودخانه جوی (AR) می‌شود.



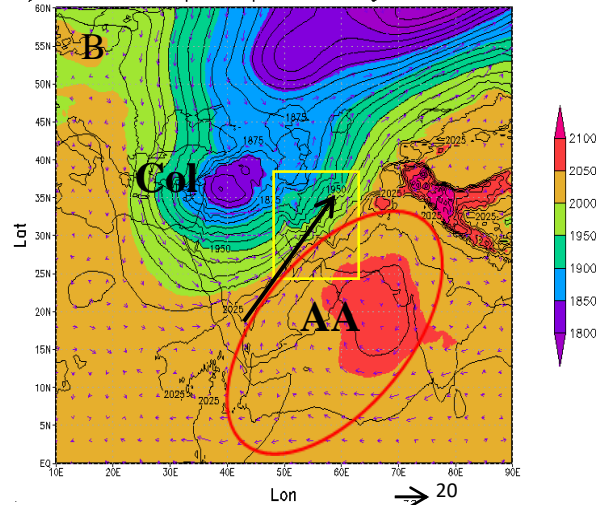
شکل ۳- نقشه بارش روز ۲۶ مارس ۲۰۱۹ ایران

Figure 3- Precipitation map of Iran on March 26, 2019

daily mean of 850hpa Geopotential hieght and Wind Vector



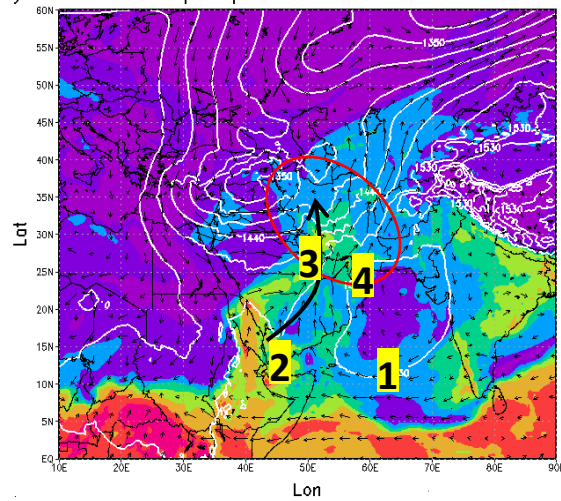
daily mean of 800hpa Geopotential hieght and Wind Vector



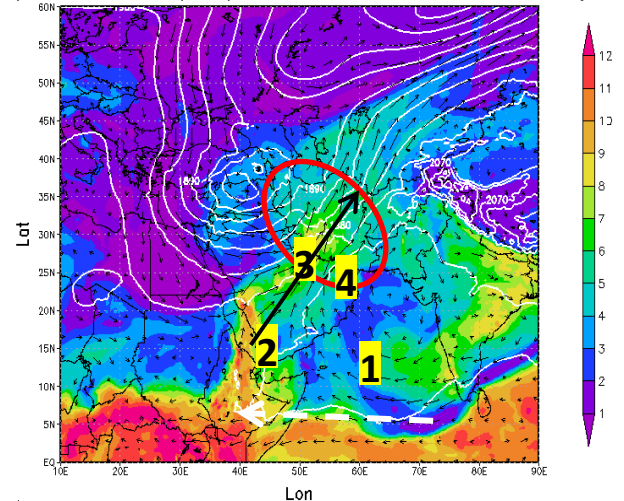
شکل ۴- خطوط مشکی ممتد میانگین روزانه ارتفاع ژئوپتانسیل (ژئوپتانسیل متر)، فلش‌های بنفش جریان باد وکتور (متر بر ثانیه)، دایره قرمز پرارتفاع عربستان، فلش مشکی محل همگرایی پرارتفاع عربستان و سردچال عرض میانی در روز ۲۶ مارس سال ۲۰۰۳ در تراز زیرین و مستطیل زرد کشور ایران را نشان می‌دهند.
Col(cut off low), AA(Arabic Anticyclone)

Figure 4- Continuous black lines of daily average geopotential height (geopotential meters), purple Arrows of vector wind flow (meters per second), red circle of high altitude of Arabia, black Arrow of convergence point of high altitude of Arabia and mid-latitude Cut off low on March 26 2003 in the lower level and the yellow rectangle show the country of Iran.

Daily mean of 850hpa Special Moisture & Wind Vector & hgt



Daily mean of 800hpa Special Moisture & Wind Vector & hgt



شکل ۵- نقشه‌های میانگین روزانه میزان رطوبت ویژه (نواحی رنگی)، ارتفاع ژئوپتانسیل (منحنی‌های مشکی)، جریان باد (فلش‌های مشکی) در تراز زیرین (۸۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال) روز ۲۶ مارس ۲۰۰۳ هستند. فلش مشکی منقطع نشان دهنده مسیر رودخانه‌های جوی شرق آفریقای مرکزی، فلش سفید منقطع مسیر انتقال رطوبت اقیانوس هند به آفریقای مرکزی توسط پرارتفاع عربستان، بیضی قرمز موقعیت جغرافیایی ایران را نشان می‌دهد. اعداد چشمه‌های رطوبتی تغذیه کننده رودخانه جوی و ایران توسط پرارتفاع عربستان را نشان می‌دهند. چشمه‌های رطوبتی حاره: ۱ دریای عرب، ۲ دریای سرخ جنوبی، ۳ خلیج فارس، ۴ دریای عمان

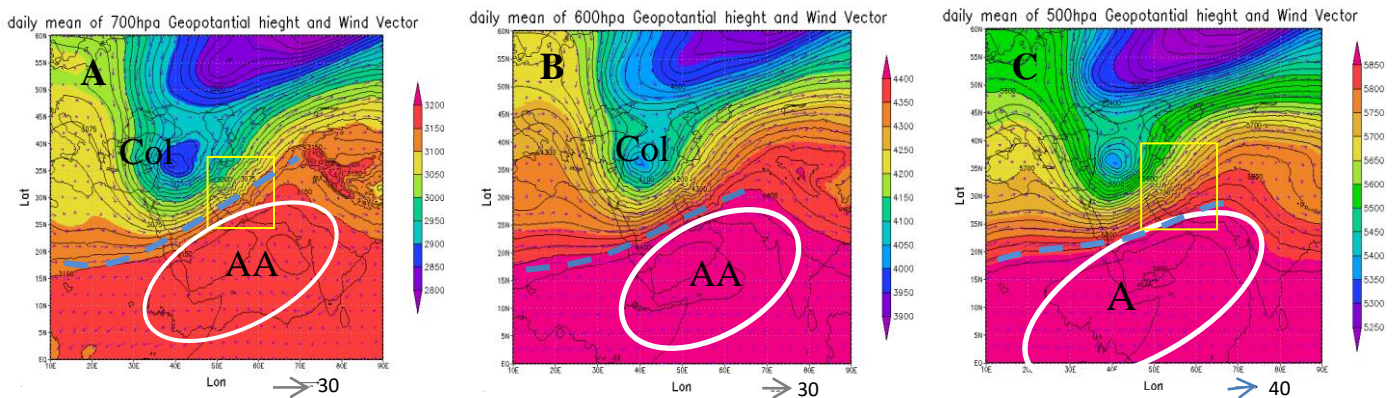
Figure 5- Daily average maps of specific humidity (colored Areas), geopotential height (black curves), wind flow (black Arrows) at the bottom level (800 and 850 hPa) on March 26, 2003. The broken black Arrow shows the path of atmospheric rivers in East Central Africa, the white broken Arrow shows the path of moisture transfer from the Indian Ocean to Central Africa by the high altitude of Arabia, the red oval shows the geographical location of Iran. The numbers show the moisture springs feeding the Atmospheric River and Iran by the high altitude of Arabia. Tropical moisture springs: 1 Arabian Sea, 2 South Red Sea, 3 Persian Gulf, 4 Sea of Oman.

است. در تراز ۶۰۰ هکتوپاسکال هسته پراتفعا عربستان انتقالی جنوب‌سو و غرب‌سو داشته و به نواحی شرق آفریقای شمالی و نواحی جنوبی شبه جزیره عربستان نفوذ کرده است (شکل ۶B). به همین دلیل همگرایی دو جریان شاخه جنوبی بادهای غربی و پراتفعا عربستان در شرق آفریقای شمالی بر روی سودان شروع شده و با عبور از دریای سرخ وارد شبه جزیره عربستان شده است. هر چه به ترازهای بالاتر صعود کنیم شاخه جنوبی بادهای غربی مداری تر و نفوذ بیشتری در منطقه جنب حاره و حاره دارد که این امر انتقال بیشتر جنوب‌سوی پراتفعا عربستان را پی‌داری طوری که در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال تأثیر و نفوذ پراتفعا عربستان بر روی ایران کاهش چشمگیری داشته و تمام ایران به جز سواحل دریای عمان تحت نفوذ منطقه واگرایی سردچال و شاخه جنوبی بادهای غربی هستند (شکل ۶C). گسترش پراتفعا عربستان در منطقه حاره و بر روی اقیانوس هند و شرق آفریقای مرکزی به انتقال رطوبت و دمای اقیانوس هند به درون منطقه حاره شرق آفریقای مرکزی کمک می‌کند. این امر به افزایش حجم رطوبتی منطقه ITCZ بر روی آفریقا می‌انجامد. رودخانه جوی (AR) در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال در شرق آفریقای مرکزی در امتداد منطقه همگرایی دو الگوی سردچال عرض میانی و پراتفعا عربستان وارد ایران شده است. پراتفعا عربستان رطوبت اقیانوس هند، دریای عرب و جنوب دریای سرخ را به رودخانه جوی (AR) شبه جزیره عربستان تزریق می‌کند و از طریق رودخانه جوی (AR) وارد ایران می‌شوند (شکل ۶A). در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال رودخانه جوی (AR) شرق آفریقای مرکزی تضعیف و کوتاه شده و تا دریای سرخ می‌رسد.

جریان واچرخندی پراتفعا عربستان با جهتی شرقی- غربی رطوبت را از اقیانوس هند به آفریقای مرکزی می‌رساند که به تقویت نقطه منشاء رودخانه جوی (AR) کمک می‌کند. حداکثر حجم رطوبتی بر روی شبه جزیره عربستان نیز در محل همگرایی دو جریان پراتفعا عربستان و سردچال ترکیه است. پراتفعا عربستان رطوبت اقیانوس هند و دریای عرب را به رودخانه جوی (AR) بر روی شبه جزیره عربستان وارد می‌کند. رطوبت دریای عمان نیز از طریق جریان واچرخندی پراتفعا عربستان با جهتی جنوب غرب- شمال شرق به جنوب شرق و سواحل دریای عمان وارد می‌شود و به تغذیه رطوبتی رودخانه جوی (AR) و سواحل جنوبی ایران می‌انجامد (شکل ۶A, B).

ب: تراز میانی (۷۰۰، ۶۰۰، ۵۰۰ هکتوپاسکال)

در تراز میانی، شاخه جنوبی بادهای غربی نفوذ حاره ایی داشته‌اند که منجر به جابه‌جایی جنوب‌سو و شرق‌سوی هسته مرکزی پراتفعا عربستان نسبت به تراز زیرین شده است (شکل ۶A, B, C). هسته پراتفعا عربستان بر روی ۲۰ درجه شمالی و بر روی اقیانوس هند واقع شده است. با انتقال جنوب‌سوی پراتفعا عربستان، تعامل و همگرایی دو الگوی پراتفعا عربستان و شاخه جنوبی بادهای غربی در عرض‌های پایین‌تر رخ داده است. در تراز میانی تنها سواحل دریای عمان و جنوب شرق ایران تحت نفوذ جریان واچرخندی پراتفعا عربستان قرار دارد. مناطق بیشتری از ایران تحت حاکمیت سیستم‌های غربی است (شکل ۶A). گسترش پراتفعا جنب‌حاره عربستان بر روی آفریقای مرکزی تا ۱۵ درجه شمالی را فرا گرفته



شکل ۶- خطوط مشکی روزانه ارتفاع ژئوپتانسیل (ژئوپتانسیل متر)، فلش‌های بنفش جریان باد و کتور (متر بر ثانیه). دایره سفید پراتفعا عربستان، خط منقطع آبی منحنی بیرونی شاخه جنوبی بادهای غربی در ۲۶ مارس سال ۲۰۰۳ در تراز میانی (۷۰۰، ۶۰۰، ۵۰۰ هکتوپاسکال) و مستطیل زرد کشور ایران را نشان می‌دهند. AA (Arabic Anticyclone)

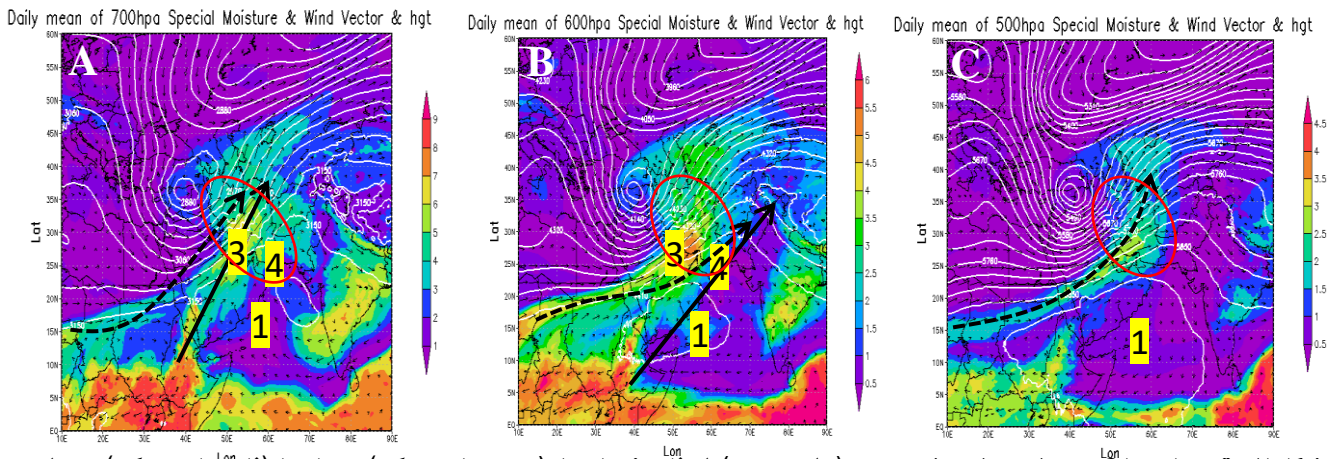
Figure 6- Continuous black lines of daily average geopotential height (geopotential meters), purple Arrows of vector wind flow (meters per second). The white high-altitude circle of Saudi Arabia, the blue broken line, the outer curve of the southern branch of the western winds on M چوب (AR) رودخانه جوی 26, 2003 at the middle level (700, 600, 500 hectopascals) and the yellow rectangle show the country of Iran.

عرب و اقیانوس هند که بیشتر از ۱۶ گرم است و رطوبت دریای سرخ جنوبی از طریق جریان واچرخندی پرفشار عربستان در امتداد منطقه واگرایی کم فشار ترکیه وارد ایران شده است (شکل A.۸). وجود رطوبت بیشتر بر روی شبه جزیره عربستان نتیجه هدایت و انتقال رطوبت از چشمه‌های رطوبتی مختلف حاره، جنب حاره و برون حاره توسط دو الگوی کم فشار ترکیه و پرفشار عربستان است که با همگرا شدن بر روی شبه جزیره عربستان حجم رطوبتی آنجا را افزایش می‌دهند. نیمه جنوبی ایران فشار بیشتر است و بین ۱۰۱۰ تا ۱۰۲۰ هکتوپاسکال است. جریان باد نشان می‌دهد که پرفشار عربستان نقش مهمی بر روی ایران در سطح زمین دارد. انتقال حجم بیشتری از رطوبت اقیانوس هند و دریای سرخ جنوبی توسط جریان واچرخندی پرفشار عربستان در سطح زمین صورت گرفته است. جریان جنوبی-شمالی پرفشار عربستان با عبور از دریای عرب، رطوبت آن را وارد خلیج فارس می‌کند. رطوبت خلیج فارس نیز توسط جریان پرفشار عربستان به نواحی غرب و شمال غرب ایران وارد می‌شود. به علت وجود رشته کوه زاگرس رطوبت وارد مناطق مرکزی و شمالی نمی‌شود. جریان واچرخندی پرفشار عربستان بر روی شرق آفریقای مرکزی، دریای سرخ جنوبی، جنوب شبه جزیره عربستان و بر روی ایران مانع از ورود کم فشار ترکیه به ایران و کم فشار سودان به خاورمیانه شده است. کم فشار سودان بر روی آفریقای مرکزی با ۱۰۰۵ هکتوپاسکال شکل گرفته است (شکل A.۸).

در شکل ۵ در هر سه تراز مشهود است که رطوبت از غرب آفریقا به خاورمیانه و از جمله ایران وارد می‌شود. با کاهش رطوبت در شرق آفریقا امکان شکل‌گیری رودخانه جوی (AR) حتی با وجود عوامل صعود دینامیکی امکان پذیر نبوده است. در تراز ۵۰۰ و ۶۰۰ هکتوپاسکال پراارتفاع عربستان با جابه‌جایی غرب سوی خود، رطوبت دریای سرخ جنوبی و اقیانوس هند را بر روی شرق آفریقای مرکزی و شمالی و بر روی شبه جزیره عربستان به رودخانه جوی (AR) تریق می‌کند (شکل B,C.۷). از تراز ۶۰۰ هکتوپاسکال به بالا پراارتفاع عربستان با جابه‌جایی غرب سو و جنوب سوی خود، در تغذیه رطوبتی رودخانه جوی (AR) بر روی ایران نقشی ندارد. رطوبت دریای سیاه، شرق دریای مدیترانه و دریای سرخ شمالی همانند ترازهای زیرین به درون رودخانه جوی (AR) از طریق سردچال وارد می‌شود (شکل B,C.۷).

میانگین فشار سطح دریا (MSLP)

سردچال عرض میانی ترازهای فوقانی منجر به شکل‌گیری یک هسته کم فشار بر روی ترکیه در سطح زمین شده است که عمق نفوذ آن تا جنوب شبه جزیره عربستان است. پرفشار عربستان، اقیانوس هند، شرق آفریقای مرکزی، دریای سرخ جنوبی و جنوب شبه جزیره عربستان را تا ۱۹ درجه شمالی در بر گرفته است (شکل A.۸). در ۲۰ درجه شمالی بر روی شبه جزیره عربستان همگرایی دو جریان کم فشار ترکیه و پرفشار عربستان رخ داده است. بیشترین حجم رطوبتی دریای سرخ در جنوب آن با ۱۸ گرم مشاهده می‌شود. رطوبت دریای



شکل ۷- نقشه‌های میانگین روزانه میزان رطوبت ویژه (نواحی رخی)، ارتفاع ژئوپتانسیل (منحنی‌های مشکی)، جریان باد (فلش‌های مشکی) در تراز میانی (۷۰۰، ۵۰۰، ۶۰۰ هکتوپاسکال) روز ۲۶ مارس ۲۰۰۳ هستند. فلش مشکی منقطع نشان دهنده مسیر رودخانه جوی غرب آفریقای شمالی، فلش مشکی در نقشه‌های A,B رودخانه جوی شرق آفریقای مرکزی و بیضی قرمز موقعیت جغرافیایی ایران را نشان می‌دهد. اعداد چشمه‌های رطوبتی تغذیه کننده رودخانه جوی و ایران را توسط پراارتفاع عربستان را نشان می‌دهند. چشمه‌های رطوبتی حاره: 1 دریای عرب، 3 خلیج فارس، 4 دریای عمان.

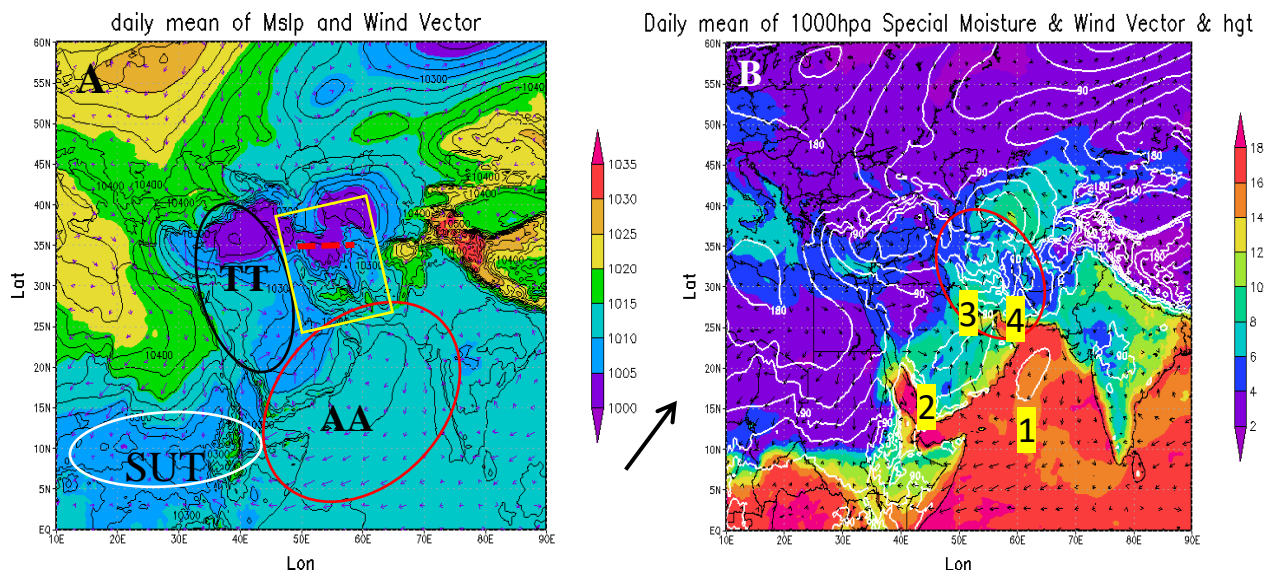
Figure 7- Daily average maps of specific humidity (colored areas), geopotential height (black curves), wind flow (black Arrows) in the middle level (700, 600, 500 hectopascals) on March 26, 2003. The dashed black Arrow shows the course of the Atmospheric River in West North Africa, the black Arrow in maps A, B shows the Atmospheric River in East Central Africa and the red oval shows the geographical location of Iran. The numbers show the moisture springs feeding the Atmospheric River and Iran by the high altitude of Arabia. Tropical moisture springs: 1 Arabian Sea, 3 Persian Gulf, 4 Oman Sea.

مانع از ورود کم فشار سودان به شبه جزیره عربستان شده است.

نتایج

اگرچه تاکنون مطالعاتی در رابطه با نقش پرفشار عربستان بر اقلیم ایران و انتقال رطوبت به ایران کار شده است (Lashkari & Mohammadi, 2015; Mohammadi & Lashkari, 2018; Khoshal et al., 2019; Raziei, 2012; Karimi et al., 2019)، اما به‌طور منسجم و کلی موقعیت قرارگیری پرفشار عربستان در ترازهای مختلف جوی، تعامل آن با سیستم‌های عرض میانی، نقش آن در انتقال رطوبت حاره و شکل‌گیری رودخانه‌های جوی که منجر به تأمین رطوبت بارش‌های ایران می‌شود بررسی نشده‌اند که در این پژوهش به آن‌ها دست یافته‌ایم.

چند هسته کم فشار بر روی خاورمیانه و ایران مشاهده می‌شود. کم فشار شکل گرفته بر نیمه شمالی ایران با هسته مرکزی ۱۰۰۵ هکتوپاسکال در نقشه میانگین فشار سطح دریا از برخورد دو توده هوای گرم پرفشار عربستان که تا نواحی شمالی ایران پیشروی کرده است و توده هوای سرد شمالی است که دارای همرفت وزشی بر روی دریای خزر است و با جهتی شمال شرق- جنوب غرب به نواحی شمالی ایران وارد شده است. در غرب ایران جریان جنوب شرق- شمال غرب پرفشار عربستان مشاهده می‌شود که بیشتر نواحی غرب ایران را در بر گرفته است و رطوبت خلیج فارس را به این نواحی تزریق می‌کند. در جنوب شبه جزیره عربستان کم فشار شکل گرفته ۱۰۰۵ هکتوپاسکال بر روی نقشه MSLP به علت همگرایی دو جریان کم فشار ترکیه و پرفشار عربستان است. همچنین هسته کم‌فشار جنوب دریای سرخ نیز محل برخورد دو توده هوای ذکر شده است. ورود پرفشار عربستان به جنوب شبه جزیره عربستان و جنوب دریای سرخ



شکل ۸- نقشه A نقشه میانگین فشار سطح دریا است. فشار سطح دریا (منحنی‌های مشکی)، باد وکتور تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال (فلش‌های بنفش)، دایره قرمز پرفشار عربستان، دایره سفید (کم فشار سودان)، دایره مشکی (کم فشار ترکیه)، خط قرمز منقطع محل همگرایی دو جریان پرفشار عربستان و جریان‌های برون حاره روز ۲۶ مارس ۲۰۰۳. مستطیل زرد موقعیت جغرافیایی ایران.

TT(Turkey Trough), SUT(Sudan Trough), AA(Arabic Anticyclone)

نقشه B، رطوبت ویژه تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال (منحنی‌های سفید) و جریان باد وکتور تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال (فلش‌های مشکی) در فلش مشکی محل همگرا شدن دو الگوی پراتفعا عربستان و کم فشار ترکیه. بیضی قرمز موقعیت جغرافیایی ایران. اعداد چشمه‌های رطوبتی منطقه حاره در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال. چشمه رطوبتی حاره: 1: دریای عرب، 2: دریای سرخ جنوبی، 3: خلیج فارس، 4: دریای عمان.

Figure 8- Map A is the average sea level pressure map. Sea level pressure (black curves), 1000 hPa level vector wind (purple Arrows), high pressure red circle in Saudi Arabia, white circle (low pressure in Sudan), black circle (low pressure in Turkey), red line Discontinuity of the convergence of two high-pressure currents of Arabia and extratropical currents on March 26, 2003. The yellow rectangle is the geographic location of Iran.

Map B, specific humidity at 1000 hectopascals (white curves) and vector wind flow at 1000 hectopascals (black Arrows) - hectopascals in the black arrow is the convergence of the two patterns of high pressure in Arabia and low pressure in Turkey. The red oval is the geographical location of Iran. The number of humid springs in the tropical region at the level of 1000 hectopascal.

Tropical moisture spring: 1 Arabian Sea. 2 Southern Red Sea. 3 Persian Gulf. 4 Sea of Oman.

پژوهش حاضر نشان از نقش مهم پراترفاع عربستان در انتقال رطوبت حاره به ایران و رخداد بارش دارد. در ۷ الگوی مورد بررسی (جدول ۱)، پراترفاع عربستان در جنوب و جنوب‌شرق سیستم‌های عرض میانی واقع شده است. زبانه‌های پراترفاع عربستان با حرکت و اچرخندی خود رطوبت آب‌های گرم حاره‌ای اقیانوس هند، دریای عرب و دریای سرخ جنوبی و آب‌های گرم جنب‌حاره خلیج فارس و دریای عمان را به منطقه برون‌حاره و ایران انتقال می‌دهد. میزان نفوذ سردچال عرض میانی در تراز زیرین و شاخه جنوبی بادهای غربی در تراز میانی شاخص مهم تعیین‌کننده جایگاه و موقعیت هسته پراترفاع عربستان و میزان گسترش آن به سمت غرب و شمال ایران است. در تراز زیرین نفوذ شدید سردچال عرض میانی ترکیه به مناطق حاره و جنب‌حاره و گسترش منطقه واگرایی آن بر روی شبه‌جزیره عربستان و ایران، منجر به استقرار هسته پراترفاع عربستان در عرض‌های پایین و بر روی پاکستان، شمال شبه‌جزیره عربستان، دریای عمان و اقیانوس هند می‌شود. در تراز زیرین پراترفاع عربستان نفوذ بیشتری بر روی نواحی شرقی، جنوب‌شرقی، سواحل جنوبی، مرکزی و غرب ایران دارد. در تراز میانی اگرچه زبانه‌های جنوبی سردچال ترکیه به سمت عرض‌های شمالی عقب نشینی می‌کنند اما شاخه جنوبی بادهای غربی گسترش زیادی در مناطق جنب‌حاره و حاره دارد. شاخه جنوبی در جنوب سردچال ترکیه یک ناوه را شکل داده است که منطقه واگرایی آن مناطق بیشتری از ایران را در بر می‌گیرد. با نفوذ بیشتر ناوه شاخه جنوبی بادهای غربی، هسته پراترفاع عربستان جابه‌جایی جنوب‌سو دارد طوری که بر روی دریای عرب و در مواردی در حواشی جنوب-شرق شبه جزیره عربستان قرار می‌گیرد. این نفوذ، منجر به انتقال جنوب‌سوی هسته پراترفاع عربستان به جنوب مدار ۱۵ درجه شمالی و در مواردی ۱۰ درجه شمالی می‌شود. در نتیجه گسترش آن بر روی ایران کاهش می‌یابد و محدود به نواحی جنوب‌شرق و شرق ایران می‌شود. از تراز ۶۰۰ هکتوپاسکال به بالا پراترفاع عربستان نقشی بر روی اقلیم ایران ندارد. بیشترین اثر آن بر روی ایران در تراز زیرین و سپس در تراز میانی تا ۶۰۰ هکتوپاسکال است. به بیانی دیگر هر چه به ترازهای بالاتر صعود کنیم میزان تأثیر پراترفاع عربستان بر روی ایران کاهش می‌یابد. نقش مهم دیگر پراترفاع عربستان تقویت رطوبتی منطقه ITCZ در شرق آفریقای مرکزی است که محل صعود رطوبت حاره توسط سردچال، ناوه غربی و پراترفاع عربستان هستند. ای جی دی وریس (A vries, 2012)؛ دی وریس و همکاران (A vries et al., 2016)، المزوری و همکاران (Almazroui et al., 2016)، کومار و همکاران (Kumar et al., 2019) نیز نفوذ ترفاع‌های عرض‌های بالاتر به منطقه حاره را عاملی مهم در انتقال رطوبت حاره به برون‌حاره دانسته‌اند. در بیشتر ترازها هسته پراترفاع عربستان بر روی آب‌های گرم دریای عرب و دریای عمان واقع شده است.

پراترفاع عربستان همچنین عامل مهمی در انتقال برون‌حاره‌ای رطوبت حاره با جهتی جنوب‌غرب-شمال‌شرق در تراز میانی و با جهتی جنوبی-شمالی در تراز زیرین است. تعامل پراترفاع عربستان با سردچال عرض میانی منجر به شکل‌گیری رودخانه جوی با منشأ حاره‌ای از شرق آفریقای مرکزی می‌شود که با جهتی جنوب‌غرب-شمال شرق و با عبور از روی دریای سرخ و شبه جزیره عربستان وارد ایران می‌شود. مهم‌ترین مسیر ورود رودخانه‌های جوی به ایران، جنوب‌غربی است (Salimi & Saligheh, 2016). در تراز زیرین، پراترفاع عربستان رطوبت اقیانوس هند و دریای عرب را به رودخانه جوی (AR) بر روی شبه جزیره عربستان وارد می‌کند. رطوبت دریای عمان نیز از طریق جریان و اچرخندی پراترفاع عربستان با جهتی جنوب‌غرب-شمال شرق به جنوب شرق و سواحل دریای عمان وارد می‌شود و به تغذیه رطوبتی رودخانه جوی (AR) و سواحل جنوبی ایران می‌انجامد. در تراز میانی پراترفاع عربستان رطوبت اقیانوس هند، دریای عرب و جنوب دریای سرخ را به رودخانه جوی (AR) شبه جزیره عربستان تزریق می‌کند و از طریق رودخانه جوی (AR) وارد ایران می‌شوند. در تراز ۵۰۰ و ۶۰۰ هکتوپاسکال پراترفاع عربستان با جابه‌جایی غرب‌سوی خود، رطوبت دریای سرخ جنوبی و اقیانوس هند را بر روی شرق آفریقای مرکزی و شمالی و بر روی شبه جزیره عربستان به رودخانه جوی (AR) تزریق می‌کند (شکل ۷، B.C). از تراز ۶۰۰ هکتوپاسکال به بالا پراترفاع عربستان با جابه‌جایی غرب سو و جنوب‌سوی خود، در تغذیه رطوبتی رودخانه جوی (AR) بر روی ایران نقشی ندارد. در این صورت رطوبت دریای سیاه، شرق دریای مدیترانه و دریای سرخ شمالی از طریق سردچال عرض میانی به درون رودخانه جوی (AR) وارد می‌شود. جابه‌جایی غرب‌سو و شرق‌سوی پراترفاع عربستان به همراه ترفاع عرض میانی نقش مهمی در مسیر رودخانه‌های جوی (AR) وارد شده به ایران دارند (Lashkari & Esfandiari, 2021).

محل همگرایی بین دو سامانه سردچال عرض میانی و پراترفاع عربستان در ترازهای مختلف جو با توجه به جابه‌جایی دو سامانه نسبت به هم تغییر یافته است. تنها در تراز زیرین بین سردچال و پراترفاع عربستان همگرایی رخ می‌دهد. در تراز میانی از ۶۰۰ هکتوپاسکال به بالا با شکل‌گیری ناوه غربی شاخه جنوبی بادهای غربی، همگرایی بین ناوه غربی و پراترفاع عربستان است. در تراز زیرین (۸۵۰ و ۸۰۰ هکتوپاسکال) به علت جریان جنوبی-شمالی پراترفاع عربستان محل همگرایی دو سامانه نیز جنوبی-شمالی است که مناطق غرب ایران را در بر گرفته است. در تراز میانی همگرایی دو سامانه جهتی نصف‌النهاری (جنوب‌غرب-شمال شرق) دارد و با عبور از دریای سرخ جنوبی، شبه‌جزیره عربستان و خلیج فارس وارد ایران می‌شود. در تمام ترازها شروع همگرایی دو سامانه از دریای سرخ

جنوبی است و تنها مسیر آن تغییر می‌یابد.

در نقشه‌های سطح زمین، بر روی شبه‌جزیره عربستان همگرایی دو جریان کم‌فشار ترکیه و پرفشار عربستان رخ داده است که در محل همگرایی دو سامانه یک کم‌فشار شکل می‌گیرد. رطوبت دریای عرب، اقیانوس هند و رطوبت دریای سرخ جنوبی از طریق جریان واچرخندی پرفشار عربستان در امتداد منطقه واگرایی کم‌فشار ترکیه وارد مناطق جنوب‌غرب، غرب و شمال غرب ایران می‌شوند. جریان باد نشان می‌دهد که در سطح زمین نقش پرفشار عربستان مهم‌تر از کم‌فشار ترکیه است و بیشترین نقش را در انتقال رطوبت مناطق حاره و جنب‌حاره به مناطق جنوب‌غرب، غرب و شمال‌غرب ایران دارد. همچنین بیشتر مناطق ایران تحت حاکمیت پرفشار عربستان است. در الگوهای مورد بررسی، پرفشار عربستان با انتقال رطوبت بیشتر از مناطق حاره و جنب‌حاره به ایران باعث تأمین رطوبت بارش‌های فرین ایران طی دوره سرد سال شده است که مطابق با کارهای رضیئی (Raziei, 2012) و کریمی و همکاران (Karimi et al., 2019) است. در این پژوهش در نقشه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل و جریان باد مشهود است که جریان واچرخندی پرفشار عربستان بر روی شرق آفریقای مرکزی، دریای سرخ جنوبی، جنوب شبه‌جزیره عربستان و بر روی نواحی غرب ایران، مانع از ورود کم‌فشار ترکیه و کم‌فشار سودان به ایران شده‌اند در نتیجه این دو سامانه نقشی در بارش‌های فرین صدک ۹۵ نداشته‌اند. این نتایج با تحقیقات انجام گرفته بر بارش‌های فرین ایران که نشان داده‌اند کم‌فشار سودان (Rastgoo & Ranjbar, 2018; Saadatabadi, 2018; Parak et al., 2015; Borna, 2016; Movahedi et al., 2015) و کم‌فشار مدیترانه (Mostafaii et al., 2002; Dadashi & Kashki, 2018; Alijani, 2002) طی فصل سرد سال عامل مهم و اصلی رخداد بارش‌های فرین هستند و با آوردن رطوبت از دریای عرب، دریای سرخ، خلیج فارس و دریای عمان جنوب غرب و غرب ایران را متأثر می‌سازند (Heydarizad et al., 2018). همسو نیست. محمدی و لشکری (Mohamadi & Lashkri, 2021) و محمدی (Lashkri, 2021) نیز در این رابطه بیان کرده‌اند که، جابه‌جایی شرق سوی پراتفعا عربستان باعث حرکت واچرخندی آن بر روی آب‌های گرم دریای عرب و دریای عمان می‌شود که رطوبت آنها را به درون سامانه‌های سودانی انتقال می‌دهد و به تقویت آن می‌انجامد. در حالی که در این پژوهش پراتفعا عربستان مانعی بر گسترش سامانه سودانی بر روی خاورمیانه است. از نتایج مهم این تحقیق این است که کم‌فشار سودان و مدیترانه عامل اصلی تمام بارش‌های فرین فراگیر ایران نیستند.

بر اساس نقشه‌های میانگین فشار سطح دریا، در غرب ایران جریان جنوب‌شرق - شمال‌غرب پرفشار عربستان حاکم است و رطوبت خلیج فارس را به این نواحی تزریق می‌کند. وجود رطوبت بیشتر بر

روی شبه‌جزیره عربستان نتیجه هدایت و انتقال رطوبت از چشمه‌های رطوبتی مناطق حاره، جنب‌حاره و برون حاره توسط دوسامانه کم‌فشار ترکیه و پرفشار عربستان است که با همگرا شدن بر روی شبه‌جزیره عربستان حجم رطوبتی آنجا را افزایش می‌دهند. همگرایی دو سامانه، منجر به انتقال حجم بیشتری از رطوبت اقیانوس هند و دریای سرخ جنوبی توسط جریان واچرخندی پرفشار عربستان و رطوبت دریای مدیترانه و دریای سرخ شمالی و مرکزی توسط جریان چرخندی کم‌فشار ترکیه به روی شبه‌جزیره عربستان و خلیج فارس شده است. جریان جنوبی - شمالی پرفشار عربستان با عبور از دریای عرب، رطوبت آن را وارد خلیج فارس می‌کند. رطوبت خلیج فارس نیز توسط جریان پرفشار عربستان به نواحی جنوب، جنوب‌غرب و غرب که در دامنه غربی رشته کوه زاگرس واقع شده اند وارد می‌شوند. به عبارتی در سطح زمین پرفشار عربستان مهم‌ترین الگوی گردشی و رطوبت خلیج فارس مهم‌ترین منبع رطوبتی بارش‌های غرب و جنوب غرب ایران است.

نتیجه‌گیری

پراتفعا جنب حاره عربستان بر اساس موقعیت قرارگیری و تعامل با الگوهای گردشی عرض میانی، نقش مهمی در تأمین رطوبت بارش‌های فرین - فراگیر با صدک ۹۵ دوره سرد سال ایران دارد. در ترازهای مختلف جو، جایگاه و موقعیت استقرار هسته مرکزی پراتفعا عربستان و میزان گسترش آن به سمت شمال و غرب ایران را سامانه‌های عرض میانی تعیین می‌کنند. بیشترین حاکمیت پراتفعا عربستان بر روی ایران در تراز زیرین است و در تراز میانی کاهش می‌یابد. در واقع در تراز زیرین ایران تحت حاکمیت دو الگوی سردچال عرض میانی ترکیه در مناطق غرب و شمال و پراتفعا عربستان در مناطق جنوبی و شرقی است. با توجه به نفوذ بیشتر شاخه جنوبی بادهای غربی و مداری شدن جریانات غربی در تراز میانی، پراتفعا عربستان جابه‌جایی شرق سو و جنوب سو دارد که هسته آن به ۱۵ و حتی ۱۰ درجه عرض شمالی می‌رسد. در نتیجه از حاکمیت و اثرات آن بر ایران در تراز میانی کاسته می‌شود. پراتفعا عربستان منجر به ناپایداری جو بر روی ایران نمی‌شود اما عاملی مهم در تأمین رطوبت بارش‌های فرین فراگیر فصل سرد سال ایران است. تأمین رطوبت بارش‌های فرین فراگیر ایران در فصل سرد سال توسط پراتفعا عربستان با ایجاد رودخانه جوی با منشاء حاره‌ایی و انتقال رطوبت حاره به برون حاره صورت می‌گیرد که به شرح ذیل می‌باشد:

الف: شکل‌گیری رودخانه جوی با منشاء حاره‌ایی و از شرق آفریقای مرکزی به علت تعامل و همراه شدن پراتفعا عربستان با سردچال عرض میانی: این رودخانه‌ی جوی در اثر تعامل دو الگوی پراتفعا عربستان و سردچال عرض میانی تشکیل و وارد ایران

رودخانه جوی است.

در سطح زمین و تراز زیرین، پراترفاع عربستان رطوبت دریای عرب و خلیج فارس را به نواحی غرب و شمال غرب ایران می‌رساند و مانع از ورود گسترده کم فشار مدیترانه به نواحی غرب و جنوب غرب ایران می‌شود. همچنین ورود زبانه‌های پراترفاع عربستان به دریای سرخ جنوبی مانع از ورود کم‌فشار سودان به خاورمیانه است. در نتیجه پراترفاع عربستان می‌تواند مانع از ورود دو سامانه مهم بارشی کم‌فشار سودان و کم‌فشار مدیترانه در روزهای با بارش فرین فراگیر دوره سرد سال ایران شود. به عبارتی کم‌فشار سودان و کم‌فشار مدیترانه و سامانه ادغامی کم‌فشار سودان-مدیترانه عامل اصلی تمام بارش‌های فرین فراگیر ایران نیستند.

می‌شود. پراترفاع عربستان با جریان واچرخندی خود بر روی آب‌های گرم اقیانوس هند، دریای عرب و خلیج فارس به تغذیه رطوبتی رودخانه‌جوی شرق آفریقای مرکزی که با جهتی جنوب‌غرب-شمال-شرق و با عبور از روی دریای سرخ و شبه‌جزیره عربستان وارد ایران می‌شود، می‌انجامد. با جابه‌جایی جنوب‌سو و شرق سوی پراترفاع عربستان که بیشتر در تراز میانی رخ می‌دهد این رودخانه جوی تشکیل نمی‌شود.

ب: تقویت رطوبتی منطقه ITCZ در شرق آفریقای مرکزی: پراترفاع عربستان با حرکت واچرخندی خود رطوبت اقیانوس هند را به شرق آفریقای مرکزی می‌رساند و منجر به تقویت رطوبتی منطقه ITCZ در شرق آفریقای مرکزی می‌شود که محل منشاء شکل‌گیری

References

1. A 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.
2. Almazroui, M., Kamil, S., Ammar, K., Keay, K., & Alamoudi, A.O. (2016). Climatology of the 500-hPa Mediterranean storms associated with Saudi Arabia wet season precipitation. *Climate Dynamics*, 47(9), 2029-2042. <https://doi.org/10.1002/jgrd.50569>
3. A de Vries, A.J., Feldstein, S.B., Riemer, M., Tyrlis, E., Sprenger, M., Baumgart, M., & Lelieveld, J. (2016). Dynamics of tropical-extratropical interactions and extreme precipitation events in Saudi Arabia in autumn, winter and spring. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 142(697), 1862-1880. <https://doi.org/10.1002/qj.2781>
4. Alijani, B., Mirzaee, N., & Jahedi, A. (2002). A Synoptic analysis comprehensive and heavy rainfall in Iran: case study 16-31 st 2019. *Climate Change and Climate Disaster*, 1(2), 70-114. (In Persian)
5. Alijani, B., Toulabi Nejad, M., & Karbalaie Darei, A. (2019). Investigating the effects of global warming on subtropical high pressure. *Physical Geography Research*, 51(1), 33-50. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/jphgr.2019.258677.1007223>
6. Alijani, B. (1997). Climate of Iran, Payam Noor University Publications. (In Persian)
7. Alipour, Y., Hedjazizadeh, Z., Akbary, M., & Saligheh, M. (2018). A study of the subtropical high pressure 500 hPa level changes in the Iran's atmosphere with emphasis on climate change. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 7(18), 1-16. (In Persian). <https://doi.org/10.22111/JNEH.2017.3206>
8. Asakereh, H., & Fatahey, M. (2019). Analysis of annual changes of subtropical high pressure ridge over Iran. *Geography and Planning*, 23(69), 191-211. (In Persian). <https://www.magiran.com/p2087446>
9. Barati, Gholamreza., & Lashkari, H. (2018). the role of convergence of pressure systems on the occurrence of dust storms in Khuzestan province. *Geography and Development Quarterly*, 9(22), 39-56. (In Persian)
10. Bishop, D.A., Williams, A.P., Seager, R., Fiore, A.M., Cook, B.I., Mankin, J.S., & Rao, M.P. (2019). Investigating the causes of increased twentieth-century fall precipitation over the southeastern United States. *Journal of Climate*, 32(2), 575-590. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-18-0244.1>
11. Borna., R. (2016). Identification of synoptic patterns of heavy rainfall in Maron basin (case study: rainfall on November 29, 2012). *Quarterly Journal of Physical Geography*, 36, 47-59. (In Persian)
12. Boron, A., Zohoriyan Pordel, M., Lashkari, H., Shakiba, A., & Mohamadi, Z. (2019). Synoptic analysis of Saudi Arabian sub-tropical high pressure in height waves of Khuzestan Province. *Journal of Meteorology and Atmospheric Science*, 2(1), 55-67. (In Persian)
13. Borzoi, F., & Azizi, G. (2015). Suggesting a simple criterion to estimate heavy rainfall in Iran. *Physical Geography Research*, 47(3), 347-365. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/jphgr.2015.55335>
14. Choi, W., & Kim, K.Y. (2019). Summertime variability of the western North Pacific subtropical high and its synoptic influences on the East Asian weather. *Scientific Reports*, 9(1), 1-9. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44414-w>
15. Colbert, A.J., & Soden, B.J. (2012). Climatological variations in North Atlantic tropical cyclone tracks. *Journal of Climate*, 25(2), 657-673. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00034.1>
16. Dadashi Roudbari, A., & Kashki, A. (2018). Synoptic evaluation heavy precipitation Khorasan Razavi Province March 29, 2007. *Geographical Planning of Space*, 8(29), 75-90. (In Persian)

17. Davis, N.A., & Birner, T. (2013). Seasonal to multidecadal variability of the width of the tropical belt. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(14), 7773-7787. <https://doi.org/10.1002/jgrd.50610>
18. Farajzadeh Asl, M., Karimi Ahmadabad, M., Ghaemi, H., & Mobasheri, M.R. (2009). Mechanism of water vapor transport in winter rainfall over the West of Iran (A case study: 1-7 January 1996). *The Journal of Spatial Planning*, 13(1), 193-217. (In Persian). <http://hsmmsp.modares.ac.ir/article-21-7869-en.html>
19. Halabian, A.H., & Shabankari, M. (2012). The role of subtropical high pressure in the spatial daily precipitation distribution in Iran. *Geography and Environmental Sustainability*, 1(1), 1-21. (In Persian)
20. Karimi, M., Khoshakhlagh, F., shamsi por, A.A., & Noruzi, F. (2019). Arabian subtropical high pressure circulation patterns in the middle troposphere and its relationship with Iran's Precipitation. *Journal of Geography and Planning*, 23(69), 233-255. (In Persian)
21. Karimi, M., Noruzi, F., Jafari, M., Khoshakhlagh, F., & Shamsipour, A. (2022). Arabian anticyclone's spatial variations at 850 hPa simultaneously with precipitation of October to March in Iran. *Physical Geography Research*, 53(4), 509-529. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/jphgr.2022.330917.1007647>
22. Khoshal, G., Khosravei, M., & Nazareipoor, H. (2009). Identification humidity resources and course of super heavy precipitation in Bushehr Province. *Geography and Development*, 7(16), 7-28. (In Persian). <https://doi.org/10.22111/gdj.2009.1173>
23. Lamb, H.H. (1972). Climate, Present, Past and Future: Fundamentals and climate now", Volume I of Climate
24. 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 Persian). <https://doi.org/10.22111/jneh.2020.33830.165>
25. Lashkari, H., Matkan, A.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 Researches in Earth Sciences*, 8(2), 141-163. (In Persian)
26. Lashkari, H., Matkan, A., Azadi, M., & Mohamadi, Z. (2018). Synoptic patterns lead to premature precipitation in the South and South West of Iran during the period (1979-2015). *Geography and Planning*, 22(64), 247-266. (In Persian)
27. Lashkari, H., & Mohamadi, Z. (2015). The role of Saudi Arabian sub-tropical high pressure on the rainfall systems on south and southwest Iran. *Physical Geography Research Quarterly*, 47(1), 73-90. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/JPHGR.2015.53679>
28. Lashkari, H., & Mohammadi, Z. (2019). Study on the role of annual movements of Arabian subtropical high pressure in the late start of precipitation in southern and southwestern Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 137(3), 2069-2076. <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2716-x>
29. Lau, W.K., & Kim, K.M. (2015). Robust Hadley circulation changes and increasing global dryness due to CO₂ warming from CMIP5 model projections. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(12), 3630-3635. <https://doi.org/10.1073/pnas.1418682112>
30. Lee, E.J., Yeh, S.W., Jhun, J.G., & Moon, B.K. (2006). Seasonal change in anomalous WNPSH associated with the strong East Asian summer monsoon. *Geophysical Research Letters*, 33(21). <https://doi.org/10.1029/2006GL027474>
31. Lee, S.S., Seo, Y.W., Ha, K.J., & Jhun, J.G. (2013). Impact of the western North Pacific subtropical high on the East Asian monsoon precipitation and the Indian Ocean precipitation in the boreal summertime. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 49(2), 171-182. <https://doi.org/10.1007/s13143-013-0018-x>
32. Li, L., Li, W., & Kushnir, Y. (2012). Variation of the North Atlantic subtropical high western ridge and its implication to Southeastern US summer precipitation. *Climate Dynamics*, 39(6), 1401-1412. <https://doi.org/10.1007/s00382-011-1214-y>
33. Lu, R. (2001). Interannual variability of the summertime North Pacific subtropical high and its relation to atmospheric convection over the warm pool. *Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II*, 79(3), 771-783. <https://doi.org/10.2151/jmsj.79.771>
34. Majidirad, N., & Rahimi Herabadi, S. (2021). The behavior of spatio-temporal spatial elevation changes and their impact on the intensification of droughts, with emphasis on the management of rural systems responses. *Climate Change Research*, 2(5), 59-80. <https://doi.org/10.30488/CCR.2020.261823.1032>
35. Masoudian, A. (2012). The weather of Iran. Mashhad: Sharia Tos Publications. (In Persian)
36. Mitro, S.U.K.A.R.N.I. (2010). The influence of the subtropical high-pressure systems on rainfall and temperature distribution in Suriname and implications for rice production in the Nickerie District. *The University of the West Indies*
37. Mofidi, A., (2005). Synoptic climatology of torrential rains originating from the Red Sea in the Middle East. *Geographical Research*, 4(75), 71-93. (In Persian)
38. Khorshiddoust, M., Mohammadi, G.H., Hosseini Sadr, A., Javan, K., & Jamali, A. (2014). Synoptic analysis of effective factors on dust frequency in West of Iran. *Journal of Geography and Planning*, 17(46), 47-66.
39. Kumar, K., & Phanikumar, D.V. (2019). Influence of tropical-extratropical interactions on the dynamics of

- extreme rainfall event: A case study from Indian region. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 85, 28–40. <https://doi.org/10.1016/j.dynatmoce.2018.12.002>
40. 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*, 50(3), 491-509. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/jphgr.2018.249422.1007165>
 41. 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(12), 1-18. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-07572-8>
 42. Movahedi, S., & Kashki, A. (2015). Investigating the spatio-temporal extent of the tropical cyclone in the Northern Hemisphere. *Geography and Environmental Planning*, 3(59), 209-224.
 43. Mostafaii, H., Alijani, B., & Saligheh, M. (2016). Synoptic analysis of widespread heavy rains in Iran. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 2(4), 65-76. (In Persian). <http://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-2533-en.html>
 44. Nieto Ferreira, R., & Rickenbach, T.M. (2020). Effects of the north Atlantic subtropical high on summertime precipitation organization in the southeast United States. *International Journal of Climatology*, 40(14), 5987-6001. <https://doi.org/10.1002/joc.6561>
 45. Pepler, A., Dowdy, A., & Hope, P. (2019). A global climatology of surface anticyclones, their variability, associated drivers and long-term trends. *Climate Dynamics*, 52(9), 5397-5412. <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4451-5>
 46. Rastgoo, Z., & Ranjbar Saadatabadi, A. (2018). Study of heavy and extreme rain in Bushehr province in term of synoptic- dynamic. *Journal of Meteorology and Atmospheric Science*, 1(1), 77-96.
 47. Razi, T., Mofidi, A., Santos, J.A., & Bordi, I. (2012). Spatial patterns and regimes of daily precipitation in Iran in relation to large-scale atmospheric circulation. *International Journal of Climatology*, 32(8), 1226-1237.
 48. Rodwell, M.J., & Hoskins, B.J. (2001). Subtropical anticyclones and summer monsoons. *Journal of Climate*, 14(15), 3192-3211. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2001\)014<3192:SAASM>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2001)014<3192:SAASM>2.0.CO;2)
 49. Saaroni, H., & Ziv, B. (2000). Summer rain episodes in a Mediterranean climate, the case of Israel: climatological–dynamical analysis. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 20(2), 191-209. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0088\(200002\)20:2<191::AID-JOC464>3.0.CO;2-E](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(200002)20:2<191::AID-JOC464>3.0.CO;2-E)
 50. Saligheh, M., & Sadeghini, A. (2010). Investigation subtropical high pressure spatial variations in summer rainfalls of the southern half of Iran. *Geography and Development*, 8(17), 83-98. (In Persian). <https://doi.org/10.22111/gdij.2010.1135>
 51. Salimi, S., & Saligheh, M. (2016). The effects of atmospheric rivers on Iran climate. *Physical Geography Research Quarterly*, 48(2), 247-264. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/jphgr.2016.59366>
 52. Seager, R., Murtugudde, R., Naik, N., Clement, A., Gordon, N., & Miller, J. (2003). Air–sea interaction and the seasonal cycle of the subtropical anticyclones. *Journal of Climate*, 16(12), 1948-1966. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2003\)016<1948:AIATSC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2003)016<1948:AIATSC>2.0.CO;2)
 53. Seager, R., Osborn, T.J., Kushnir, Y., Simpson, I.R., Nakamura, J., & Liu, H. (2019). Climate variability and change of Mediterranean-type climates. *Journal of Climate*, 32(10), 2887-2915. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-18-0472.1>
 54. Sun, J., & Ming, J. (2019). Possible mechanism for the weakening relationship between Indian and central East Asian summer rainfall after the late 1970s: role of the mid-to-high-latitude atmospheric circulation. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 131, 517-524. <https://doi.org/10.1007/s00703-018-0586-5>
 55. Wang, B., Xiang, B., & Lee, J.Y. (2013). Subtropical high predictability establishes a promising way for monsoon and tropical storm predictions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(8), 2718-2722. <https://doi.org/10.1073/pnas.1214626110>
 56. Wei, W., Li, W., Deng, Y., & Yang, S. (2019). Intraseasonal variation of the summer rainfall over the Southeastern United States. *Climate Dynamics*, 53(1), 1171-1183. <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4345-6>
 57. Wu, G., Liu, Y., & Liu, P. (2004). Formation of the summertime subtropical anticyclones. In *East Asian Monsoon*. (pp. 499-544). https://doi.org/10.1142/9789812701411_0014
 58. Wu, X., Xu, L., Hong, Y., Chen, J., Qiu, Y., Hu, B., & Li, M. (2019). The air pollution governed by subtropical high in a coastal city in Southeast China: Formation processes and influencing mechanisms. *Science of The Total Environment*, 692, 1135-1145. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.341>
 59. Xiang, B., Wang, B., Yu, W., & Xu, S. (2013). How can anomalous western North Pacific subtropical high intensify in late summer?. *Geophysical Research Letters*, 40(10), 2349-2354. <https://doi.org/10.1002/grl.50431>
 60. Zangeneh, S., Lashkari, H., & Moradi, M. (2015). Synoptic analysis of Saudi pressure and effect on drought the South and South West of Iran. *Geography and Environmental Sustainability*, 5(2), 17-31.
 61. Zhou, T.J., & Yu, R.C. (2005). Atmospheric water vapor transport associated with typical anomalous summer rainfall patterns in China. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 27,110(D8), <https://doi.org/10.1029/2004JD005413>
 62. 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), 1-15. <https://doi.org/10.3390/atmos9100408>
63. 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>