



Research Article

The Role of InterTropical Convergence Zone (ITCZ) in the Development and Pattern of Sudanese Low-pressure Trough Expansion in Pervasive and Severe Rainfall in Southern Iran

Mahnaz Jafari¹, Hassan Lashkari^{1*} 

1-Department of Physical Geography, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Received: 15 Oct 2020 Accepted: 26 May 2021

Extended Abstract

Introduction

Sudanese low-pressure is a system with tropical characteristics. Its precipitation characteristics is very similar to that of tropical systems. This is especially evident in the countries on the southern shores of the Persian Gulf and in the southern and southwestern parts of Iran. Heavy rainfall of this system result is its high moisture potential and access to the resources of the warm southern seas. Some researchers believe that the system originated in the northward expansion of the InterTropical Convergence Zone (ITCZ) in the range of 25 to 35° east (in East Africa) and created a thermal nucleus in southern Sudan and Ethiopia (Lashkari, 1375; 1381). The aim of this study is to identify the adaptation of northward expansion of the Sudanese low-pressure trough with the ITCZ northward expansion pattern during pervasive and severe rainfall in the cold season in the southern half of Iran.

Materials and Methods

Two categories of data were used for this study. These data include daily precipitation data from the Iranian Meteorological Organization of Iran and the ERA interim gridded data include sea level pressure and the specific humidity of the 700 HP of the ECMWF. Second category data with horizontal resolution of $0.5 \times 0.5^\circ$ during 1997-2017 statistical period were prepared. Subsequently, based on the selected criteria, 86 pervasive and severe rainfall systems were identified. Then, the ITCZ's average monthly position, the central core pattern, the area of the first closed curve, and the expansion of the Sudanese low-pressure trough for all 86 days of rainfall were plotted. In the final step, the position of the ITCZ was identified using a special humidity variable of 700 HP in the tropical region for the systems of each month.

Results and Discussion

In this study, has been examining the degree of adaptation and as well as the role of the ITCZ in the formation, expansion and supply moisture of rainfall Sudanese systems in three general forms for selected precipitation samples.

Expansion pattern of the Sudanese low-pressure core

During all months, the region between the eastern border of Sudan and Ethiopia is the focus of Sudan's low-pressure core. In November, December, March, and April, the pattern of distribution of low-pressure cores with the expansion pattern of the ITCZ shows very good adaptation.

Citation: Jafari, M. and Lashkari, H., 2021. The Role of InterTropical Convergence Zone (ITCZ) in the Development and Pattern of Sudanese Low-pressure Trough Expansion in Pervasive and Severe Rainfall in Southern Iran, *Res. Earth. Sci.* 12(3), (223-241) DOI: 10.48308/esrj.2021.101037

* Corresponding author E-mail address: h-lashkari@sbu.ac.ir





But in January and February, the cores condensed in the southeastern part of Sudan.

Expansion pattern Sudanese **low-pressure** first closed curve

The pattern of expansion of Sudanese low-pressure first closed curve with the trough pattern of the ITCZ shows very good adaptation in all months. The adaptation of the ITCZ trough and the pattern of expansion of the low-pressure internal core indicate that plays a significant role in the strengthening and flow pattern of Sudanese low-pressure.

Synoptic expansion pattern of Sudanese **low-pressure** trough axis

In all cases, and in all months, the extension of the low-pressure trough, especially on the Red Sea and the Bab al-Mandeb Strait, and even part of the Arabian Peninsula, is adaptation with the extension of the ITCZ trough.

Conclusion

During all the months of the rainy season, an ITCZ trough with a southwest-northeast direction extends from the Horn of Africa to northern Yemen. The pattern of expansion of Sudanese low-pressure trough, the pattern of nucleus distribution, and the extent of expansion of the first closed curve are fully adaptation with the monthly pattern of ITCZ expansion. This shows the undeniable role of ITCZ in the formation, expansion and supply moisture of rainfall systems. In January, in all three cases, the number of precipitation systems, the distribution effect area and the penetration depth of the input systems to the southern half of Iran are of primary importance. This could be related to the weaker thermodynamics of the Sudanese system at the beginning of its activity, the weak expansion of ITCZ in the region due to the westward position of the Arabian anticyclone at the beginning of the rainy season and the westward return at the end of the rainy season.

Keywords: ITCZ, Sudanese low-pressure, Arabian anticyclone, Pervasive precipitation systems, Southern half of Iran.



نقش منطقه همگرایی بین حاره‌ای (ITCZ) در تکوین و الگوی گسترش زبانه کم‌فشار سودانی در بارش‌های فراگیر و شدید جنوب ایران

مهناز جعفری؛ حسن لشکری*

۱- گروه جغرافیایی طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

(پژوهشی)

پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۷/۲۴ تأیید نهایی مقاله: ۱۴۰۰/۳/۵

چکیده

بارش‌های همرفتی شدید در نتیجه پتانسیل رطوبت‌پذیری بالا و دسترسی به منابع رطوبتی دریا‌های گرم جنوبی از ویژگی‌های بارشی سامانه کم‌فشار سودانی است که به خصوص بر روی کشورهای حاشیه جنوبی خلیج فارس، نیمه جنوبی و جنوب غربی ایران بسیار مشهود است. برخی از محققین منشا اولیه این سامانه را گسترش شمال‌سوی منطقه همگرایی بین حاره‌ای (ITCZ) در محدوده 25° تا 35° شرقی (آفریقای شرقی) و ایجاد یک هسته حرارتی بر روی جنوب سودان و اتیوپی می‌دانند. لذا هدف این تحقیق شناسایی ارتباط و انطباق گسترش شمال‌سوی زبانه کم‌فشار سودانی با الگوی گسترش شمال‌سوی ITCZ در هنگام وقوع بارش‌های فراگیر و شدید نیمه جنوبی ایران است. براساس معیارهای انتخابی، ۸۶ سامانه بارشی فراگیر در منطقه شناسایی شد. پس از ترسیم موقعیت متوسط ماهانه ITCZ، الگوی هسته مرکزی، اولین منحنی بسته شده و گسترش زبانه کم‌فشار سودانی برای روزهای بارشی سامانه‌ها، نتایج زیر حاصل شد. در تمام ماه‌ها زبانه‌ای از ITCZ در محدوده شاخ آفریقا با راستای جنوب غربی-شمال شرقی تا شمال یمن گسترش یافته است. الگوی گسترش زبانه‌های کم‌فشار سودان، پراکنش هسته‌ها و پهنه گسترش اولین منحنی بسته، کاملاً با الگوی ماهانه گسترش ITCZ انطباق دارد. این مسئله نقش غیرقابل انکار ITCZ را در تکوین، گسترش و تامین رطوبت سامانه‌های بارشی نشان می‌دهد. در ماه ژانویه تعداد سامانه‌های بارشی، پهنه اثر پراکنش و عمق نفوذ محور سامانه‌های ورودی به نیمه جنوبی ایران افزایش اما در ماه‌های نوامبر و آوریل کاهش یافته است. این مساله می‌تواند به ترمودینامیک ضعیف‌تر سامانه سودانی در ابتدای شروع فعالیت، گسترش ضعیف ITCZ بر روی منطقه بدلیل استقرار غرب‌سوی و اچرخند عربستان در ابتدای فصل بارشی و برگشت غرب‌سوی آن در انتهای دوره بارشی مرتبط باشد.

واژه‌های کلیدی: سامانه‌های بارشی فراگیر، کم‌فشار سودانی، منطقه همگرایی بین حاره‌ای، نیمه جنوبی ایران، و اچرخند عربستان.

مقدمه

گردش جوی متغیر می‌تواند بی‌نظمی‌های بسیاری در عناصر آب و هوایی ایجاد کند. به‌طور کلی، بی‌نظمی در مقدار، تداوم، و بزرگی عناصر آب و هوایی می‌تواند مربوط به سیستم آب و هوا و درجه ثابت آنها در الگوهای زمانی و مکانی گردش جوی باشد (Latysheva et al, 2007). بارش به عنوان یک عنصر آب و هوایی مهم دارای بی‌نظمی‌ها و نوسانات بسیاری است. چراکه توزیع متفاوت مراکز فشار و نوع آن‌ها در توزیع و کنترل زمانی و مکانی بارش نقش و اهمیت بسیاری دارد. لذا چگونگی استقرار و شدت و ضعف این مراکز مهم است. کشور ایران به ویژه نیمه جنوبی آن دارای نوسانات بارشی قابل توجه‌ای است. سامانه‌های جوی متعددی در شکل‌گیری بارش این منطقه از ایران نقش دارند. از جمله مهم‌ترین سامانه بارشی تاثیرگذار در بارش ایران سامانه سودانی است. لشکری (۱۳۷۵) با مطالعه ۵۲ مورد سامانه سیل‌زا، کم‌فشار سودان را مهم‌ترین سامانه بارشی در مناطق جنوبی ایران معرفی کرد. سامانه کم‌فشار سودانی یکی از عناصر سازنده گردش عمومی جو در شمال آفریقا می‌باشد که بیشتر ایام سال بر روی غرب اتیوپی و کشور سودان تشکیل می‌شود (لشکری، ۱۳۸۱؛ جوانمرد و همکاران، ۱۳۸۲؛ عساکره و همکاران، ۱۳۹۵). بیش از سه چهارم وسعت ایران مستقیماً از بارش‌های سامانه‌های کم‌فشار سودان متأثر می‌شوند. این سامانه منشا حاره‌ای داشته و زمانی که منطقه همگرایی بین حاره‌ای بین طول‌های ۲۰ تا ۳۵ درجه به سمت عرض‌های بالاتر کشیدگی پیدا می‌کند، سلولی از این کم‌فشار جدا شده و به طرف عرض‌های بالاتر حرکت می‌کند. تحت این شرایط سینوپتیکی، سلول کم‌فشاری بر روی شمال اتیوپی و جنوب سودان تشکیل می‌شود که به سامانه کم‌فشار سودان معروف است (لشکری،

۱۳۸۱). خطوط کم‌فشار سامانه سودانی، جنوب دریای سرخ، سودان و اتیوپی را در بر گرفته است و در ادامه مسیرشان به طرف شمال یا شمال شرق حرکت می‌کند که از مسیرهای مختلفی وارد ایران می‌شود و بارش‌های شدید و فراگیری را بر روی ایران ایجاد می‌کند (محمدی و همکاران، ۱۳۹۱؛ جوانمرد و همکاران، ۱۳۸۲). بارش‌های این سامانه نه تنها در ایران، بلکه در نواحی شرقی مدیترانه و حتی ترکیه تاثیرگذار است (فنودی و همکاران، ۱۳۹۶). سامانه کم‌فشار سودانی در فصل تابستان به صورت حرارتی و در فصل سرد سال (پائیز و زمستان) به صورت دینامیکی و در فصل بهار به هر دو صورت دینامیکی و حرارتی عمل می‌کند (فنودی و همکاران، ۱۳۹۶). مفیدی و زرین (۱۳۸۴) منبع اصلی رطوبت کم‌فشارهای سودانی را مناطق حاره‌ای شرق آفریقا و قطاع جنوب‌غربی دریای عرب می‌دانند. نتایج پرک و همکاران (۱۳۹۴) گویای نقش مهم سامانه‌های سودانی در ایجاد ترسالی و خشکسالی در نیمه جنوبی ایران است. لشکری (۱۳۸۲) نشان داد که بارش‌های سنگین جنوب و جنوب‌غرب ایران از چهار الگو پیروی می‌کنند. الگوی نوع اول ادغامی بوده و سامانه‌های سودانی - مدیترانه‌ای بر روی شرق مدیترانه و یا بر روی عراق با هم ادغام شده و به‌طور همزمان فعالیت می‌کنند که بارش‌های فراگیری از شمال‌غرب تا جنوب‌غرب ایجاد می‌کنند. در الگوهای دوم تا چهارم سامانه سودانی به تنهایی عمل کرده و سامانه مدیترانه‌ای یا فعال نبوده و یا نقش بسیار کمی در ایجاد بارش‌ها داشته است. محمدی و همکاران (۱۳۹۱) نشان دادند که در تمام توفان‌های جنوب‌غرب ایران، تاوایی نسبی تراز میانی پیش از رخداد توفان دارای دو مرکز بیشینه و یک مرکز کمینه است. مراکز بیشینه یکی در شرق دریای مدیترانه و دیگری در غرب دریای سرخ روی کشور سودان و مرکز کمینه

وضوح برای توصیف فرآیندهای اتمسفر و آب و هوای زمین در مقیاس جهانی بسیار اساسی است (Waliser and Gautier, 1993). همچنان‌که بررسی‌های روز به روز آن مشخص نموده است که منطقه همگرایی بین حاره‌ای در آفریقای شرقی به سمت شمال شرق حرکت می‌کند و در بارش‌های منطقه خاورمیانه تاثیرگذار است و عمدتاً در شمال سودان، اتیوپی و دریای سرخ قرار دارد (Hafez, Jafari and Lashkari, 2020). در طول سه دهه گذشته مطالعات متعددی در زمینه سازوکارهای همدیدی و دینامیکی حوزه نفوذ و عملکرد سامانه‌های جنوبی و تغییرات رفتاری آنها به عنوان سامانه‌های تاثیرگذار در بارش‌های ایران انجام شده است. بررسی دقیق‌تر این مطالعات نشان می‌دهد که چگونگی تکوین اولیه سامانه سودانی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. همچنین توجه کمتر در زمینه ارتباط این سامانه با پدیده بزرگ مقیاسی چون منطقه همگرایی بین حاره‌ای و نقشی که آن در تکوین، تقویت و تاثیر ترمودینامیکی بر سامانه سودانی داشته است دیده می‌شود. در مجموع تحقیقات انجام شده، در تعداد معدودی از آنها (لشکری، ۱۳۷۵) به نقش منطقه همگرایی بین حاره‌ای در تکوین سامانه سودانی اشاره شده است. در عین حال در عمده مطالعات نقش دریا‌های گرم عرب، عمان و دریای سرخ به عنوان منابع رطوبتی سامانه‌های سودانی مورد توجه بوده و کمتر به امکان تاثیرگذاری کمربند رطوبتی منطقه همگرایی بین حاره‌ای توجه شده است. حال آنکه در بررسی‌هایی که اخیراً در زمینه منابع رطوبتی این سامانه انجام شده احتمال داده شده است که رطوبت فرارفت شده به داخل سامانه‌های بارشی نیمه جنوبی ایران می‌تواند نتیجه جدایی شاخه‌ای از منطقه همگرایی بین حاره‌ای باشد (محمدی و لشکری، ۱۳۹۷). بنابراین تاکیداتی بر توجه به این

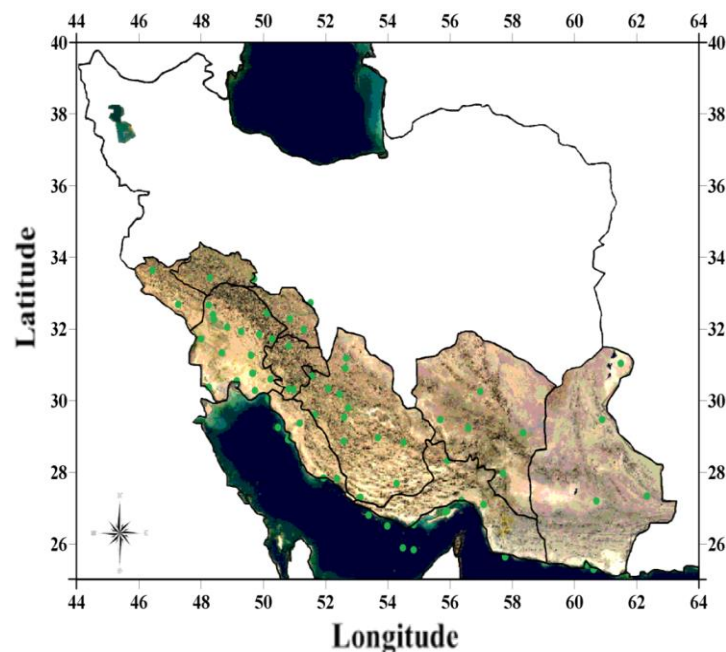
بر روی ایران مستقر است. همچنین همراه شدن جریان‌های باد با هسته‌های بیشینه نم‌ویژه در دریای سرخ، رطوبت لازم را برای توفان‌های مورد مطالعه فراهم نموده است. گندمکار (۱۳۹۱) در پژوهشی عامل اصلی و منشا بروز بارش‌های شدید و سیل‌زا را در شهر اصفهان، ورود سامانه کم‌فشار سودانی از جنوب غرب کشور به منطقه می‌داند. الفندی (Elfandy, ۱۹۵۰a) با ترسیم موقعیت فصلی نوسان‌های کم‌فشار موسمی سودان، تغییرات سالانه آن را چنین توضیح داده است. در طی فصول گذار (ماه‌های آوریل و اکتبر) این کم‌فشار روی مرکز سودان واقع است. در ماه ژانویه به عرض‌های پایین‌تر جابه‌جا و در جنوب اتیوپی مستقر می‌شود. این سامانه در اوایل تابستان با جابه‌جایی به سمت عرض‌های بالاتر تا شمال شرق سودان گسترش می‌یابد. برخی از مطالعات نشان داده‌اند در شرایط معمول زمستان، زبانه آن تا حدود ۲۰ درجه عرض شمالی کشیده می‌شود. این زبانه کم‌فشار و بدون جبهه را ناوه دریای سرخ (Red sea trough) نامگذاری کرده‌اند (Krichak et al, 1997a, 1997b; Alpert, 2004). تحقیق‌های اولیه حاکی از آن است که این کم‌فشارها یاخسته‌های جدا شده از منطقه همگرایی بین حاره‌ای (ITCZ) هستند (Solot, 1950; Johnson, 1965). منطقه همگرایی بین حاره‌ای یکی از ویژگی‌های مهم اقلیم-شناسی فضای جهانی است (Hastenrath, 1995) که نقش مهمی در بارندگی‌های موسمی دارد (Mukherjee et al, 2016). همچنین برای مدت طولانی کنترل‌کننده عمده بارندگی‌های گرمسیری در هر دو اقیانوس و زمین فرض شده است (Nicholson, 2018) و به عنوان مهم‌ترین عامل بارندگی سالانه، یک پارامتر مهم برای مطالعات اقلیمی در این مناطق به کار می‌رود (Chen et al, 2008). درک موقعیت، ساختار و مهاجرت آن به

کمر مورد توجه بوده است. از این رو در این مطالعه چگونگی تقابل این دو سامانه و نحوه تاثیرگذاری آن در بارش‌های ناشی از سامانه‌های سودانی در نیمه جنوبی ایران مورد بررسی قرار گرفته است. برای انجام این پژوهش از دو دسته داده، شامل داده‌های بارش روزانه ایستگاه‌های هواشناسی موجود در منطقه مورد مطالعه برگرفته از سازمان هواشناسی ایران و داده‌های شبکه‌بندی شده فشار سطح زمین (SLP) و نم ویژه (q) تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال ERA interim با قدرت تفکیک مکانی ۰/۵ در ۰/۵ درجه طول و عرض جغرافیایی از مرکز پیش بینی‌های میان مدت اروپا (ECMWF) طی دوره آماری ۱۹۹۷-۲۰۱۷ استفاده شده است. داده‌های بارش از ۷۱ ایستگاه هواشناسی واقع در نیمه جنوبی ایران استخراج شده است (جدول ۱). پراکنش ایستگاه‌های مورد استفاده در مطالعه در شکل ۱ قابل مشاهده است. تلاش بر این بوده است که ایستگاه‌ها طوری انتخاب شوند که علاوه بر اینکه پراکنش مناسب در نیمه جنوبی ایران داشته باشد دوره آماری منتخب (۲۰۱۷-۱۹۹۷) را شامل شود.

سامانه شده است. مجموع این دلایل سبب شده است که تقابل میان منطقه همگرایی بین حاره‌ای و کم‌فشار سودان به عنوان عاملی تاثیرگذار در بارش‌های نیمه جنوبی ایران در این تحقیق مورد توجه قرار بگیرد. این تحقیق می‌تواند ضمن توسعه ادبیات اقلیمی کشور ایران و منطقه، در زمینه منطقه همگرایی بین حاره‌ای به عنوان یک سامانه بزرگ مقیاس و وارد کردن این سامانه در ادبیات اقلیمی ایران، به برخی سوالات در زمینه ناهنجاری‌های بارشی که بعضاً در نیمه جنوبی کشور اتفاق می‌افتد پاسخ دهد.

مواد و روش‌ها

در مطالعات متعدد به نقش کم‌فشار سودان در بارش‌های ایران به‌ویژه جنوب‌غربی آن اشاره شده است (جعفری و لشکری، ۱۴۰۰). حال آنکه موقعیت کمربند منطقه همگرایی بین حاره‌ای در شرق آفریقا و در محدوده کشورهای اتیوپی و سودان که مکان شکل‌گیری سامانه سودانی است



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه و پراکنش ایستگاه‌ها در نیمه جنوبی ایران

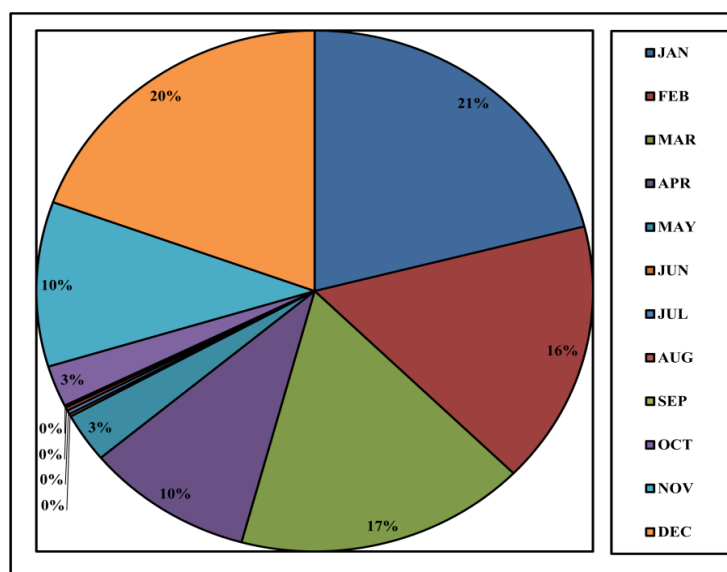
جدول ۱: ایستگاه‌های مورد استفاده در پژوهش و موقعیت جغرافیایی آنها

ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع	ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع	ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع
اهواز	۳۱ ۲۰	۴۸ ۴۰	۲۲/۵	شیراز	۲۹ ۳۲	۵۲ ۳۶	۱۴۸۸	بندرعباس	۲۷ ۱۳	۵۶ ۲۲	۹/۸
ایلام	۳۳ ۳۸	۴۶ ۲۶	۱۳۳۷	بوشهر	۲۸ ۵۸	۵۰ ۴۹	۹	میناب	۲۷ ۶	۵۷ ۵	۲۹/۶
خرم آباد	۳۳ ۲۶	۴۸ ۱۷	۱۱۴۷/۸	یاسوج	۳۰ ۴۱	۵۱ ۲۳	۱۸۱۶/۳	جزیره سیری	۲۵ ۵۳	۵۴ ۲۹	۴/۴
شهرکرد	۳۲ ۱۷	۵۰ ۵۱	۲۰۴۸/۹	درودزن	۳۰ ۱۱	۵۲ ۲۷	۱۶۴۲	جزیره قشم	۲۶ ۵۵	۵۵ ۵۵	۱۲/۸
بروجن	۳۱ ۵۹	۵۱ ۱۸	۲۲۶۰	آباده	۳۱ ۱۱	۵۲ ۴۰	۲۰۳۰	ابوموسی	۲۵ ۵۰	۵۴ ۵۰	۶/۶
کوه‌رنگ	۳۲ ۲۶	۵۰ ۷	۲۳۶۵	بندر دیبر	۲۷ ۵۰	۵۱ ۵۶	۴	لار	۲۷ ۴۱	۵۴ ۱۷	۷۹۲
بندر ماهشهر	۳۰ ۳۳	۴۹ ۹	۶/۲	جم	۲۷ ۴۹	۵۲ ۲۲	۶۵۵	بم	۲۹ ۶	۵۸ ۲۱	۱۰۶۶/۹
بهبهان	۳۰ ۳۶	۵۰ ۱۴	۳۱۳	دوگنبدان	۳۰ ۲۰	۵۰ ۴۹	۷۲۶	ایرانشهر	۲۷ ۱۲	۶۰ ۴۲	۵۹۱/۱
بستان	۳۱ ۴۳	۴۸ ۰۰	۷/۸	فسا	۲۸ ۵۸	۵۳ ۴۱	۱۲۶۸	سراوان	۲۷ ۲۰	۶۲ ۲۰	۱۱۸۲
مسجد سلیمان	۳۱ ۵۶	۴۹ ۱۷	۳۲۰/۵	حسن آباد (داراب)	۲۸ ۵۰	۵۴ ۳۰	۱۰۹۸/۲	بافت	۲۹ ۱۴	۵۶ ۳۵	۲۲۸۰
رامهرمز	۳۱ ۱۶	۴۹ ۳۶	۱۵۰/۵	لامرد	۲۷ ۱۸	۵۳ ۷	۴۱۱	بندر لنگه	۲۶ ۳۲	۵۴ ۵۰	۲۲/۷
صفی آباد (دزفول)	۳۲ ۱۶	۴۸ ۲۵	۸۲/۹	بوشهر (ساحلی)	۲۸ ۵۴	۵۰ ۴۹	۸/۴	جاسک	۲۵ ۲۸	۵۷ ۴۶	۵/۲
آبادان	۳۰ ۲۲	۴۸ ۱۵	۶/۶	بوشهر (فرودگاه)	۲۸ ۵۵	۵۰ ۴۸	۹	چاه بهار	۲۵ ۱۷	۶۰ ۳۷	۸
ایذه	۳۱ ۵۱	۴۹ ۵۲	۷۶۷	اقلید	۳۰ ۵۴	۵۲ ۲۸	۲۳۰۰	زابل	۳۱ ۲	۶۱ ۲۹	۴۸۹/۲
امیدیه (آغاچاری)	۳۰ ۴۶	۴۹ ۴۰	۲۷	زرقان	۲۹ ۴۷	۵۲ ۴۳	۱۵۹۶	زاهدان	۲۹ ۲۸	۶۰ ۵۳	۱۳۷۰
شوشتر	۳۲ ۳	۴۸ ۵۰	۶۷	امامزاده جعفر	۳۰ ۱۸	۵۰ ۵۸	۶۶۸	سیرجان	۲۹ ۲۸	۵۵ ۴۱	۱۷۳۹/۴
لردگان	۳۱ ۳۱	۵۰ ۴۹	۱۶۱۱	بندر دیلم	۳۰ ۳	۵۰ ۱۰	۳/۹	کرمان	۳۰ ۱۵	۵۶ ۵۸	۱۷۵۴
الیگودرز	۳۳ ۲۴	۴۹ ۴۲	۲۰۲۲/۱	سپیدان	۳۰ ۲۰	۵۲ ۵	۲۲۰۱	کنارک (فرودگاه)	۲۵ ۲۶	۶۰ ۲۲	۱۲
امیدیه (فرودگاه)	۳۰ ۴۶	۴۹ ۳۹	۳۴/۹	کازرون	۲۹ ۳۶	۵۱ ۳۹	۸۴۰	کهنوج	۲۷ ۵۸	۵۷ ۴۲	۴۹۹
دزفول (فرودگاه)	۳۲ ۲۴	۴۸ ۲۳	۱۴۳	برازجان	۲۹ ۲۲	۵۱ ۱۰	۸۹/۹	کیش	۲۶ ۳۰	۵۳ ۵۹	۳۰
دهلران	۳۲ ۴۱	۴۷ ۱۶	۲۳۲	جزیره خارک	۲۹ ۱۵	۵۰ ۲۸	۴/۳	حاجی آباد	۲۸ ۱۹	۵۵ ۵۵	۹۳۱/۲
هندیجان	۳۰ ۱۷	۴۹ ۴۴	۳	فیروزآباد	۲۸ ۵۲	۵۲ ۳۵	۱۲۶۲	قشم (ساحلی)	۲۶ ۵۳	۵۵ ۵۰	۶
سامان	۳۲ ۴۴	۵۰ ۹۱	۲۰۷۵	حسینیه	۳۲ ۴۰	۴۸ ۱۵	۳۵۴	جزیره لاوان	۲۶ ۴۸	۵۳ ۲۳	۲۲/۲
اهواز (کشاورزی)	۳۱ ۲۰	۴۸ ۴۰	۱۲	دهدز	۳۱ ۴۳	۵۰ ۱۷	۱۴۵۷				

حداقل ۵ میلیمتر و بیشتر بارش ثبت شده باشد (به منظور اجتناب از امکان انتخاب بارش‌های محلی). معیار فراگیری: حداقل در بیش از نیمی از ایستگاه‌های منطقه بارش رخ داده باشد (به منظور اجتناب از انتخاب بارش‌های محلی و همرفتی). معیار جهت (مدخل ورود): با توجه به این که سامانه‌های بارشی این منطقه عموماً از سمت جنوب یا جنوب‌غرب وارد منطقه می‌شوند. برای انتخاب سامانه بارشی لزوماً باید در یکی از جنوبی‌ترین ایستگاه‌ها بارش رخ داده باشد. معیارهای سه‌گانه از این جهت استفاده شدند تا از این طریق اطمینان حاصل شود که بارش حاصله نتیجه ورود یک سامانه بارشی به منطقه بوده است. به این ترتیب و در مجموع ۸۶ سامانه بارشی فراگیر در منطقه مورد مطالعه حاصل شد. تعداد سامانه‌های بارشی هر یک از ماه‌های سال در جدول ۲ ارائه شده است. همان‌طور که مشخص است در ماه‌های می و اکتبر هیچ سامانه فراگیری که حداقل مطابق با معیارهای گزینش شده در مطالعه باشد، در منطقه رخ نداده است.

از آنجا که هدف در این مطالعه بررسی نقش دو سامانه کم‌فشار سودان و منطقه همگرایی بین حاره‌ای در بارش‌های فراگیر نیمه جنوبی ایران است، در گام نخست بررسی و استخراج سامانه‌های بارشی فراگیر در این منطقه در طی دوره آماری مورد مطالعه نیاز است. بنابراین سامانه‌های بارشی برای ۸ ماه دوره سرد سال (اکتبر تا می) استخراج گردیده است. در این تحقیق از ماه‌های فصل گرم (ژوئن تا سپتامبر) به سبب فقدان بارش قابل توجه و همچنین عدم فعالیت سامانه سودانی به شکل دینامیکی در ماه‌های گرم سال، صرف نظر شده است (شکل ۲). به منظور انتخاب سامانه‌های بارشی منطقه، پس از انتخاب پایه آماری مشترک، داده‌های ایستگاه‌ها به صورت سری زمانی از ابتدای دوره آماری (۱۹۹۷) تا انتهای آن (۲۰۱۷) مرتب گردیدند. سپس با اعمال معیارهای زیر سامانه‌های بارشی استخراج گردید. معیارهای مورد استفاده برای گزینش و استخراج سامانه‌های بارشی به شرح زیر است:

(۱) معیار شدت: حداقل در یکی از ایستگاه‌های منطقه و در یکی از روزهای رخداد سامانه بارشی،



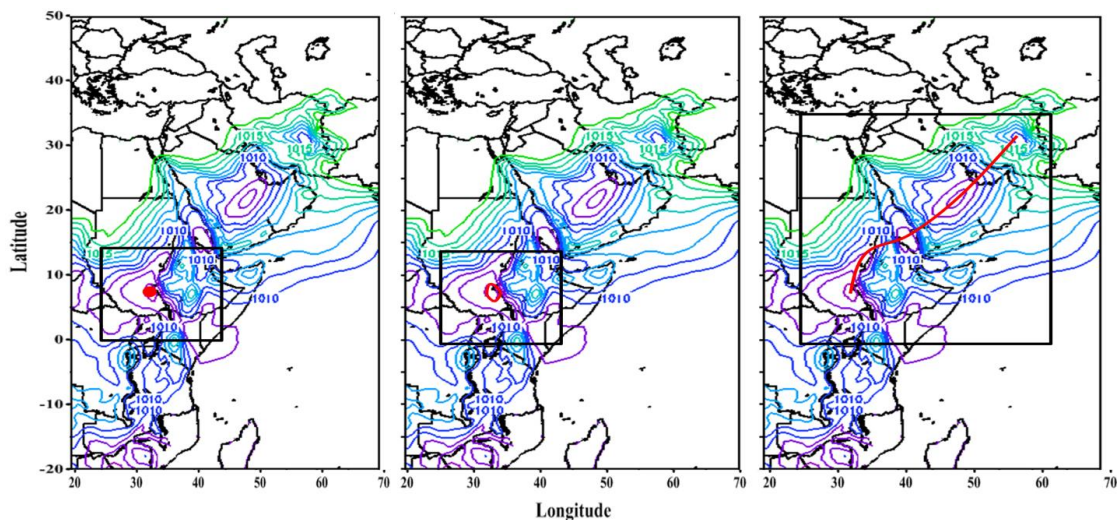
شکل ۲: میانگین ماهانه بارش در نیمه جنوبی ایران

جدول ۲: تعداد سامانه‌های بارشی و پراکنش ماهانه آن در منطقه مورد مطالعه

تعداد سامانه‌های بارشی	ماه
۷	نوامبر
۱۲	دسامبر
۲۹	ژانویه
۱۵	فوریه
۱۸	مارس
۵	آوریل

روز بارشی دو نقشه تهیه گردید. در ادامه با روی هم‌گذاری نقشه‌های ترسیم شده به ترتیب سامانه‌های رخ داده، الگوی موقعیت هسته مرکزی، گسترش اولین منحنی بسته در اطراف هسته مرکزی و گسترش هم‌دید زبانه کم‌فشار سودان شناسایی و استخراج گردید (شکل ۳). به این شکل جابه‌جایی و گسترش کم‌فشار سودان در سامانه‌های بارشی فراگیر هر ماه تعیین شد.

پس از انتخاب سامانه‌های بارشی، در گام بعدی، موقعیت سامانه سودانی در منطقه شکل‌گیری آن و در ادامه گسترش هم‌دید آن بر پایه گردش عمومی جو بر روی مناطق مجاور بررسی شده است. این ارزیابی در زمان رخداد هر یک از سامانه‌ها و به صورت ماهانه انجام شده است. برای این منظور ابتدا نقشه‌های ۱۲ ساعته SLP برای تمامی روزهای هر سامانه بارشی ترسیم شد. به این صورت که برای هر



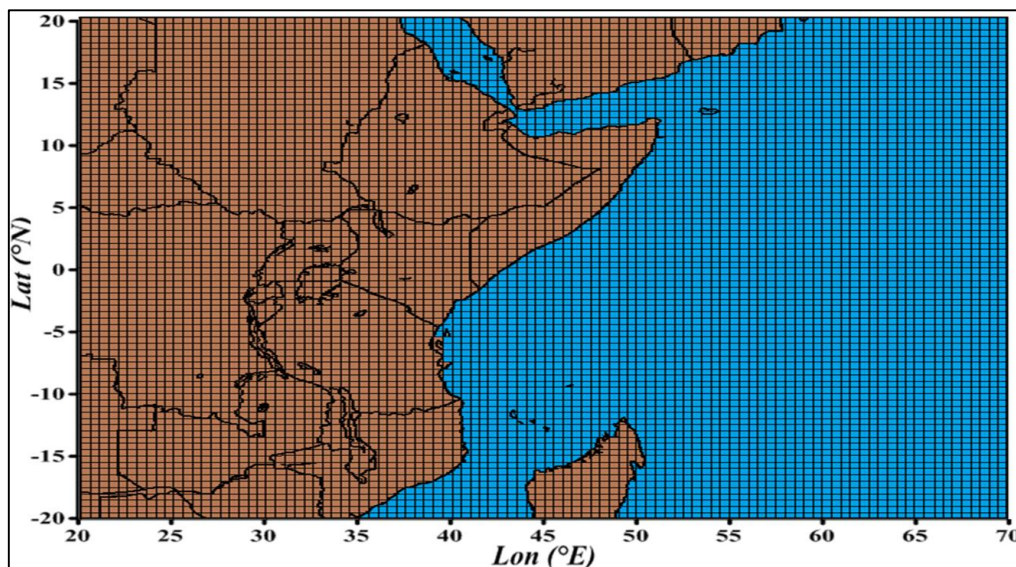
شکل ۳: نحوه شناسایی و تعیین موقعیت: هسته مرکزی (چپ)، گسترش اولین منحنی بسته در اطراف هسته مرکزی (وسط) و گسترش هم‌دید زبانه سامانه کم‌فشار سودان (راست).

این سامانه در رطوبت فرارفت شده به داخل سامانه‌های بارشی نیمه جنوبی ایران است. تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال نیز به این منظور گزینش شده است که شرایط هم‌دید تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال مناسب‌ترین تراز برای مطالعه فرارفت رطوبت از

در گام نهایی موقعیت منطقه همگرایی بین حاره‌ای با استفاده از متغیر نم ویژه تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال در منطقه حاره برای سامانه‌های هر ماه شناسایی گردید. انتخاب نم ویژه برای شناسایی موقعیت منطقه همگرایی بین حاره‌ای به سبب احتمال تاثیر

منطقه همگرایی بین حاره‌ای به درون سامانه‌های سودانی می‌باشد. زیرا بارش تنها در ستون بخار آب جزئی از ۸۵۰-۲۰۰ هکتوپاسکالی تولید شود، در حالی که در زیر لایه ابر (زیر ۹۵۰ هکتوپاسکال) بخار آب نسبتاً کمی در میزان بارش تاثیر دارد. همچنین نیمرخ میانگین نم ویژه بر روی بارش نشان می‌دهد که عمدتاً رطوبت جو آزاد، بیش از رطوبت لایه مرزی با بارش ارتباط دارد و با افزایش بارندگی، افزایش می‌یابد. به عبارتی ارتباط قوی بین بارندگی و تغییر رطوبت در تروپوسفر آزاد، و ارتباط کمتر با تغییرات آن در لایه مرزی وجود دارد (Holloway and Neelin, 2009). براساس مطالعات متعدد انجام شده توسط کریمی (۱۳۸۶)، کریمی و فرج زاده (۱۳۹۰)، کریمی و همکاران (۱۳۹۵) و فرج زاده و همکاران (Farajzadeh et al, 2007)، لایه زیرین جو مناسب‌ترین لایه برای فرارفت رطوبت از دریا‌های گرم عمان، عرب و دریای سرخ بدرون سامانه سودانی است. همچنین مطالعات لشکری و همکاران (۱۳۹۵) و جعفری و لشکری (Jafari and

Lashkari, 2020) نشان داده است که گاهی رطوبت فرارفت شده از منطقه همگرایی بین حاره‌ای در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال نقش مهمی در تشدید و تقویت سامانه‌های سودانی است. روش مورد استفاده برای شناسایی منطقه همگرایی بین حاره‌ای به نحوی است که ابتدا مقادیر نم ویژه تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال در هر یک از نقاط شبکه 0.5° در 0.5° (۸۱۸۱ نقطه) درجه استخراج شد (شکل ۴). از آنجا که اغلب معیاری به عنوان آستانه برای عنصر یا عناصر اقلیمی انتخابی برای مکان‌یابی منطقه همگرایی بین حاره‌ای تعیین می‌نمایند (Lashkari and Jafari, 2021a, b)، از این رو در این مطالعه آستانه 6 g(kg)^{-1} تعیین شد تا از این طریق بتوان خط ممتدی را به عنوان مکان تقریبی این سامانه در نظر گرفت. در نهایت با مقادیر مستخرج، نقشه‌های موقعیت و گسترش منطقه همگرایی بین حاره‌ای و کم‌فشار سودان در سامانه‌های بارشی فراگیر هر ماه به‌طور جداگانه ترسیم شد.



شکل ۴: محدوده شبکه‌بندی شده 0.5° در 0.5° درجه برای استخراج مقادیر نم ویژه به منظور شناسایی منطقه همگرایی بین حاره‌ای (ITCZ).

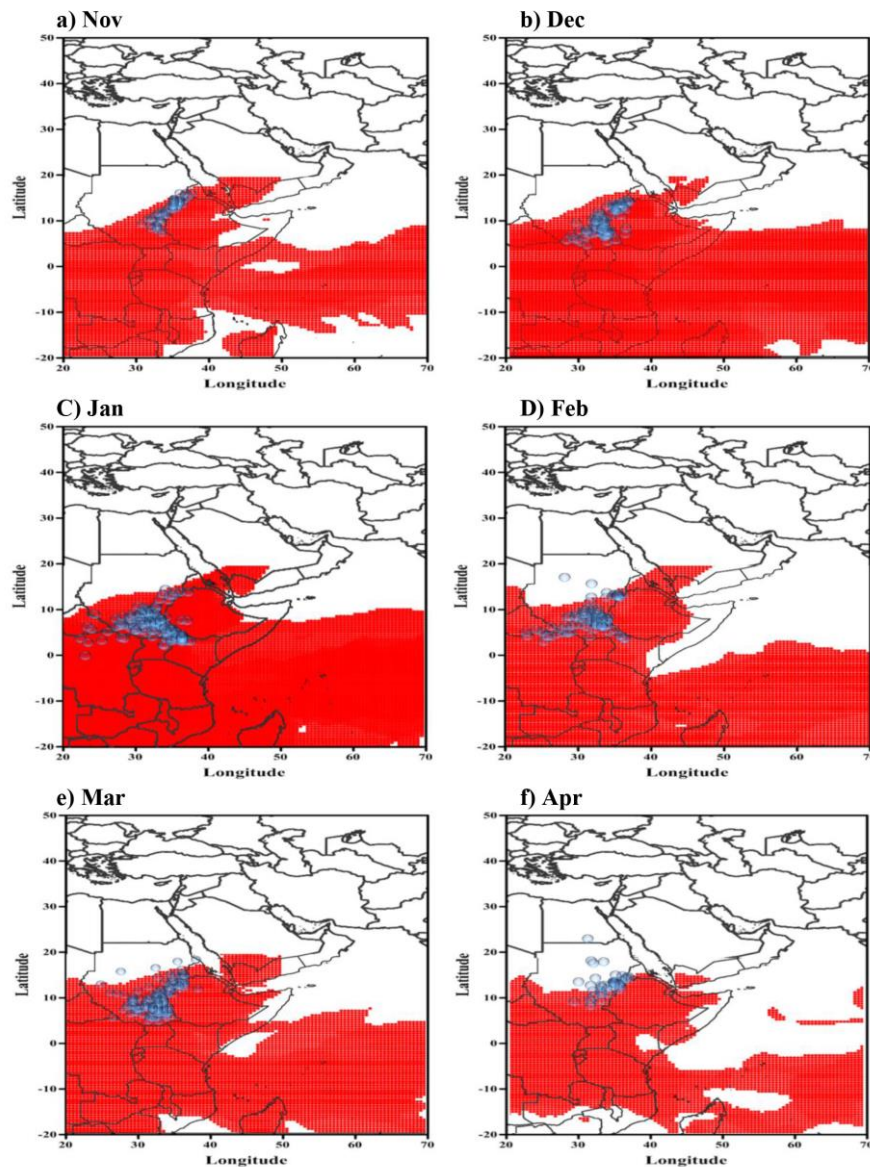
بحث و نتایج

همان‌طور که بیان شد در این تحقیق هدف تعیین میزان انطباق و همچنین نقش منطقه همگرایی بین حاره‌ای در تامین رطوبت، تکوین و تقویت سامانه‌های سودانی است. به همین دلیل این ارتباط در سه شکل کلی برای نمونه‌های بارشی انتخابی مورد بررسی قرار گرفته است.

الگوی گسترش هسته مرکزی کم‌فشار سودانی

در بررسی اول میزان انطباق و همراهی هسته مرکزی کم‌فشار سودان با منطقه همگرایی بین حاره‌ای در تمام نمونه‌های بارشی در ۶ ماه بارشی منطقه جنوبی ایران مورد توجه بوده است. شکل شماره ۵(a-f) موقعیت هسته مرکزی کم‌فشار سودان و همچنین الگوی گسترش منطقه همگرایی بین حاره‌ای را در هریک از ماه‌ها نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود در تمام ماه‌های دوره بارشی، منطقه‌ای بین مرز شرقی سودان و اتیوپی محل تمرکز هسته مرکزی کم‌فشار سودان است. در ماه‌های نوامبر، دسامبر، مارس و آوریل الگوی پراکنش هسته‌های کم‌فشار با الگوی کشیدگی منطقه همگرایی بین حاره‌ای انطباق بسیار خوبی را نشان می‌دهد. ولی در ماه‌های ژانویه و فوریه هسته‌ها در بخش جنوب‌شرقی سودان متراکم شده‌اند. با این همه تمرکز اصلی در تمام ماه‌ها، همچنان در بخش جنوبی سودان است. از لحاظ پراکنش ماهانه سامانه‌های ورودی، پراکنش آن‌ها از نوامبر به تدریج افزایش یافته است و در ماه ژانویه به بالاترین فراوانی خود می‌رسد. در ماه فوریه تعداد سامانه‌های بارشی ورودی به نیمه جنوبی ایران کاهش یافته است و در ماه مارس مجدداً افزایش چشمگیری را نشان می‌دهد. براساس الگوی کلی گردش عمومی جو در منطقه خاورمیانه، از ماه

مارس فراوانی سامانه‌ها روند کاهشی دارند. این نتیجه با نتایج لشکری و محمدی (Lashkari and Mohammadi, 2018) که بیان کرده‌اند در ماه فوریه مقادیر بارش متوسط ماهانه در جنوب‌غرب نسبت به دو ماه قبل و بعد از خود کاهش معناداری نشان می‌دهد، مطابقت دارد. همان‌طور که دیده می‌شود در تمام ۶ ماهه دوره بارشی در طول جغرافیایی ۲۵ تا ۴۵ درجه شرقی (بخش جنوبی کشور سودان و اتیوپی)، شاخه‌ای از منطقه همگرایی بین حاره‌ای با امتداد جنوب‌غربی-شمال‌شرقی به سمت نیمه جنوبی دریای سرخ کشیدگی پیدا کرده است و در محدوده تنگه باب المندب و جنوب دریای سرخ وارد یمن و جنوب عربستان می‌گردد. همان‌طور که بیان شد برای آشکارسازی منطقه همگرایی بین حاره‌ای شاخص‌های متعددی وجود دارد که در این تحقیق از شاخص نم ویژه تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال برای تعیین محدوده اثر منطقه همگرایی بین حاره‌ای استفاده شده است. انطباق بسیار خوب الگوی گسترش منطقه همگرایی بین حاره‌ای با الگوی گسترش هسته‌های کم‌فشار سودان نقش غیرقابل انکار منطقه همگرایی بین حاره‌ای را در تامین بخشی از رطوبت سامانه‌های سودانی ورودی به جنوب ایران تایید می‌نماید. از ماه نوامبر به ماه دسامبر و ژانویه پهنه گسترش منطقه همگرایی بین حاره‌ای افزایش پیدا کرده و همچنین از همگنی خوبی برخوردار است. در ماه ژانویه منطقه همگرایی بین حاره‌ای بالاترین پهنه و یکپارچگی را دارد. از ماه ژانویه پهنه گسترش و یکپارچگی منطقه همگرایی بین حاره‌ای به خصوص بر روی اقیانوس هند کاهش می‌یابد.



شکل ۵: الگوی ماهانه گسترش هسته مرکزی کم‌فشار سودانی و منطقه همگرایی بین حاره‌ای (ITCZ) در روزهای بارشی.

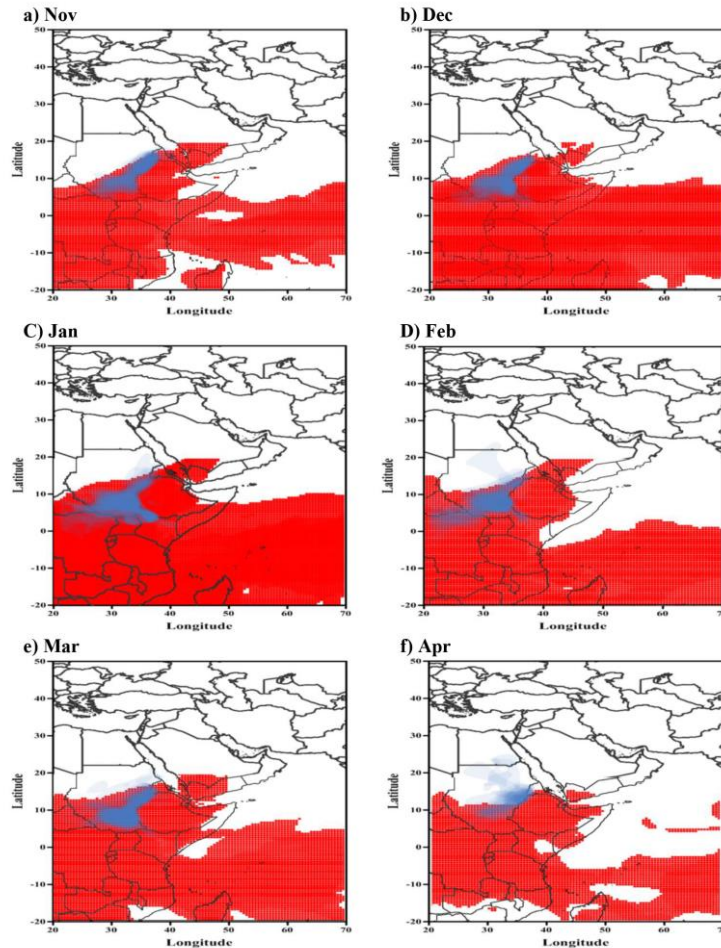
منحنی بسته شده اطراف کم‌فشار سودان در روزهای بارشی نمونه‌های انتخابی (۸۶ نمونه بارشی فراگیر) ترسیم گردیده و با الگوی گسترش منطقه همگرایی بین حاره‌ای مورد مقایسه قرار گرفته است. همان‌طور که دیده می‌شود الگوی گسترش و کشیدگی اولین منحنی بسته شده کم‌فشار سودان با الگوی زبانه منطقه همگرایی بین حاره‌ای در تمام ماه‌ها و در تمام روزهای سامانه‌های انتخابی انطباق بسیار خوبی را نشان می‌دهد. اولین منحنی بسته

الگوی گسترش اولین منحنی بسته شده کم‌فشار سودانی

شکل شماره ۶(a-f) الگوی گسترش اولین منحنی بسته شده کم‌فشار سودانی در اطراف هسته مرکزی را در دوره بارشی ۶ ماهه در نیمه جنوبی ایران نشان می‌دهد. در این بخش از تحقیق برای شناسایی میزان ارتباط الگوی گسترش کم‌فشار سودان با الگوی گسترش زبانه منطقه همگرایی بین حاره‌ای در شرق آفریقا و شبه جزیره عربستان، اولین

هسته داخلی کم فشار بیانگر آن است که منطقه همگرایی بین حاره‌ای نقش قابل توجهی در تقویت و الگوی جریان کم فشار سودانی ایفا می‌کند.

شده اطراف کم فشار (سیکلون) بیانگر الگوی جریان داخلی سامانه و تمایل جریانات و سامانه در آن امتداد می‌باشد. هم جهتی و انطباق کشیدگی و زبانه منطقه همگرایی بین حاره‌ای و الگوی گسترش



شکل ۶: الگوی ماهانه گسترش اولین منحنی بسته شده کم فشار سودانی و منطقه همگرایی بین حاره‌ای (ITCZ) در روزهای بارشی.

مسیرهای ورود آن به ایران در ۸۶ سامانه بارشی فراگیر بررسی شده است. در یک نگاه کلی انطباق بسیار جالب امتداد زبانه‌های کم فشار سودان با امتداد کشیدگی منطقه همگرایی بین حاره‌ای در دوره سرد سال بر روی منطقه به چشم می‌خورد. در تمام موارد و در تمام ماه‌ها امتداد زبانه‌های کم فشار به خصوص بر روی دریای سرخ و تنگه باب

الگوی گسترش همدیدی محور زبانه کم فشار سودانی

در این بخش از تحقیق ضمن بررسی میزان انطباق و هم جهتی الگوی گسترش همدیدی زبانه کم فشار سودانی با الگوی گسترش منطقه همگرایی بین حاره‌ای، الگوی گسترش محور زبانه کم فشار سودانی و امتداد آن‌ها بر روی ایران و همچنین

دارند. تعدادی از محورها به تدریج از روی شمال یمن و جنوب عربستان تغییر جهت داده و ابتدا با جهتی جنوبی-شمالی، تا جنوب عراق امتداد یافته‌اند و در ادامه به سمت غرب ایران و گاه به سمت غرب تغییر جهت داده‌اند. بررسی روی نقشه‌های همدیدی بیانگر این مساله بود که در اینگونه سامانه‌ها سیکلون‌های مدیترانه‌ای و کم‌فشار سودانی بر روی شرق مدیترانه تا غرب ایران ادغام شده بودند (شکل ۷b). ماه ژانویه: بیشترین فراوانی سامانه‌های ورودی در این ماه است. تفاوت چشمگیری که در الگوی ورود و گسترش محور سامانه‌های این ماه نسبت به ماه‌های قبل مشاهده می‌شود در عمق نفوذ و پهنه گسترش محورها است. با این همه تراکم محورها در نیمه میانی و شرقی بیشتر است. جابه‌جایی شرق سوی واچرخند عربستان مهم‌ترین عامل تمایل محورها و زبانه‌های کم‌فشار به سمت جنوب‌میانی و جنوب‌شرق کشور است. تفاوت بارز دیگر در این ماه این است که تعداد زیادی از سامانه‌ها بعد از ورود به ایران امتدادی جنوبی-شمالی پیدا می‌کنند. در این ماه تمام سامانه‌ها بعد از ورود به ایران علاوه بر این که تمام عرض کشور ایران را طی کرده‌اند، عموماً از آن خارج شده و در همان امتداد وارد کشورهای همجوار شده‌اند. بنابراین عمق نفوذ سامانه سودانی بر روی ایران به شدت افزایش یافته است. در نتیجه سامانه سودانی در این ماه هم از لحاظ ترمودینامیکی قوی‌تر است و هم با گسترش جنوب سوی عمیق ناوه‌ها، از لحاظ دینامیکی نیز قوی‌تر از ماه‌های قبل عمل کرده است. پهنه ورود سامانه سودانی در محدوده‌ای بین جنوب‌شرق ایران تا مرکز مدیترانه است. همان‌طور که دیده می‌شود تعدادی از سامانه‌ها قبل از دریای سرخ با امتدادی جنوبی-شمالی پس از عبور از روی مصر وارد دریای مدیترانه شده‌اند. تعداد قابل توجهی نیز در

المنذب و حتی بخشی از شبه جزیره عربستان، با امتداد و زبانه منطقه همگرایی بین حاره‌ای کاملاً منطبق است (شکل ۷a-f).

- ویژگی‌های کلی زبانه‌های کم‌فشار ورودی به ایران در ماه‌های بارشی به شرح زیر است:

(۱) در تمام ماه‌ها زبانه‌های کم‌فشار در محدوده‌ای بین جنوب‌شرق تا غرب وارد ایران شده‌اند.

(۲) در تمام ماه‌ها تمرکز اصلی محورهای زبانه کم‌فشار بر روی تنگه هرمز تا جنوب‌غرب ایران است.

(۳) در تمام ماه‌ها در محدوده تکوین کم‌فشار سودان (جنوب سودان و اتیوپی تا جنوب دریای سرخ)، مسیر زبانه کم‌فشار سودانی و زبانه منطقه همگرایی بین حاره‌ای کاملاً بر هم منطبق هستند.

(۴) در بیش از نیمی از موارد سامانه سودانی بعد از ورود به ایران در امتدادی جنوب‌غربی-شمال‌شرقی، محدوده سه چهارم شرقی کشور را در برمی‌گیرد.

- تفاوت‌های ماهانه سامانه‌های ورودی به کشور نیز به شرح زیر است:

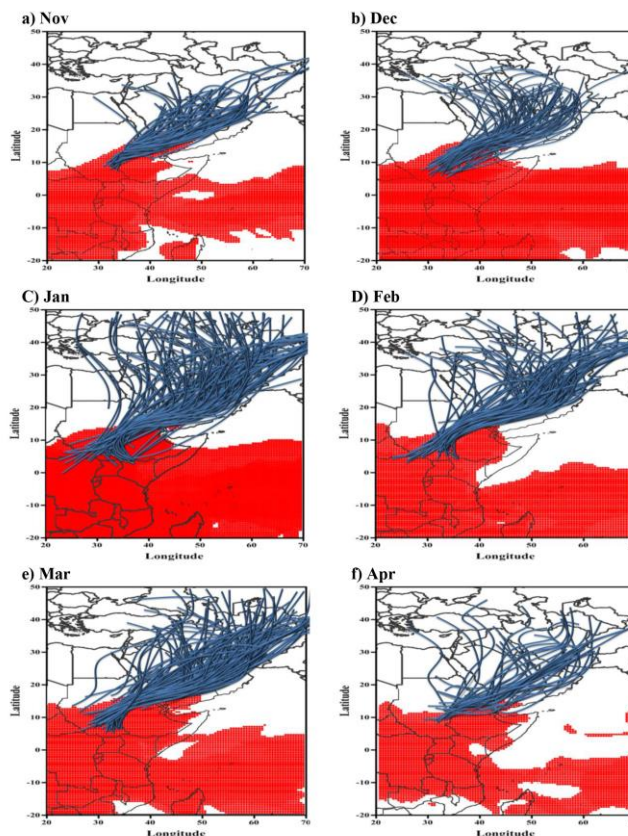
ماه نوامبر: سامانه‌های ورودی عموماً در محدوده‌ای بین جنوب‌غرب تا جنوب‌شرق وارد ایران می‌شوند. همان‌طور که دیده می‌شود عمده این سامانه‌ها در محدوده رشته کوه‌های زاگرس جنوبی خاتمه پیدا کرده‌اند و به ندرت به سمت مرکز و شمال‌شرق کشور گسترش دارند. این مساله می‌تواند به ترمودینامیک ضعیف‌تر سامانه سودانی در ابتدای شروع فعالیت و عمق کمتر امواج غربی در اولین ماه بعد از اعتدالین بر روی منطقه باشد (شکل ۷a).

ماه دسامبر: فراوانی سامانه‌ها و پهنه ورود آن‌ها در این ماه افزایش یافته است. به‌طوری که سامانه‌های سودانی در محدوده‌ای بین جنوب‌شرق تا غرب ایران می‌توانند وارد ایران شوند. عمق نفوذ سامانه سودانی به داخل کشور افزایش یافته است. به‌طوری که محور زبانه‌ها تا نزدیک خراسان نیز گسترش

ماه مارس: تعداد سامانه‌های ورودی در این ماه افزایش پیدا کرده است. تمایل بیشتر محورها به سمت جنوب‌میانی است. تقریباً تمام سامانه‌ها بعد از ورود به ایران کاملاً مسیر جنوب‌غربی-شمالی شرقی را ادامه می‌دهند. با وجود این که در ماه فوریه واچرخند عربستان قدری جابه‌جایی غرب سو دارد ولی در ماه مارس مجدداً جابه‌جایی شرق سوی خود را پیدا کرده است و تقریباً در همان موقعیت شرایط ماه ژانویه قرار می‌گیرد (شکل ۷e). ماه آوریل: به دلیل جابه‌جایی غرب سوی واچرخند عربستان تعداد سامانه‌های ورودی در این ماه به شدت کاهش یافته و همچنین به دلیل تضعیف سامانه‌های ورودی عمق نفوذ آنها نیز به شدت کم شده است (شکل ۷f).

محدوده‌ای بین مرکز عربستان تا دریای سرخ کاملاً امتدادی جنوبی-شمالی پیدا کرده و از سمت غرب یا شمال‌غرب، ایران را تحت تاثیر قرار داده‌اند (شکل ۷c).

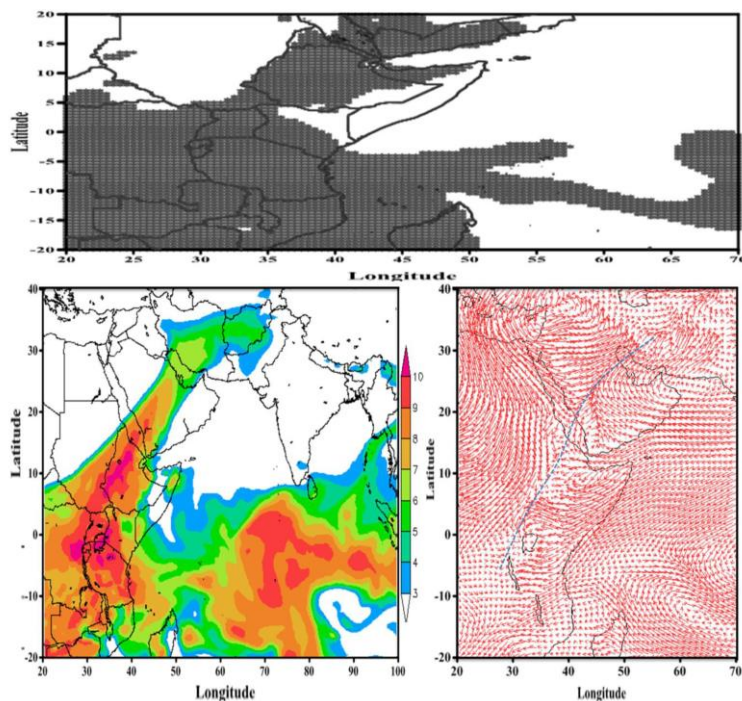
ماه فوریه: تعداد سامانه‌های ورودی قدری کاهش پیدا کرده است. الگوی گسترش محورها هم از لحاظ پهنا و هم از لحاظ تمرکز محورها شباهت زیادی با الگوی ماه ژانویه دارد. تفاوت ملموس در این ماه عمق نفوذ سامانه است که نسبت به ماه ژانویه کمتر شده است. همچنین امتداد کلی محور سامانه‌ها بعد از ورود به ایران به همان شرایط اول یعنی امتداد جنوب‌غربی-شمال شرقی برگشته است (شکل ۷d).



شکل ۷: الگوی ماهانه گسترش همیدی محور زبانه کم‌فشار سودانی و منطقه همگرایی بین حاره‌ای (ITCZ) در روزهای بارشی.

ترازهای زیرین همگرایی حاصل از دو جریان مخالف کانالیزه شده در ضلع جنوبی و شمالی دریای سرخ با راستای جنوب غربی-شمال شرقی هسته پر رطوبتی را از محدوده شمال شرق آفریقا (سودان) تا جنوب ایران فراهم نموده است. جریان همگرایی در همان راستای زبانه کم فشار سودان قرار دارد. بنابراین نقش کم فشار سودان در تامین رطوبت سامانه مشهود است و نقش دریاهای عرب و عمان کاهش چشمگیری را نشان می‌دهد. جریان‌های جنوبی جلو ناوه نیز نقش بارزتری در فرارفت رطوبت از منبع رطوبتی منطقه همگرایی بین حاره‌ای دارند (شکل ۸).

نمونه سامانه بارشی فراگیر (۶ تا ۱۳ ژانویه ۲۰۰۲) از آنجا که موقعیت منطقه همگرایی بین حاره‌ای به شکل میانگین برای تمامی سامانه‌های بارشی فراگیر در نیمه جنوبی ایران ارائه شده است، در این بخش به منظور تایید مطالب فوق، یک نمونه سامانه بارشی فراگیر شدید گزینش و موقعیت سرعت کمینه باد و همچنین نم و ویژه در تراز زیرین جو ترسیم و نمایش داده شده است. تا از این طریق به شکل واضح‌تری موقعیت منطقه همگرایی بین حاره‌ای و شاخه منشعب از آن که منجر به تغذیه رطوبتی سامانه‌های بارشی سودانی از منطقه شمال شرق آفریقا (محدوده سودان و اتیوپی) می‌شود، نمایش داده شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود در



شکل ۸: الگوی سرعت باد (آرامگان) (بالا)، نم و ویژه و الگوی جریان (پایین) تراز زیرین جو همزمان با رخداد سامانه بارشی فراگیر ۶ تا ۱۳ ژانویه ۲۰۰۲ در نیمه جنوبی ایران.

از مطالعات منطقه همگرایی بین حاره‌ای را در ایجاد و تکوین این سامانه‌ها و سازوکارهای همدیدی آنها موثر دانسته‌اند. با توجه به اهمیت قابل توجه این موضوع، در این مطالعه تلاش شده است که میزان

نتیجه‌گیری

سامانه کم فشار سودانی به عنوان سامانه جوی مهم ایجاد کننده بارش‌ها و پدیده‌های مرتبط با آن به-ویژه در مناطق جنوبی ایران است. در تعداد اندکی

انطباق و همچنین نقش منطقه همگرایی بین حاره‌ای در تامین رطوبت و همچنین تکوین و تقویت سامانه‌های سودانی تعیین شود. به همین دلیل این ارتباط در سه شکل کلی بررسی شده است. میزان انطباق و همراهی (۱) الگوی موقعیت هسته مرکزی، (۲) الگوی گسترش اولین منحنی بسته شده کم‌فشار سودانی در اطراف هسته مرکزی و (۳) الگوی گسترش همدیدی زبانه آن در بارش‌های فراگیر ناشی از این سامانه در نیمه جنوبی ایران، با منطقه همگرایی بین حاره‌ای ارزیابی و بررسی شده است.

نتایج این تحقیق به شرح زیر ارائه شده است: موقعیت مکانی هسته مرکزی کم‌فشار سودان در سامانه‌های بارشی نیمه جنوبی ایران تفاوت چندانی نشان نمی‌دهد و جابه‌جایی مکانی زیادی ندارد. در تمام ماه‌های دوره بارشی، منطقه‌ای بین مرز شرقی سودان و اتیوپی محل تمرکز اصلی هسته مرکزی کم‌فشار سودان است. نتایج مربوط به تغییرات مکانی موقعیت کم‌فشار سودان بر روی کشورهای سودان و اتیوپی و جابه‌جایی عرضی آن در این منطقه طی ماه‌های مختلف سال با نتایج حاصل از مطالعه الفندی (Elfandy, 1950a, 1952) هماهنگ است. در اکثر ماه‌ها الگوی پراکنش هسته‌های کم‌فشار با الگوی کشیدگی منطقه همگرایی بین حاره‌ای انطباق بسیار خوبی دارند که نقش غیرقابل انکار منطقه همگرایی بین حاره‌ای در تامین بخشی از رطوبت سامانه‌های سودانی ورودی به جنوب ایران را تایید می‌نماید. نتایج مربوط به الگوی گسترش و کشیدگی اولین منحنی بسته شده کم‌فشار سودان در اطراف هسته مرکزی با الگوی زبانه منطقه همگرایی بین حاره‌ای نشان از انطباق و هماهنگی بسیار زیاد این دو سامانه در تمام ماه‌ها و در تمام روزهای سامانه‌های انتخابی است. بررسی میزان انطباق و هم‌جهتی الگوی

گسترش زبانه کم‌فشار سودانی در سامانه‌های بارشی ناشی از این کم‌فشار، با الگوی گسترش منطقه همگرایی بین حاره‌ای نشان از امتداد زبانه‌های کم‌فشار به خصوص بر روی دریای سرخ، تنگه باب المندب و حتی بخشی از شبه جزیره عربستان با امتداد و زبانه منطقه همگرایی بین حاره‌ای در تمام ماه‌ها است. از نتایج بارز این تحقیق حصول ویژگی‌های کلی زبانه‌های کم‌فشار ورودی به ایران در ماه‌های بارشی است. در تمام ماه‌ها زبانه‌های کم‌فشار در محدوده‌ای بین جنوب‌شرق تا غرب وارد ایران شده‌اند، تمرکز اصلی محورهای آن‌ها بر روی تنگه هرمز تا جنوب‌غرب ایران است، در محدوده تکوین کم‌فشار سودان (جنوب سودان و اتیوپی) تا جنوب دریای سرخ، مسیر زبانه کم‌فشار سودانی و زبانه منطقه همگرایی بین حاره‌ای کاملاً بر هم منطبق هستند، همچنین در بیش از نیمی از موارد سامانه سودانی بعد از ورود به ایران در امتدادی جنوب‌غربی-شمال‌شرقی، محدوده سه چهارم شرقی کشور را در برمی‌گیرد. تفاوت‌های ماهانه سامانه‌های ورودی به ایران به لحاظ تعداد و پراکنش، پهنه گسترش ورود و عمق نفوذ محور آن‌ها نیز بررسی شده است. نتایج نشان داد که پراکنش ماهانه سامانه‌های ورودی به نیمه جنوبی ایران در ماه ژانویه به بالاترین فراوانی خود می‌رسد، سپس به ترتیب ماه‌های مارس، فوریه، دسامبر، نوامبر و آوریل دارای بیشینه فراوانی در تعداد سامانه‌ها هستند. نکته قابل توجه کاهش تعداد سامانه‌ها در ماه فوریه در مقایسه با دو ماه قبل (ژانویه) و بعد (مارس) از آن است. این نتیجه با نتایج لشکری و محمدی (Lashkari and Mohammadi, 2018) که بیان کرده‌اند در ماه فوریه مقادیر بارش متوسط ماهانه در جنوب‌غرب نسبت به دو ماه قبل و بعد از خود کاهش معناداری نشان می‌دهد، مطابقت دارد. پهنه گسترش محور

عمل کرده‌اند. ماه‌های نوامبر و آوریل بدین لحاظ تضعیف شده و روند کاهشی را نشان دادند که این مساله می‌تواند به ترمودینامیک ضعیف‌تر سامانه سودانی در ابتدای شروع فعالیت و عمق کمتر امواج غربی در اولین ماه بعد از اعتدالین بر روی منطقه و نیز بدلیل جابه‌جایی غرب سوی و اچرخند عربستان باشد. همچنین هم‌جهتی و انطباق کشیدگی و زبانه منطقه همگرایی بین حاره‌ای و الگوی گسترش کم‌فشار سودانی در شرایط تشکیل هسته مرکزی و اولین منحنی بسته شده در اطراف آن و همچنین الگوی گسترش محور زبانه بیانگر آن است که منطقه همگرایی بین حاره‌ای نقش قابل توجهی در تقویت و الگوی جریان کم‌فشار سودانی ایفا می‌کند. همچنانکه تحقیق‌های اولیه حاکی از آن است که این کم‌فشارها یاخته‌های جدا شده از منطقه همگرایی بین حاره‌ای هستند (Solot, 1950; Johnson, 1965). همچنین با توجه به این مطالب می‌توان بیان نمود که این سامانه نه تنها در موقعیت تشکیل و گسترش سامانه‌های سودانی موثر است بلکه برخلاف مطالعات گذشته که نقش دریاهای گرم عرب، عمان و دریای سرخ به عنوان منابع رطوبتی این سامانه‌ها مورد توجه بوده (مغیدی و زرین، ۱۳۸۴؛ محمدی و همکاران، ۱۳۹۱)، نقش غالب و بسیار مهم منطقه همگرایی بین حاره‌ای در این رابطه پررنگ‌تر می‌شود. همچنانکه این نتیجه با نتایج مطالعه حافظ (Hafez, 2012) نیز هماهنگی دارد. به‌طوری که وی اشاره نموده است که تغییر غیر معمول شدید شمال شرق سوی ITCZ در شمال سودان، اتیوپی و دریای سرخ (شرق آفریقا) منجر به انتقال رژیم آب و هوایی گرمسیری به سمت شمال و شرق مدیترانه و بروز سیل‌های فراگیر بر روی این منطقه می‌شود.

سامانه‌های کم‌فشار سودانی ورودی به ایران و نتایج مربوط به آن نشان داد که بیشینه پهنه گسترش ورود همانند تعداد سامانه‌ها، مربوط به ماه ژانویه است که در محدوده‌ای بین جنوب‌شرق ایران تا مرکز مدیترانه با تراکم بیشتر در نیمه میانی و شرقی است. ماه‌های فوریه، مارس و دسامبر پس از ماه ژانویه دارای پهنه گسترش قابل توجهی هستند. ماه‌های آوریل و نوامبر کمترین گسترش را به لحاظ محور زبانه سامانه کم‌فشار سودانی دارند و عموماً در محدوده‌ای بین جنوب‌غرب تا جنوب‌شرق وارد ایران می‌شوند. در تحلیل عمق نفوذ محور سامانه‌های سودانی مشخص گردید که عمق نفوذ آن‌ها بسیار متفاوت است. در این مورد نیز سامانه‌های ایجاد شده در ماه ژانویه با بیشترین عمق نفوذ در مرتبه اول قرار دارند. به‌طوری که تمام سامانه‌ها بعد از گذر از تمام عرض ایران، عموماً در همان امتداد وارد کشورهای همجوار شده‌اند. پس از آن ماه‌های فوریه و مارس در مراتب بعدی قرار دارند. در ماه دسامبر هرچند میزان عمق نفوذ سامانه‌ها به داخل ایران در مقایسه با ماه‌های فوق کاهش یافته است ولیکن محور زبانه‌ها تا نزدیک خراسان نیز گسترش دارند. در ماه‌های نوامبر و پس از آن آوریل عمق نفوذ زبانه‌ها بسیار کم و به‌ویژه در ماه نوامبر عمده آن‌ها در محدوده رشته کوه‌های زاگرس جنوبی خاتمه پیدا کرده است و به ندرت به سمت مرکز و شمال‌شرق کشور گسترش دارند. به‌طور کلی ماه ژانویه در هر سه حالت تعداد و پراکنش، پهنه گسترش ورود و عمق نفوذ محور سامانه‌های ورودی به نیمه جنوبی ایران در مرتبه اول اهمیت قرار دارد در نتیجه سامانه‌ها هم از لحاظ ترمودینامیکی و هم با گسترش جنوب‌سوی عمیق ناوها از لحاظ دینامیکی، قوی‌تر از ماه‌های قبل

منابع

- پرک، ف.، روشنی، ا. و علیجانی، ب.، ۱۳۹۴. واکاوی همدیدی سامانه کم فشار سودانی در رخدادهای ترسالی‌ها و خشکسالی‌های نیمه جنوبی ایران، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۱۵، ص ۷۵-۹۰.
- جعفری، م.، و لشکری، ح.، ۱۴۰۰. الگوهای همدید تعیین کننده مسیر حرکت سامانه‌های بارشی با منشاء سودانی، تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، دوره ۸، شماره ۱، ص ۷۸-۵۵.
- جوانمرد، س.، بذاق جمالی، ج. و آسیایی، م.، ۱۳۸۲. بررسی همبستگی تغییرات فشار قزاقستان- دریای عمان با نوسان‌های بارش ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۷۱، ص ۱۳۶-۱۵۰.
- عساکره، ح.، قائمی، ه. و رضایی، ش.، ۱۳۹۵. بررسی مکانیسم گسترش و شدت کم‌فشار دریای سرخ، مجله آمایش جغرافیایی فضا، سال ۶، شماره ۲۱، ص ۷۷-۹۰.
- فنودی، م.، امیدوار، ک. و مزیدی، ا.، ۱۳۹۶. واکاوی تاثیر سامانه کم‌فشار سودانی بر بارش‌های رگباری ناحیه کوهپایه‌های داخلی ایران، فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال ۱۰، شماره ۳۵، ص ۶۱-۷۴.
- کریمی، م.، ۱۳۸۶. تحلیل منابع تامین رطوبت بارش‌های ایران، رساله دکتری جغرافیای طبیعی، گرایش اقلیم شناسی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس.
- کریمی، م. و فرج زاده، م.، ۱۳۹۰. شار رطوبت و الگوهای فضایی-زمانی منابع تامین رطوبت بارش‌های ایران، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، شماره ۲۲، ص ۱۰۹-۱۲۷.
- کریمی، م.، خوش اخلاق، ف.، بازگیر، س. و جعفری، م.، ۱۳۹۵. نقش گردش و ردسپهر زیرین
- پرفشار عربستان در بارش ایران، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۴، ص ۵۶۹-۵۸۷.
- گندمکار، ا.، ۱۳۹۱. مدیریت بحران وقوع سیل در شهر اصفهان با استفاده از سامانه‌های جوی، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۷، شماره ۲، ص ۱۱۵-۱۲۷.
- لشکری، ح.، ۱۳۷۵. الگوی سینوپتیکی بارش‌های شدید جنوب و جنوب غرب ایران، رساله دکتری جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس.
- لشکری، ح.، ۱۳۸۱. مسیریابی سامانه‌های کم فشار سودانی ورودی به ایران، مجله مدرس علوم انسانی، دوره ۶، شماره ۲، ص ۱۳۳-۱۵۶.
- لشکری، ح.، ۱۳۸۲. مکانیسم تکوین، تقویت و توسعه مرکز کم فشار سودان و نقش آن بر روی بارش‌های جنوب و جنوب غرب ایران، فصلنامه پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۶، ص ۱-۱۸.
- لشکری، ح.، متکان، ع.ا.، آزادی، م. و محمدی، ز.، ۱۳۹۵. تحلیل همدیدی نقش پرفشار جنب حاره‌ای عربستان و رودباد جنب حاره‌ای در کوتاه‌ترین طول دوره بارشی جنوب و جنوب غرب ایران، فصلنامه علوم محیطی، شماره ۴، ص ۷۴-۵۹.
- محمدی، ح.، فتاحی، ا.، شمسی پور، ع.ا. و اکبری، م.، ۱۳۹۱. تحلیل دینامیکی سامانه‌های سودانی و رخدادهای بارش‌های سنگین در جنوب غرب ایران، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال ۱۲، شماره ۲۴، ص ۲۴-۷۰.
- محمدی، ز. و لشکری، ح.، ۱۳۹۷. نقش جابه‌جایی مکانی پرفشار عربستان و رودباد جنب حاره‌ای در الگوهای همدیدی و ترمودینامیکی ترسالی‌های شدید جنوب و جنوب غرب ایران، فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۵۰، شماره ۳، ص ۴۹۱-۵۰۹.

-مفیدی، ع. و زرین، ا.، ۱۳۸۴. تحلیل سینوپتیکی ماهیت سامانه‌های کم فشار سودانی (مطالعه موردی: توفان دسامبر ۲۰۰۱)، فصلنامه جغرافیایی سرزمین، سال ۲، شماره ۶، ص ۲۴-۴۸.

-مفیدی، ع. و زرین، ا.، ۱۳۸۴. بررسی سینوپتیکی تاثیر سامانه‌های کم فشار سودانی در وقوع بارش‌های سیل‌زا در ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۰، شماره ۷۷، ص ۱۱۳-۱۳۶.

-Alpert, P., 2004. A New Seasons Definition Based on Classified Daily Synoptic Systems: An Example for the Eastern Mediterranean: International Journal of Climatology, v. 24, p. 103-1021.

Atmospheric Model Applications, p. 111-136.

-Chen, B., Lin, X. and Bacmeister, J.T., 2008. Frequency distribution of Daily ITCZ patterns over the western-central Pacific: Journal of Climate, v. 21(17), p. 4207-4222.

-Holloway, C.E. and Neelin, J.D., 2009. Moisture vertical structure, column water vapor, and tropical deep convection: Journal of the Atmospheric Sciences, v. 66(6), p. 1665-1683.

-Elfandy, M.G., 1952. Forecasting Thunderstorms in the Red Sea: Bulletin of the American Meteorological Society, v. 33, p. 332-338.

-Johnson, D.H., 1965. African synoptic meteorology: Meteorology and the desert Locus, WMO, Tech. notes, v. 69, p. 48-90.

-Elfandy, M.G., 1950a. Effects to Topography and other Factors on the Movement of Lows in the Middle East and Sudan: Bulletin of the American Meteorological Society, v. 31, p. 375-381.

-Krichak, S.O. and Alpert, P., 1998. Role of large Scale Moist Dynamics in November 1-5, 1994, Hazardous Mediterranean Weather: Journal of Geophysical Research, v.103, p. 19453-19468.

-Farajzadeh, M., Karimi Ahmadabad, M., Ghaemi, H. and Mobasheri, M.R., 2007. Studying the Moisture Flux over West of Iran: A Case Study of January 1 to 7, 1996 Rain Storm: Journal of Applied Sciences, v. 7, p. 3023-3030.

-Krichak, S., Alpert, P. and Krishnamurti, T.N., 1997a. Interaction of Topography and Tropospheric Flow-A possible Generator for the Red Sea Trough: Meteorology and Atmospheric Physics, v. 63, p. 149-158.

-Jafari, M. and Lashkari, H., 2020. Study of the relationship between the intertropical convergence zone expansion and the precipitation in the southern half of Iran: Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, v. 210, p. 1-13.

-Krichak, S., Alpert, P. and Krishnamurti, T.N., 1997b. Red Sea Trough/Cyclone Development-Numerical Investigation: Meteorology and Atmospheric Physics, v. 63, p. 159-169.

-Hastenrath, S., 1995. Climate Dynamics of the Tropics: Interpretation and Application: Springer Netherlands, Kluwer Acad, Norwell, Mass 8, 488 p.

-Lashkari, H. and Jafari, M., 2021a. The role of spatial displacement of Arabian subtropical high pressure in the annual displacement of the ITCZ in East Africa: Theoretical and Applied Climatology, v. 143, p. 1543-1555.

-Hafez, Y., 2012. Variability of Intertropical Convergence Zone (ITCZ) and Extreme Weather Events:

-Lashkari, H. and Jafari, M., 2021b. Annual displacement and appropriate index to determine ITCZ position in East Africa and the Indian Ocean regions: Meteorology and Atmospheric Physics, v. 133, p. 1111-1126.

- Latysheva, I., Belousova, E., Ivanova, A. and Potemkin, V., 2007. Circulation Conditions of the Abnormally Cold Winter of 2005/06 Over Siberia: Conference on Climate Variability and Change 8, San Russian Meteorology Hydrology, v. 32, p. 572-575.
- Lashkari, H. and Mohammadi, Z., 2018. 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 volume, v. 137, p. 2069-2076.
- Mukherjee, P., Sinha, N. and Chakraborty, S., 2016. Investigating the Dynamical Behavior of the Intertropical Convergence Zone Since the last Glacial Maximum Based on Terrestrial and Marine Sedimentary Records: Quaternary International, p. 1-9.
- Nicholson, S.E., 2018. The ITCZ and the Seasonal Cycle Over Equatorial Africa: American Meteorological Society, p. 337-348.
- Solot, S.B., 1950. General circulation over the Anglo-Egyptian Sudan and adjacent regions: Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, v. 31, p. 85-94.
- Waliser, D.E. and Gautier, C., 1993. A satellite-derived climatology of the ITCZ: Journal of Climate, v. 6(11), p. 2162-2174.