


## The relationship between surface pressure and temperature fields over Iran: An approach based on multiple time-scales analysis of NCEP/NCAR reanalysis data

Neyestani, A.<sup>1</sup> 

1. Department of Physics, Faculty of Science, Razi University, Kermanshah, Iran.

Corresponding Author E-mail: [neyestani@razi.ac.ir](mailto:neyestani@razi.ac.ir)

(Received: 17 Oct 2023, Revised: 20 Feb 2024, Accepted: 11 Aug 2024, Published online: 5 Oct 2024)

### Summary

Surface temperature and pressure are significant atmospheric parameters that, along with humidity and precipitation, can be regarded as the most effective quantities in determining the global and regional climate in small and large spatial scales. This importance stems from the fact that they can affect the dynamic elements of the weather. Surface air temperature (ST), as a crucial element of climate, is widely used in studies related to meteorology, climate change, energy and the environment and its changes (especially due to global warming) have a substantial impact on health, human well-being, and the environment. On the other hand, atmospheric pressure plays a vital role in determining the exact weather conditions and the climate of a specific location on Earth, and it is closely related to wind patterns and the formation of weather systems. Furthermore, the effects of heating and cooling in the atmosphere can depend on the level of atmospheric pressure.

To improve our ability to gain a clear understanding of the mutual coupling between temperature and pressure changes on intra-annual to inter-decadal scales, research is required to describe the possible relationship between these quantities from different points of view. This relationship can be complex on some time scales. Hence, in the current research, with using time series of monthly reanalysis data, the relationship between surface temperature and pressure at sea level has been investigated in different time scales over Iran. Based on the analysis of the linear trend of the raw data in the statistical period of 1948-2020, a tendency of increasing temperature and surface pressure was observed in all regions of Iran. The highest increase in temperature has occurred in the north-east (1.6 °C to 1.8 °C), and the lowest increase in temperature has been found in the extreme northwest of Iran (0.4 °C to 0.6 °C), which can be attributed to the effects of global warming. In addition, the highest increase in pressure (more than 4.5 hPa) was observed in the extreme northwest of the country, and the lowest increase in pressure (less than 1.5 hPa) was found in the southern coast of the country. Based on correlation and regression analyses, the inter-relationships between pressure and temperature were investigated for the raw data as well as the filtered data (in different time scales). The results demonstrate that the annual component has a large impact on the correlation pattern between the raw temperature and pressure data. A phase difference of 5-6 months was observed between the common annual periodic component of the temperature and pressure. For the intra-annual components, there is a negative correlation (-0.5 to -0.6) in the northeast at the lag = 0 and in the southeast at the lag = 3 months. In addition, the highest positive correlation (+0.5 to +0.6) was revealed in the lag = 6 months in the southeast of Iran. For the inter-annual plus inter-decadal components of the temperature and pressure at the lag of zero, the highest negative correlation coefficient (-0.3 to -0.4) was observed in the east and northeast of Iran. In larger time lags, the correlation coefficient gradually becomes positive, which reaches more than +0.4 in a large part of the country at the lag = 200 months. Therefore, with a phase (time) difference of several years (2 to 16 years), the correlation pattern tends to increase over a large area of Iran, which in turn indicates the presence of common inter-decadal quasi-periodic components (but with a specific phase difference) in the time series of surface pressure and temperature. Scatter plots and regression modeling for the selected stations and for different scales included in the time series display unique patterns for the relationship between the pressure and temperature so that these patterns can change over Iran depending on the latitude of the selected station.

**Keywords:** Sea level pressure, Surface temperature, Digital filter, Multi-scale, Iran.

Cite this article: Neyestani, A. (2024). The relationship between surface pressure and temperature fields over Iran: An approach based on multiple time-scales analysis of NCEP/NCAR reanalysis data. *Journal of the Earth and Space Physics*, 50(3), 707-729. DOI: <http://doi.org/10.22059/jesphys.2024.366655.1007569>



# رابطه بین میدان‌های فشار و دمای سطحی بر روی ایران: رویکردی بر مبنای چند مقیاس زمانی و بر اساس داده‌های بازتحلیل NCEP/NCAR

ابوالفضل نیستانی<sup>۱</sup> ✉

۱. گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

ایمان‌نامه نویسنده مسئول: [neyestani@razi.ac.ir](mailto:neyestani@razi.ac.ir)

(دریافت: ۱۴۰۲/۷/۲۵، بازنگری: ۱۴۰۲/۱۲/۱، پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۵/۲۱، انتشار آنلاین: ۱۴۰۳/۷/۱۴)

## چکیده

در این تحقیق با استفاده از سری‌های زمانی داده‌های ماهانه بازتحلیل، ارتباط آماری کمیت‌های دما و فشار سطحی بر روی ایران مورد بررسی قرار گرفته است. با اعمال پالایه‌های راقومی بر داده‌ها، تغییرپذیری‌های زمانی در سری‌های زمانی فشار و دما و همچنین ارتباط احتمالی آنها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهند که چرخه فصلی ناشی از گردش زمین به دور خورشید تأثیر بسزایی نسبت به مؤلفه‌های بسامدی دیگر بر الگوی همبستگی بین داده‌های خام دما و فشار دارد. برای تغییرپذیری‌های درون‌سال، همبستگی منفی با اهمیت در شمال‌شرق در تأخیر زمانی صفر و همبستگی مثبت قابل‌توجه در جنوب‌شرق در تأخیر زمانی ۶ ماهه آشکارسازی شد. این همبستگی‌های با اهمیت گویای واداشت اقلیمی یکسان بر تغییرات پُرسامد سری‌های زمانی دما و فشار بر روی ایران هستند که می‌تواند به‌طور همزمان یا با تأخیر فاز زمانی در مناطق مختلف عمل کند. تأثیر مؤلفه تغییرپذیری کم بسامد داده‌های فشار بر داده‌های دما نسبت به اثرات مؤلفه‌های بسامدی درون‌سالانه و سالانه در تأخیر زمانی صفر نسبتاً کم است و تنها در تأخیرهای زمانی بزرگ در بخش وسیعی از پهنه کشور اثر خود را در افزایش ضریب همبستگی نشان می‌دهد. نمودارهای پراکنش و مدل‌سازی وایزشی برای ایستگاه‌های انتخابی و برای مقیاس‌های مختلف شامل در دو سری زمانی الگوهای منحصر به فرد آماری برای روابط بین فشار و دما را نمایش می‌دهند، به‌طوری که این الگوها وابسته به عرض جغرافیایی تغییر می‌کنند و برای ایستگاه‌های مجاور هم می‌تواند کاملاً مشابه باشند.

واژه‌های کلیدی: فشار تراز دریا، دمای سطح، پالایه راقومی، چندمقیاسی، ایران.

## ۱. مقدمه

(ژانگ و همکاران، ۲۰۲۰؛ دارند، ۲۰۲۰؛ اوترتو و همکاران، ۲۰۲۱؛ بین و همکاران، ۲۰۲۳). همچنین پاسخ بارش‌های فرین به افزایش دما ناشی از گرمایش جهانی، از موضوعات کلیدی در ارتباط با تغییر اقلیم است (علیزاده چوبری و نجفی، ۱۳۹۶؛ آلتینا و همکاران، ۲۰۲۱). بنابراین کمیت دما به‌طور گسترده برای ارزیابی گرمایش جهانی به کار می‌رود. با این وجود، خود دما به‌طور کامل اثرات گرمایش جهانی بر روی اقلیم و فرین‌های وضع هوا را نشان نمی‌دهد (سانگ و همکاران، ۲۰۲۰). همچنین رابطه بین دما و بارش می‌تواند برای مقایسه عملکرد مدل‌های اقلیمی مورد استفاده قرار گیرد، زیرا بارش و دمای سطحی از طریق فرایندهای متنوع فیزیکی به همدیگر مرتبط هستند (وو و

دما و فشار از کمیت‌های مهم جوی هستند که همراه با رطوبت و بارش می‌توانند به‌عنوان اثرگذارترین کمیت‌ها در تعیین اقلیم جهانی و منطقه‌ای در مقیاس‌های مکانی کوچک و بزرگ در نظر گرفته شوند. این اهمیت از آنجا ناشی می‌شود که آنها می‌توانند بر روی عناصر دینامیکی وضع هوا اثرگذار باشند (سالستین و همکاران، ۲۰۰۸؛ ال کنای و همکاران، ۲۰۱۹؛ سان و همکاران، ۲۰۲۲؛ وو و همکاران، ۲۰۲۳). دمای هوای سطح زمین به‌عنوان یک عنصر با اهمیت اقلیمی به‌طور گسترده در مطالعات مرتبط با هواشناسی، تغییر اقلیم، انرژی و محیط‌زیست به کار می‌رود و تغییرات آن (مخصوصاً به‌دلیل گرمایش زمین) تأثیر شگرفی در سلامت و آسایش انسان‌ها و محیط‌زیست دارد

قوانین ترمودینامیکی وجود دارد (افزایش دما: افزایش فشار). همچنین از آنجایی که در یک سیستم تک-فاز این دو کمیت مستقل هستند (یعنی به‌طور جداگانه قابل تصریح کردن می‌باشند)، تغییر دما ضرورتاً منجر به تغییر در فشار نمی‌شود (برگناکه و سانتگک، ۲۰۱۳). با این وجود در جو زمین به‌عنوان یک سیستم پیچیده (دینامیکی، ترمودینامیکی، تابشی)، رابطه متقابل بین فشار با کمیت‌هایی مثل دما، رطوبت و غیره پیچیده‌تر است و به فرایندهای مختلف بستگی دارد، اما به‌طور کلی آنها توسط قوانین ترمودینامیک به هم مرتبط می‌شوند. همچنین ارتباط بین فشار و دما، بسته به ارتفاع مورد بررسی و زمان سال می‌تواند متفاوت باشد. فشار جو وقتی که دمای یک مکان افزایش یابد، کاهش می‌یابد و به‌طور معکوس (همبستگی منفی) (لی و همکاران، ۲۰۲۳). فرایندهای دیگری مثل اضافه شدن بخار آب به جو از طریق تبخیر (گرماگیر) و تشکیل ابر و بارش (میعان: گرماده) نیز بر مقدار فشار در سطح زمین تأثیر می‌گذارد.

بررسی ارتباط متقابل کمیت‌های هواشناسی در جو و کمیت‌های اقیانوسی در اقیانوس می‌تواند راه را برای پیش بینی آماری یک کمیت بر اساس تغییرات کمیت دیگر هموار کند (داویس، ۱۹۷۶؛ هاورث، ۱۹۷۸؛ چتفیلد، ۲۰۰۳). وقتی که مشاهداتی از دو یا چند متغیر گرفته می‌شود، این امکان وجود خواهد داشت که تغییرات در یک سری زمانی را برای توضیح بخشی از تغییرات در سری زمانی دیگر به کار ببریم. این ممکن است منجر به درک عمیق‌تر از سازوکارهایی شود که یک سامانه سری زمانی را تولید کرده است (چتفیلد، ۲۰۰۳). برای مثال، چگونگی تغییر تراز دریا ناشی از اثرات دما و فشار بسیار مورد علاقه و توجه است. کاواوی و همکاران (۲۰۱۴)، پاسخ فشار جو به تغییرات میان‌مقیاس دمای سطح دریا را مورد بررسی قرار دادند. دیدبانی‌های هواشناسی سطحی توسط دو شناور (بویه) دریایی مهارشده که در دو طرف منطقه فعالیت جریان کورشیو در اقیانوس آرام قرار گرفت، از طریق یک کشتی تحقیقاتی همان‌طور که این کشتی بین دو شناور در مدت زمان سفرهای مختلف حرکت می‌کرد جمع‌آوری

همکاران، ۲۰۱۳). بالا رفتن دما می‌تواند به‌طور مستقیم الگوهای بارش را با افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت، متأثر کند که این خود منجر به افزایش بارش‌های فرین می‌شود (ترنبرس و شی، ۲۰۰۵؛ اُگرم‌ان، ۲۰۱۵).

از سوی دیگر فشار جوی در تعیین شرایط وضع هوای دقیق و اقلیم یک مکان خاص نقشی حیاتی دارد و با الگوهای باد و تشکیل سامانه‌های آب و هوایی در ارتباط تنگاتنگ است (دارند و پژوه، ۲۰۱۹). همچنین اثرات گرمایش و سرمایش هوا هم می‌تواند بستگی به سطح فشار جوی داشته باشد. افزایش فشار سطحی باعث تقویت بارش‌های ناشی از مانسون تابستانه بر روی شمال‌غرب هند می‌شود (سانگک و همکاران، ۲۰۲۲) که این اثرات فشار می‌تواند به‌طور مشابه در تغییرات بارش در دیگر نقاط جهان نیز وجود داشته باشد. تغییرپذیری فشار در تراز دریا و رخداد فرین‌های آن برای درک پیچیدگی سامانه اقلیم بسیار مهم است (سینق و همکاران، ۲۰۲۲). اگرچه فشار یکی از مهم‌ترین نیروهای محرک وضع هوا و اقلیم هر منطقه است، مشخصه‌ها و تغییرپذیری زمانی-مکانی آن در ایران به‌طور کامل و با جزئیات مطالعه نشده است. با این وجود، تحقیقاتی در مورد اثر سامانه‌های فشار بر کمیت بارش در ایران توسط تعدادی از پژوهشگران داخلی انجام شده است. برای نمونه، علیجانی و همکاران (۱۳۸۶) به بررسی نقش الگوهای فشار بر بارش‌های سواحل جنوبی دریای خزر پرداختند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که بیشترین بارش‌ها در توالی‌های ۲ تا ۳ روز رخ می‌دهند که نشان‌دهنده دینامیکی بودن آنها ناشی از تغییرات فشار سطح زمین و ترازهای بالا است. در پژوهش دیگری ستوده و علیجانی (۱۳۹۴) رابطه پراکنندگی بارش‌های سنگین و الگوهای فشار در استان گیلان را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که الگوهای پرفشارهای غربی تا حدودی به داخل استان نفوذ می‌کنند، اما بارش‌های الگوهای پرفشار سیبری فقط در خط ساحل و در نوار شرقی استان رخ می‌دهد و همچنین سهم پرفشار سیبری در بارش‌های سنگین استان گیلان ناچیز است.

در یک سیستم بسته ترمودینامیکی که حجم گاز ثابت در نظر گرفته شود، رابطه مستقیمی بین فشار و دما بر اساس

شد. توزیع فضایی در فشار سطح دریا در امتداد مسیرهای حرکت کشتی با کم کردن فشار شناور مهار شده از فشار کشتی در حال حرکت محاسبه شد. در مکان‌هایی که دمای سطح دریا بر روی مقیاس‌های در حدود ۱۰۰ کیلومتر کمتر (بیشتر) بود تمایل به مثبت (منفی) بودن توزیع فضایی فشار سطح دریا وجود داشت و بزرگی این اغتشاشات فشار سطحی در نزدیکی جبهه دمای سطح دریا می‌توانست از ۱hPa نیز تجاوز کند. بنابراین بررسی رفتار متقابل کمیت‌های مؤثر بر وضع هوا مانند دما و فشار می‌تواند بعضی از جنبه‌های ناشناخته در برهم کنش بین آنها را آشکار کند (هیلاک و همکاران، ۲۰۰۷؛ یو و همکاران، ۲۰۱۷).

تغییرپذیری کمیت‌های هواشناسی مانند دما و فشار در گستره وسیعی از مقیاس‌های زمانی رخ می‌دهد. این گستره می‌تواند از دقیقه تا ماه، سال، قرن و حتی فراتر از قرن باشد (میشل، ۱۹۷۶؛ وان در هیدت، ۲۰۲۱). هر چه دقت زمانی نمونه‌برداری و ثبت داده‌ها بیشتر باشد، تغییرات در مقیاس‌های زمانی کوچک‌تر (بسامد بالاتر) با استفاده از روش‌های طیفی قابلیت آشکارسازی پیدا می‌کنند و هر چه داده‌ها از طول زمانی بیشتری برخوردار باشند (مثلاً صدها سال)، تغییرات با مقیاس‌های زمانی بزرگ‌تر با دقت بیشتر (عدم قطعیت کمتر) از داده‌های اصلی استخراج می‌شوند. علاوه بر این بزرگ‌تر بودن طول سری‌های زمانی، امکان بررسی دقیق‌تر رفتار مؤلفه‌های با مقیاس زمانی کوچک‌تر را در امتداد سری زمانی فراهم می‌کند (پریوالسکی، ۲۰۲۱).

سامانه‌های طبیعی اغلب توسط برهم کنش‌های پیچیده شرح داده می‌شوند که این برهم کنش‌ها اساساً از همپوشانی فرایندهای دینامیکی که در مقیاس‌های فضایی و زمانی بسیار متنوع عمل می‌کنند، سرچشمه می‌گیرند (کاساگرندی و همکاران، ۲۰۱۵). اخیراً برهم کنش‌های چندمقیاسی توجه گسترده‌ای را در حوزه مطالعات اقلیمی دریافت کرده است و به‌عنوان سازوکاری برای ایجاد رخداد‌های فرین (حدی) پیشنهاد شده است. بنابراین، علاوه بر مطالعه و تحلیل مستقیم داده‌های خام (شامل همه

مقیاس‌های زمانی تغییرپذیری در داده‌ها) و بررسی ارتباط متقابل آنها و برازش یک مدل آماری بین دو متغیر مختلف، تجزیه کمیت‌ها به مؤلفه‌های زمانی سازنده با استفاده از روش‌های مبتنی بر پالایه‌های (خطی) رقومی می‌تواند مورد توجه قرار گیرد (دوچان، ۱۹۷۹؛ نیستانی، ۱۴۰۱). در این صورت همبستگی بین تغییرپذیری‌های با مقیاس‌های زمانی مشابه برای متغیرهای انتخابی قابل محاسبه و نوسان‌های غالب مشترک در هر مقیاس قابل جداسازی و مدل‌سازی هستند. این نوسان‌ها ممکن است به‌صورت دوره‌ای یا کاملاً تصادفی (شامل نوفه‌ها) باشند و حضور این نوسان‌های مشترک در سری‌های زمانی دو یا چند کمیت مختلف می‌تواند گویای واداشت یکسانی در تغییرپذیری این کمیت‌ها باشد (نیستانی و همکاران، ۲۰۲۲). بنابراین جداسازی این مؤلفه‌های مشترک غالب در مقیاس‌های زمانی متفاوت؛ چه به‌صورت مؤلفه‌های شبه‌تناوبی و چه به‌صورت مؤلفه‌های تصادفی، در مدل‌سازی هر کمیت هواشناسی به‌طور مجزا و همچنین مدل‌سازی یک کمیت بر حسب تغییرات کمیت دیگر کمک قابل توجهی می‌کند.

برای بهبود توانایی ما به‌منظور کسب درکی واضح از پیوند دوسویه بین تغییرات دما و فشار در مقیاس‌های درون‌سالانه تا درون‌دهه‌ای، تحقیقی مورد نیاز است که رابطه محتمل بین این کمیت‌ها را شرح دهد. این رابطه می‌تواند بر روی بعضی از مقیاس‌های زمانی، پیچیده باشد. بنابراین در تحقیق حاضر رابطه بین تغییرات فشار در تراز دریا و دمای هوا در سطح زمین در مقیاس حداقل ۲ ماهه تا حداکثر ۳۶ ساله بر روی منطقه ایران مورد بررسی قرار گرفته است. هدف آزمایش مقیاس‌های پایه تغییرپذیری مشترک و تعیین پیوندهای تصادفی محتمل است که ممکن است در پیش‌بینی کوتاه‌مدت و میان‌مدت تغییرپذیری اقلیم بر روی منطقه نیز کمک‌کننده باشد. روش‌های تحلیلی به کار رفته کاملاً از نوع آماری هستند که برای تعیین مقیاس‌های زمانی تغییرپذیری با اهمیت و پایه‌گذاری وجود ارتباطی بین دو میدان دما و فشار هدف‌گذاری شده‌اند. به‌طور خاص، دو فرضیه آزمایش شده است: ۱- چرخه‌های سالانه شبه‌تناوبی در سری‌های زمانی دما و فشار سطحی بسیار منظم هستند و

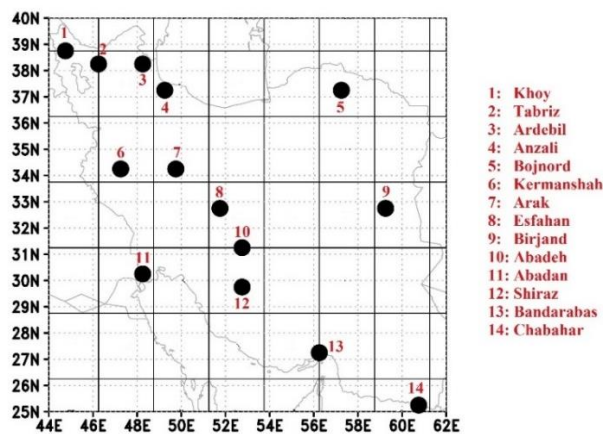
ایستگاه چابهار (ایستگاه شماره ۱۴ در شکل ۱) در جنوبی‌ترین نقطه ایران (عرض جغرافیایی ۲۵ درجه) و ایستگاه خوی در شمالی‌ترین نقطه ایران (عرض جغرافیایی ۳۹ درجه) انتخاب شده است.

داده‌های خام بازتحلیل پس از استانداردسازی (به روش نرمال‌سازی نمره Z: بخش ۳)، با استفاده از پالایه‌های رقومی لنزوس (Lanczos digital filters) (دوچان، ۱۹۷۹) در مقیاس‌های زمانی ۲-۱۱ ماه، ۱۱-۱۳ ماه، و ۱۳ ماه به بالا جداسازی شد و سری‌های زمانی مرتبط در هر نقطه شبکه به ترتیب برای مقیاس‌های درون سالانه، سالانه، برون‌سالی (بین‌سالی + بین‌دهه‌ای) به دست آمد. پالایه لنزوس یک روش فوریه برای پالایش داده‌های رقومی می‌باشد که می‌تواند به صورت‌های مختلف بالاگذر، میان‌گذر و پایین‌گذر پیاده‌سازی شود. ویژگی اصلی این پالایه به کارگیری عامل‌های سیگما (Sigma Factors) است که این عامل‌ها به طور قابل ملاحظه‌ای دامنه نوسان‌های پدیده گیبس (Gibbs phenomenon) را در هنگام اعمال پالایه رقومی کاهش می‌دهند. پدیده گیبس به دلیل نقاط ناپوستگی در مرزهای سری‌های زمانی داده‌های اقلیمی می‌تواند نتایج مؤلفه‌های تفکیک شده بسامدی را مغشوش کند (نیستانی، ۱۴۰۱). در ادامه با استفاده از درون‌یابی خطی، سری‌های زمانی بازسازی شده در نقاط ایستگاهی نیز به دست آمدند. بنابراین به این طریق مؤلفه‌های مختلف تغییرپذیری داده‌های ماهانه دمای سطحی و فشار تراز دریا در مقیاس‌های زمانی مجزا مورد مطالعه قرار گرفته‌اند.

می‌توانند از مشاهدات پیشین با دقت مناسب توسط یک مدل تحلیلی پیش‌بینی شوند. ۲- در لایه تحتانی جو، دما و فشار به قدر کافی با همدیگر در بعضی از مقیاس‌های زمانی مرتبط هستند، به طوری که مقادیر ماهانه دما می‌توانند از مشاهدات ماهانه‌ی پیشین یا حال حاضر فشار تا حد زیادی پیش‌بینی شود. تا جایی که ما می‌دانیم، این مطالعه اولین تلاش برای مشخص‌سازی رابطه بین این کمیت‌ها بر روی مقیاس‌های زمانی مختلف بر روی ایران است. در اینجا، ما روابط چندمقیاسی مشاهده شده بین دماهای سطحی و فشار در تراز دریا را بر اساس داده‌های ماهانه مورد بررسی قرار داده‌ایم.

## ۲. داده‌ها و منطقه مورد مطالعه

منطقه انتخاب شده برای مطالعه، حوزه‌ای است که کشور ایران را در محدوده عرض جغرافیایی ۴۴ تا ۶۲ درجه شرقی و ۲۵ تا ۴۰ درجه شمالی دربرمی‌گیرد (شکل ۱). برای انجام تحلیل‌ها داده‌های شبکه‌ای بازتحلیل به صورت میانگین ماهانه از مرکز NCEP/NCAR دریافت شد. این داده‌ها در دوره آماری ۷۳ ساله از سال ۱۹۴۸ تا پایان سال ۲۰۲۰ در نظر گرفته شده است و محاسبات آماری برای متغیرهای دما و فشار بر روی نقاط شبکه انجام شده است. علاوه بر این، در تعدادی از ایستگاه‌های همدیدی بر روی ایران که در شکل ۱ موقعیت مکانی آنها نشان داده شده است، تحلیل همبستگی (Correlation) و وایزش (Regression) برای مقیاس‌های مختلف زمانی تغییرپذیری‌ها انجام شده است.



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه بر روی ایران و ایستگاه‌های انتخاب شده برای بررسی مجزا.

## ۳. روش پژوهش

$$C_{xy} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad (3)$$

همچنین در رابطه (۲) و (۳)،  $s_x$  و  $s_y$  نشان‌دهنده انحراف معیارها برای دو سری  $x$  و  $y$  هستند و  $\bar{x}$  و  $\bar{y}$  میانگین نمونه برای دو مجموعه داده است.

همبستگی پیرسون به‌عنوان یک سنجش کلی می‌تواند بین هر جفت از مشاهدات در تأخیرهای زمانی مختلف محاسبه شود (یعنی: همبستگی تأخیری: Lagged correlation). تأخیر "m" به این معناست که m مقدار اول از یکی از سری‌ها، مثلاً سری  $y$ ، حذف می‌شود به طوری که  $y_{m+1}$  در این حالت  $y_1$  جدید در نظر گرفته می‌شود و به همین صورت الی آخر (دامسون و امری، ۲۰۱۴). اگر رابطه‌ای معنادار بین دو متغیر وجود داشته باشد، این رابطه می‌تواند از همبستگی‌های بالا بین آنها در یک تأخیر زمانی خاص پیدا شود. در این مطالعه، ضرایب همبستگی در تأخیرهای متوالی به‌منظور یافتن روابط با اهمیت محاسبه شده‌اند.

برای ایستگاه‌های انتخابی بر روی ایران، داده‌های شبکه‌ای بازتحلیل NCEP/NCAR در ابتدا بر روی نقاط ایستگاهی درون‌یابی و استانداردسازی شده‌اند. سپس با رسم نمودارهای پراکنش و تحلیل وایزشی (لی و همکاران، ۲۰۲۳) برای داده‌های خام و پالایش شده (در سه نوار بسامدی درون‌سالانه، سالانه، و برون‌سالانه)، مدل وایزش خطی بر داده‌های اصلی و بازتولید شده‌ی ماهانه در تعدادی از ایستگاه‌های نمونه (در نقاط مختلف ایران) در دوره آماری ۱۹۴۸-۲۰۲۱ برآزش داده شده است.

## ۴. بحث و بررسی نتایج

## ۴-۱. میانگین‌های بلندمدت دما و فشار سطحی

میانگین سالانه دمای سطحی (در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال) و فشار سطحی در تراز دریا برای کل دوره آماری در شکل ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشهود است، به‌طور کلی مناطق با فشار میانگین کمتر با مناطق با دمای میانگین بالاتر تقریباً منطبق هستند و مناطق با فشار بیشتر نیز با مناطق با دمای میانگین کمتر همخوانی دارند (شکل ۲-الف و ۲-ب را ببینید). به‌طور نمونه در

ابتدا داده‌های خام بازتحلیل ماهانه در هر کدام از نقاط شبکه با استفاده از روش نرمال‌سازی نمره Z، استاندارد شده‌اند. نرمال‌سازی Z به فرایندی گفته می‌شود که هر مقدار در مجموعه داده نرمال می‌شود به طوری که میانگین همه مقادیر صفر و انحراف معیار آنها یک باشد. این رویکرد یک تبدیل خطی است که توزیع آماری داده‌ها را تغییر نمی‌دهد. نمره Z بر طبق معادله زیر محاسبه می‌شود (هان و همکاران، ۲۰۲۳؛ ویلکس، ۲۰۱۹):

$$Z = \frac{x - \bar{x}}{s_x} \quad (1)$$

در رابطه (۱)،  $x$  نشان‌دهنده داده خام،  $\bar{x}$  میانگین و  $s_x$  انحراف معیار نمونه برای کل دوره است. این نرمال‌سازی فرایند ارزیابی نوسان‌های داده‌های مختلف را در صورتی که آنها میانگین‌ها و انحراف معیارهای متفاوتی داشته باشند، ساده می‌کند. در این حالت واحدهای فیزیکی داده‌های اولیه از بین می‌روند و در نتیجه بی‌هنجاری‌های استاندارد همیشه کمیت‌های بدون بُعد هستند.

سری‌های زمانی استاندارد شده توسط پالایه خطی لنزوس به سه نوار طیفی شکسته شده‌اند. نوار اول (۲-۱۱ ماه) متناظر با آفت و خیزهای درون‌سالانه و نوار دوم (۹-۱۳ ماه) نشان‌دهنده تغییرات سالانه می‌باشد. نوار سوم (۱۳-۴۰ ماه) که از داده‌ها جداسازی شده است، نشان‌دهنده آفت و خیزهای بین‌سالی و بین‌دهه‌ای می‌باشد (یعنی تغییرپذیری بلندمدت: مؤلفه کم‌بسامد).

برای سنجش ارتباط بین داده‌ها از تحلیل همبستگی در تأخیرهای زمانی مختلف استفاده شد. ضریب همبستگی (r) روشی برای تعیین این مسئله است که تا چه اندازه دو مجموعه از داده‌ها به‌طور خطی در زمان یا فضا با هم تغییر می‌کنند. برای دو متغیر تصادفی  $x(x_1, x_2, \dots, x_N)$  و  $y(y_1, y_2, \dots, y_N)$  ضریب همبستگی پیرسون به‌صورت زیر بیان می‌شود (دامسون و امری، ۲۰۱۴):

$$r = \frac{C_{xy}}{s_x s_y} \quad (2)$$

در اینجا  $C_{xy}$  هم‌وردایی (Covariance) مربوط به سری‌های  $x$  و  $y$  است که به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

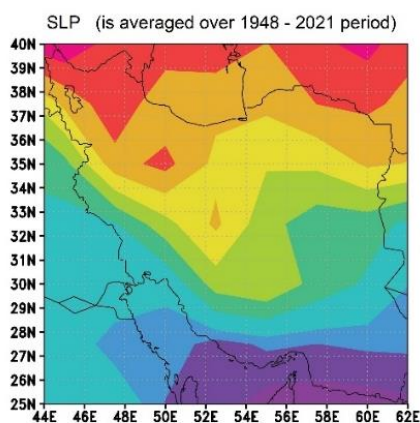
افزایش دما به میزان  $0.4$  تا  $0.6$  درجه سانتی‌گراد در منتهی-الیه شمال‌غرب ایران رخ داده است. به‌طور کلی از سمت شمال‌غرب و جنوب‌شرق به سمت مناطق داخلی و مخصوصاً به سمت شمال‌شرق، افزایش دمای بیشتری اتفاق افتاده است. در مورد فشار سطحی در تراز دریا در شکل ۳-ب، بیشترین افزایش فشار در شمال‌غرب ایران اتفاق افتاده که با منطقه کمترین افزایش دما مطابقت دارد. این افزایش فشار در بیشترین حالت به بیش از  $4/5$  هکتوپاسکال می‌رسد. بنابراین می‌توان این‌طور استنباط کرد که احتمالاً افزایش میانگین فشار در این منطقه اثرات افزایش دما (ناشی از تأثیر گرمایش زمین) را تا حدودی خنثی کرده است.

کمترین میزان افزایش فشار نیز در سواحل جنوبی کشور و در مجاورت دریای عمان و خلیج فارس مشاهده می‌شود (کمتر از  $1/5$  هکتوپاسکال). به‌طور کلی در نیمه غربی ایران با افزایش عرض جغرافیایی، افزایش روند مثبت تغییرات فشار و کاهش روند مثبت تغییرات دما در دوره آماری تحت بررسی اتفاق افتاده است. در نیمه شرقی ایران با افزایش عرض جغرافیایی افزایش دما بیشتر شده است، اما روند تغییرات فشار ابتدا کاهشی و سپس افزایشی است (شیب تغییرات در راستای طول جغرافیایی کمتر است).

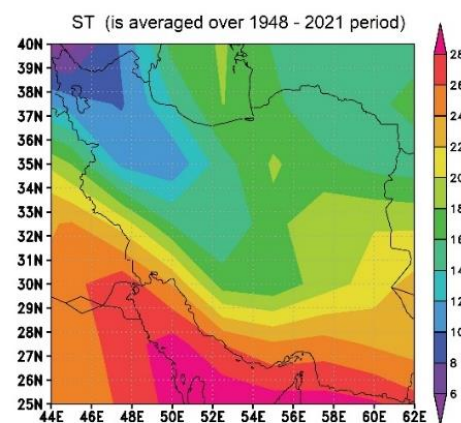
شمال‌غرب ایران مناطق با دمای میانگین کمتر از  $10$  درجه سانتی‌گراد با مناطقی که میانگین فشار تراز دریا در آنها بیشتر از  $1015$  هکتوپاسکال است، منطبق هستند و در جنوب‌شرق ایران که فشار میانگین به پایین‌تر از  $1009$  هکتوپاسکال می‌رسد، دمای میانگین به‌طور قابل ملاحظه‌ای نسبت به مناطق دیگر بالاتر است (بیش از  $26$  درجه سانتی‌گراد). روی هم رفته، بین الگوهای میانگین دمای سطحی و فشار ارتباط معکوسی با مقایسه الگوها قابل استنتاج است. البته تشخیص دقیق نوع ارتباط و شدت آن با به‌کارگیری تحلیل همبستگی در مقیاس‌ها و تأخیرهای زمانی متفاوت و همچنین روش‌های آماری مناسب دیگر قابل دستیابی است.

#### ۴-۲. توزیع فضایی روند تغییرات دما و فشار

روند خطی تغییرات دمای سطحی میانگین و فشار سطحی در تراز دریا برای داده‌های بازتحلیل NCEP/NCAR بر روی منطقه انتخابی در شکل ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود روند کلی افزایش دما در کل منطقه به ثبت رسیده است (شکل ۳-الف). بیشترین افزایش دما در دوره آماری مورد بررسی در منتهی‌الیه شمال‌شرق ایران به میزان  $1/6$  تا  $1/8$  درجه سانتی‌گراد و کمترین

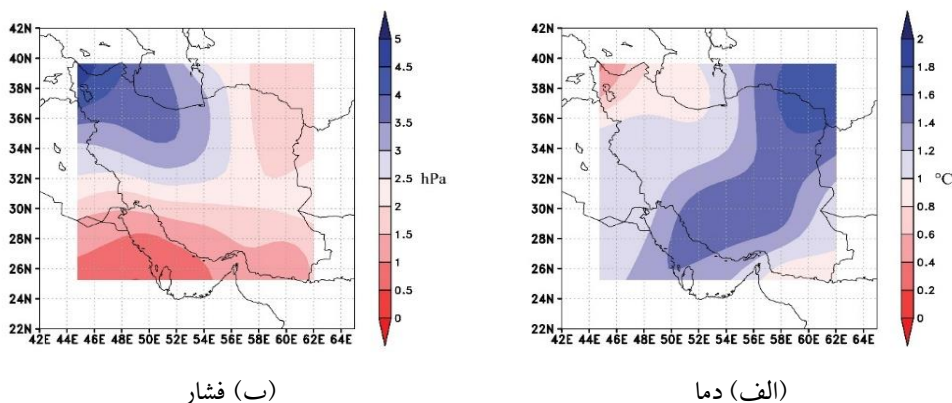


(ب) فشار



(الف) دما

شکل ۲. مقادیر میانگین داده‌های بازتحلیل برای دوره آماری ۱۹۴۸-۲۰۲۱ برای (الف) دمای هوای سطحی، و (ب) فشار سطحی در تراز دریا.



(ب) فشار

(الف) دما

شکل ۳. بزرگی روند تغییرات خطی داده‌های NCEP/NCAR طی دوره آماری ۱۹۴۸-۲۰۲۱ بر روی ایران: الف) برای دمای سطحی، و ب) برای فشار سطحی در تراز دریا.

مؤلفه‌های سالانه (منحنی قرمز رنگ) بسیار کوچک‌تر است و بنابراین تأثیر کمتری بر تغییرپذیری این کمیت‌ها در ایستگاه کرمانشاه دارند. به عبارت دیگر مؤلفه سالانه، مؤلفه غالب تغییرپذیری داده‌های ماهانه دما و فشار هستند و بعد از آن در ایستگاه مورد بررسی به ترتیب مؤلفه‌های درون‌سالانه و برون‌سالانه تأثیرگذار هستند. نتیجه کلی به دست آمده برای ایستگاه کرمانشاه، در مورد ایستگاه‌های دیگر نیز تا حدودی برقرار است و فقط دامنه مؤلفه‌ها در ایستگاه‌های مختلف تا حدودی با همدیگر متفاوت هستند.

#### ۴-۴. تحلیل همبستگی

شکل ۵، مقادیر ضریب همبستگی پیرسون بین سری‌های زمانی فشار و دما برای داده‌های خام (شکل ۵-الف) و برای مؤلفه سالانه (شکل ۵-ب) در نواحی مختلف ایران را در تأخیر زمانی صفر به تصویر می‌کشد. تأخیر زمانی صفر به معنای تحلیل همبستگی به صورت همزمان بر روی داده‌های فشار و دما است. تحلیلی که بر روی داده‌های استاندارد بازتحلیل (خام) انجام شده بیانگر کاهش همبستگی معکوس بین کمیت‌های فشار و دمای سطحی از سمت جنوب به سمت شمال غرب ایران است (حدود ۰/۹۵- در جنوب غرب و ۰/۸- در شمال غرب). به‌طور کلی می‌توان این‌طور بیان کرد که همبستگی معکوس بسیار بالا بین داده‌های ماهانه فشار و دما در سرتاسر ایران مشاهده می‌شود که از سمت شمال غرب به سمت جنوب و جنوب غرب

#### ۳-۴. نمایش سری‌های زمانی

شکل ۴، سری‌های زمانی داده‌های استاندارد شده دما و فشار سطحی را به‌طور نمونه در ایستگاه کرمانشاه در غرب ایران نشان می‌دهد (ایستگاه ۶ در شکل ۱). در این شکل علاوه بر سری‌های زمانی داده‌های خام استاندارد شده، سری‌های زمانی متناظر با داده‌های تجزیه شده به مؤلفه‌های درون‌سالانه، سالانه، و برون‌سالانه نشان داده شده‌اند. مؤلفه سالانه تغییرات دما به همراه داده‌های خام نرمال شده دما در شکل ۴-الف و به‌طور متناظر برای فشار سطحی در شکل ۴-ب نمایش داده شده است. نوسان‌های سینوسی نسبتاً منظم در داده‌های استاندارد شده فشار و دما در طول دوره آماری مشاهده می‌شود که برای فشار و دما در فاز مخالف قرار گرفته‌اند. تفاوت دامنه نوسان مؤلفه سالانه با دامنه نوسان داده‌های خام برای فشار نسبت به دما بیشتر است که این خود نشان‌دهنده حضور مؤثرتر تغییرپذیری‌های درون سالانه و برون‌سالانه در داده‌های فشار است.

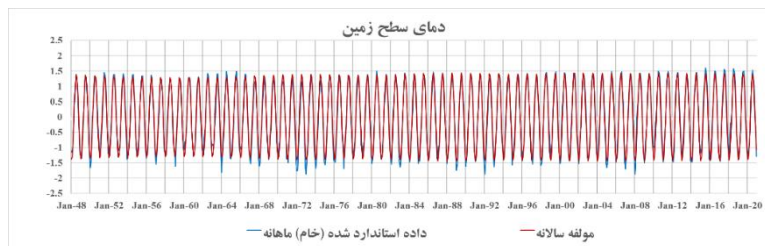
شکل‌های ۴-ب و ۴-ت نیز تغییرپذیری‌های درون سالانه و برون سالانه را به ترتیب در داده‌های دما و فشار سطحی نشان می‌دهند. همان‌طور که مشاهده می‌شود دامنه نسبتاً بزرگ‌تر تغییرات درون سالانه نسبت به تغییرات برون سالانه نشان‌دهنده اهمیت بیشتر این تغییرپذیری‌ها در اثرگذاری بر فشار سطح زمین و دمای سطحی در ایستگاه کرمانشاه است. با این وجود، دامنه اُفت و خیزهای دما و فشار مخصوصاً برای مؤلفه‌های برون‌سالانه (منحنی زرد رنگ) نسبت به



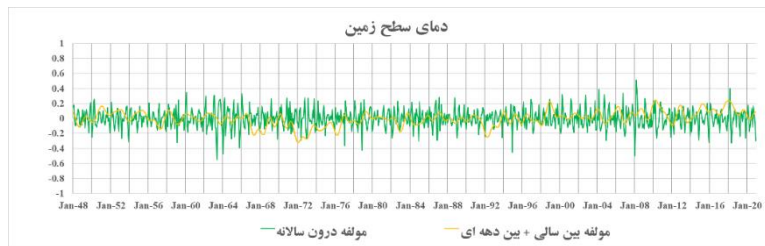
بیش از ۰/۹۸-) وجود دارد و کمترین همبستگی معکوس در منطقه کوچکی در شمال غرب ایران مشاهده می‌شود (ضریب همبستگی حدود ۰/۹-). به عبارت دیگر تغییرات ضریب همبستگی برای مؤلفه‌های سالانه دما و فشار بین نواحی شمالی و جنوبی ایران حدود ۱۰٪ است. مناطق با همبستگی بالاتر یا پایین‌تر برای مؤلفه سالانه با الگوی داده‌های اولیه (خام) همخوانی بسیار زیادی دارند که بیانگر ارتباط دوسویه قابل توجه فشار و دما ناشی از مقیاس تغییرپذیری‌های سالانه (حدود ۱ سال) در داده‌های ماهانه در مناطق مختلف ایران است.

ضریب همبستگی حداکثر تا ۲۰٪ افزایش می‌یابد. این همبستگی معکوس و شدید به دلیل تغییرات فصلی فشار و دما بر روی ایران است، به طوری که در فصل گرم سال (سرد سال) میانگین فشار سطح زمین کاهش (افزایش) و دما افزایش (کاهش) می‌یابد.

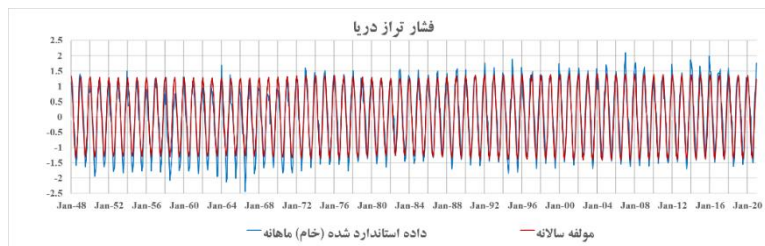
در شکل ۵-ب مقادیر ضریب همبستگی برای مؤلفه سالانه فشار و دما (سامدهای مرتبط با دوره تناوب‌های ۱۱ تا ۱۳ ماه) به نمایش درآمده است. همان‌طور که انتظار می‌رود، برای مؤلفه سالانه نیز الگوی همبستگی معکوس بسیار زیاد در همه مناطق کشور مخصوصاً در نیمه جنوبی (همبستگی



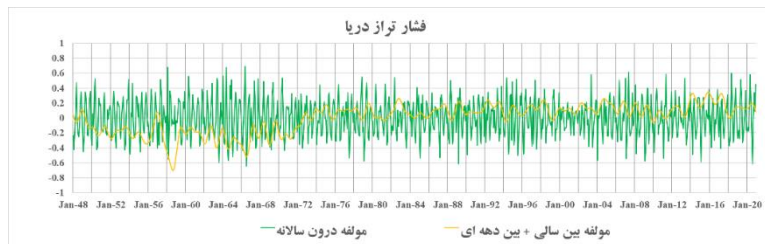
(الف)



(ب)

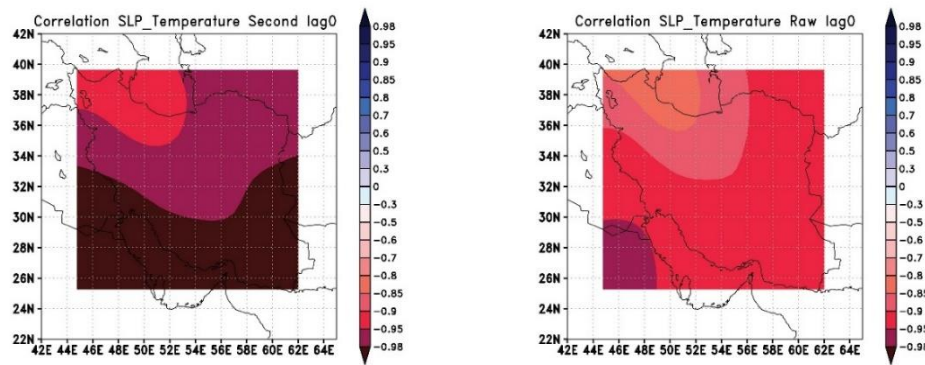


(پ)



(ت)

شکل ۴. سری‌های زمانی دمای سطحی و فشار در تراز دریا در شکل استاندارد شده برای ایستگاه کرمانشاه طی دوره آماری ۱۹۴۸-۲۰۲۱: الف) برای داده‌های خام استاندارد شده و مؤلفه سالانه دمای سطح زمین، ب) برای مؤلفه‌های درون‌سالی و برون‌سالی دمای سطح زمین، پ) برای داده‌های خام استاندارد شده و مؤلفه سالانه فشار تراز دریا، و ت) برای مؤلفه‌های درون‌سالی و برون‌سالی فشار تراز دریا.



(ب) مؤلفه‌های سالانه در داده‌ها (تأخیر صفر)

(الف) داده‌های خام استاندارد شده (تأخیر صفر)

شکل ۵. الگوی همبستگی بین فشار و دما برای داده‌های NCEP/NCAR در تأخیر زمانی صفر برای: الف) داده‌های خام، و ب) مؤلفه‌های سالانه.

مشاهده می‌شود. در باقی نواحی نیمه شمالی ایران عدم تغییر ضریب همبستگی و در ناحیه جنوب شرق کشور بیشترین کاهش ضریب همبستگی در این تأخیر زمانی رخ می‌دهد (۰/۸۵- تا ۰/۹-). بنابراین به‌طور کلی ارتباط معکوس بین این دو کمیت در نوار بسامدی مرتبط با مقیاس سالانه در بعضی از مناطق کشور در تأخیر صفر و در مناطق دیگری در تأخیر زمانی یک ماه افزایش می‌یابد (در شمال غرب: افزایش بزرگی ضریب همبستگی در تأخیر زمانی یک نسبت به تأخیر زمانی صفر). به عبارت دیگر تغییرات فشار ناشی از مؤلفه سالانه با یک ماه تأخیر بر تغییرات دمای ناشی از همان مؤلفه در منطقه شمال غرب اثر می‌گذارد.

در شکل ۶-پ و ۶-ت در تأخیر زمانی دو ماه، ضریب همبستگی برای سری‌های زمانی داده‌های خام فشار و دما و همچنین برای مؤلفه سالانه سری‌های زمانی کاهش قابل توجهی را نسبت به تأخیر صفر نشان می‌دهد (ضریب همبستگی: ۰/۵- تا ۰/۷-). به عبارت دیگر تأثیر تغییرات فشار در یک ماه مشخص بر دمای دو ماه بعد از آن به سرعت کاهش می‌یابد. الگوی همبستگی به گونه‌ای است که ضرایب همبستگی کمتر در جنوب شرق و ضرایب همبستگی بیشتر در شمال غرب ایران مشاهده می‌شود. بنابراین در این حالت تضعیف ضریب همبستگی نسبت به تأخیر زمانی صفر در شمال غرب کمتر از جنوب شرق می‌باشد.

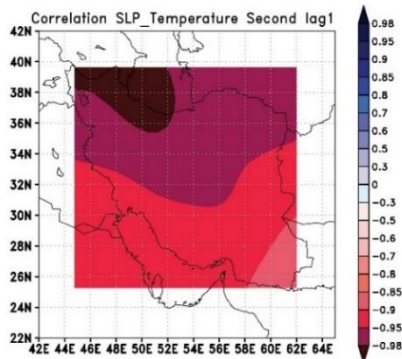
تغییرات ضریب همبستگی نسبت به تأخیر زمانی بین مؤلفه‌های درون‌سالی فشار و دما (۲ تا ۱۱ ماه) در شکل ۷

به‌منظور بررسی تأثیر تأخیر زمانی بین سری‌های زمانی فشار و دما (داده‌های خام و مؤلفه سالانه) بر مقدار همبستگی، مقدار ضریب همبستگی در تأخیرهای زمانی متفاوت محاسبه شده است. فرض شده است که فشار عامل تأثیرگذار بر دما در زمان‌های بعدی باشد (فرض معکوس را نیز می‌توان در نظر گرفت). شکل ۶ ضریب همبستگی بین سری‌های زمانی داده‌های اولیه و مؤلفه سالانه آنها را در تأخیرهای زمانی یک و دو ماه را به نمایش می‌گذارد. تأخیر یک ماه و دو ماه به ترتیب نشان‌دهنده این موضوع هستند که فشار سطح زمین بر دمای یک و دو ماه بعد چقدر تأثیرگذار است (شرط همزمانی در این حالت در نظر گرفته نمی‌شود). برای داده‌های خام در شکل ۶-الف، ضریب همبستگی در اکثر مناطق ایران مخصوصاً مناطق جنوبی نسبت به تأخیر زمانی صفر کاهش می‌یابد و از لحاظ بزرگی مشابه با مقادیر آنها در شمال غرب ایران در تأخیر زمانی صفر می‌شود (۰/۸- تا ۰/۹-). بنابراین در مقایسه با شکل ۵-الف بیشترین کاهش ضریب همبستگی در این حالت در مناطق جنوبی تر اتفاق افتاده است.

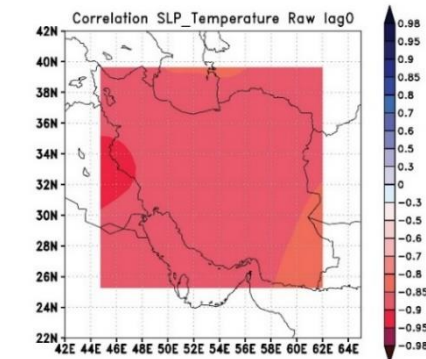
برای مؤلفه سالانه (یک سال) داده‌های دما و فشار، مقادیر ضریب همبستگی در شکل ۶-ب نشان‌دهنده افزایش ارتباط معکوس بین این دو کمیت در تأخیر زمانی یک نسبت به تأخیر زمانی صفر در مناطقی است که ضریب همبستگی در تأخیر زمانی صفر از لحاظ بزرگی کوچک‌تر بوده است. بنابراین در ناحیه‌ای از شمال و شمال غرب افزایش ضریب همبستگی (مقادیر بزرگ‌تر از ۰/۹۸-)

مشاهده می‌شود که همبستگی‌های مثبت در شمال و همبستگی‌های منفی در جنوب قرار گرفته‌اند، اما بزرگی ضرایب همبستگی در کل کشور در این تأخیر زمانی کوچک هستند. ویژگی بارز تأخیر زمانی سه ماه بزرگ‌تر بودن ضرایب همبستگی منفی در ناحیه جنوب شرق ایران است (۰/۵- تا ۰/۶-) و اندازه ضرایب همبستگی به سمت شمال غرب کاهش می‌یابد و در نهایت در این ناحیه مثبت می‌شود. در تأخیر زمانی چهار ماه تا شش ماه، علامت ضرایب همبستگی به طور کلی بر روی بیشتر مناطق کشور مثبت می‌شود که این تغییر علامت می‌تواند نشان‌دهنده یک مؤلفه شبه‌تناوبی با بسامد بالا در مؤلفه‌های درون‌سالانه سری‌های زمانی تحلیل شده باشد (شکل‌های ۷-ث، ۷-ج و ۷-چ). همان‌طور که در تأخیرهای زمانی پنج و شش ماه مشاهده می‌شود، بیشترین ضرایب همبستگی مثبت (۰/۴+) تا ۰/۶+ در جنوب شرق ایران آشکار می‌شود که به سمت نواحی شمالی و شمال‌غربی کاهش می‌یابد.

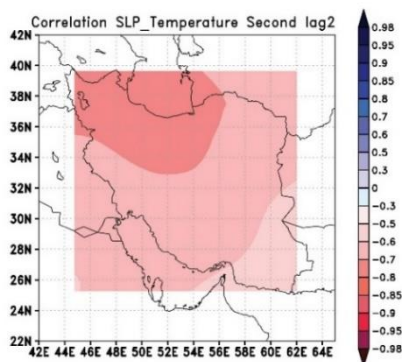
نشان داده شده است. از آنجایی که این مؤلفه درون‌سالی نشان‌دهنده تغییرات پُرسامد در سری‌های زمانی ماهانه است، بنابراین با تغییر تأخیر زمانی به میزان کم (ایجاد اختلاف فاز)، تغییرات بزرگتری در ضریب همبستگی بین سری‌های زمانی بازتولید شده ایجاد خواهد شد. در تأخیر زمانی صفر در شکل ۷-الف، بزرگ‌ترین ضرایب همبستگی منفی در مناطق شمال شرق و شمال غرب ایران مشاهده می‌شود که در شمال شرق به حدود ۰/۶- تا ۰/۷- می‌رسد. با حرکت به سمت عرض‌های جغرافیایی جنوبی، همبستگی بین مؤلفه‌های درون‌سالی فشار و دما ابتدا به صفر کاهش می‌یابد و در منتهی‌الیه جنوب شرق مقدار ضریب همبستگی به ۰/۳+ تا ۰/۴+ می‌رسد (تغییر علامت ضریب همبستگی به مثبت). در تأخیر زمانی یک ماه، تغییرات زیادی در الگوی همبستگی ایجاد می‌شود و در نیمه غربی منفی و در نیمه شرقی مثبت و کوچک است (شکل ۷-ب). در تأخیر زمانی دو ماه، الگویی معکوس با تأخیر زمانی صفر



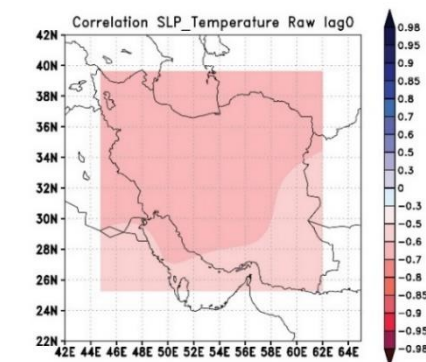
(الف) داده‌های سالانه در داده‌ها (تأخیر ۱)



(ب) داده‌های خام استاندارد شده (تأخیر ۰)

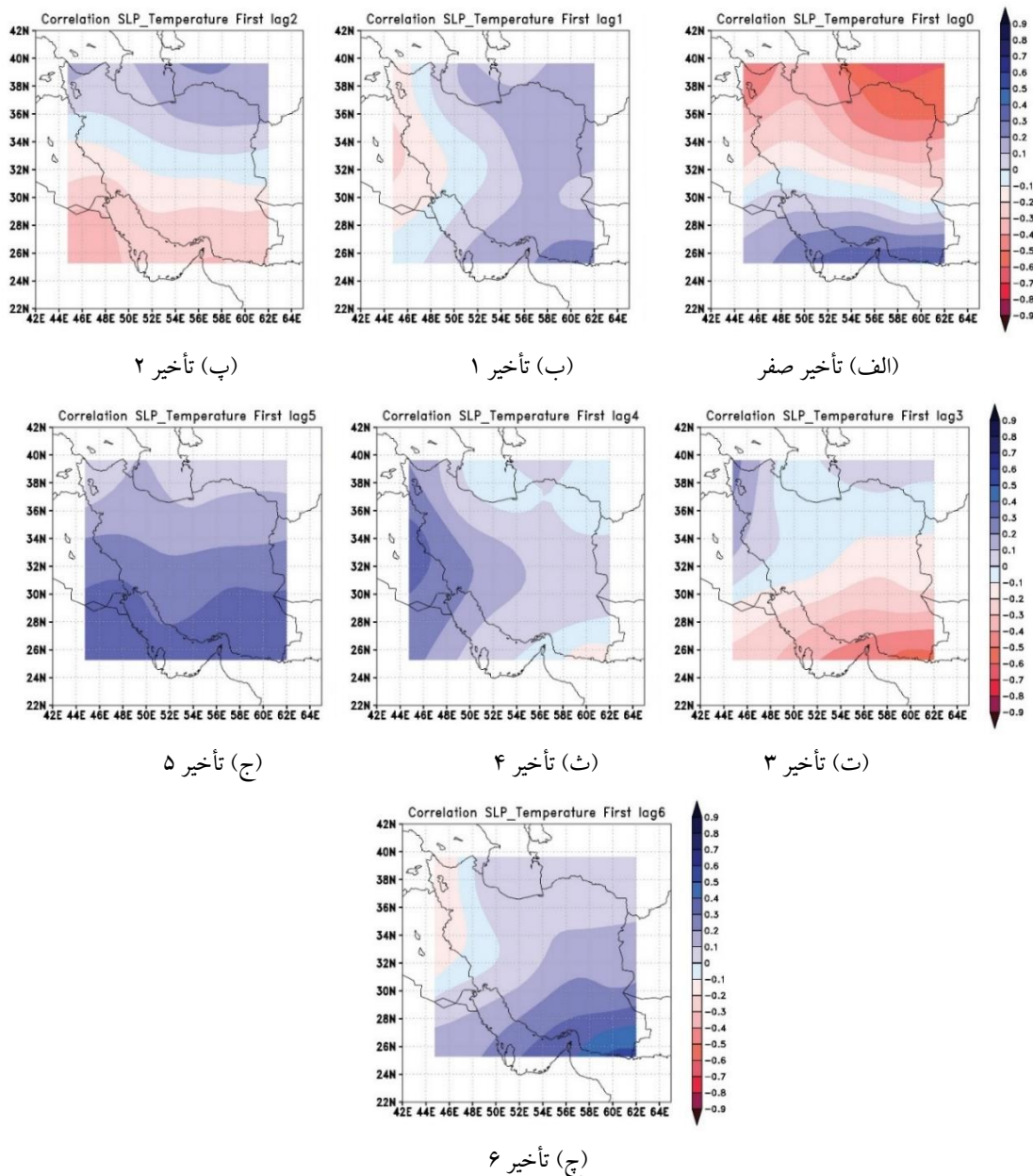


(ت) مؤلفه‌های سالانه در داده‌ها (تأخیر ۲)



(پ) داده‌های خام استاندارد شده (تأخیر ۰)

شکل ۶. مشابه با شکل ۵، اما برای: الف) و ب) تأخیر زمانی یک ماه، پ) و ت) تأخیر زمانی دو ماه.



شکل ۷. الگوی همبستگی بین مؤلفه‌های درون‌سالی فشار و دما: (الف تا ج) برای تأخیرهای زمانی صفر تا ۶ ماه.

و همچنین در زمان رخداد هماهنگ سری‌های زمانی بازتولید شده (تأخیر صفر) در شکل ۸ نشان داده شده است. بایستی توجه داشت که برای دیدن اثرات احتمالی مؤلفه‌های کم بسامد فشار و دما بر همدیگر و تأثیر آنها بر الگوی همبستگی برون‌سالی، تأخیرهای زمانی بزرگ‌تر هم در نظر گرفته شده است (به دلیل اختلاف فاز زمانی محتمل بین مؤلفه‌های مشابه سری‌های زمانی در آن مقیاس‌ها و تأثیر آنها بر یکدیگر و بر ضریب همبستگی). در تأخیر زمانی صفر ضریب همبستگی در مناطق شرق، شمال‌شرق و

به‌طور کلی نواحی با ضریب همبستگی منفی نسبتاً بالا در شمال‌شرق ایران در تأخیر زمانی صفر و در جنوب‌شرق در تأخیر زمانی سه ماه قرار گرفته‌اند. همچنین مناطق با ضریب همبستگی مثبت بالا در جنوب‌شرق در تأخیرهای زمانی صفر و یک ماه، و همچنین پنج و شش ماه قرار گرفته‌اند. بنابراین در مناطق ذکر شده تأثیر متقابل مؤلفه‌های درون سالانه فشار و دما بر همدیگر بیشتر می‌باشد. همبستگی بین مؤلفه‌های برون‌سالی (بین‌سالی + بین‌دهه‌ای) فشار و دما در تأخیرهای زمانی ۶، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ ماه

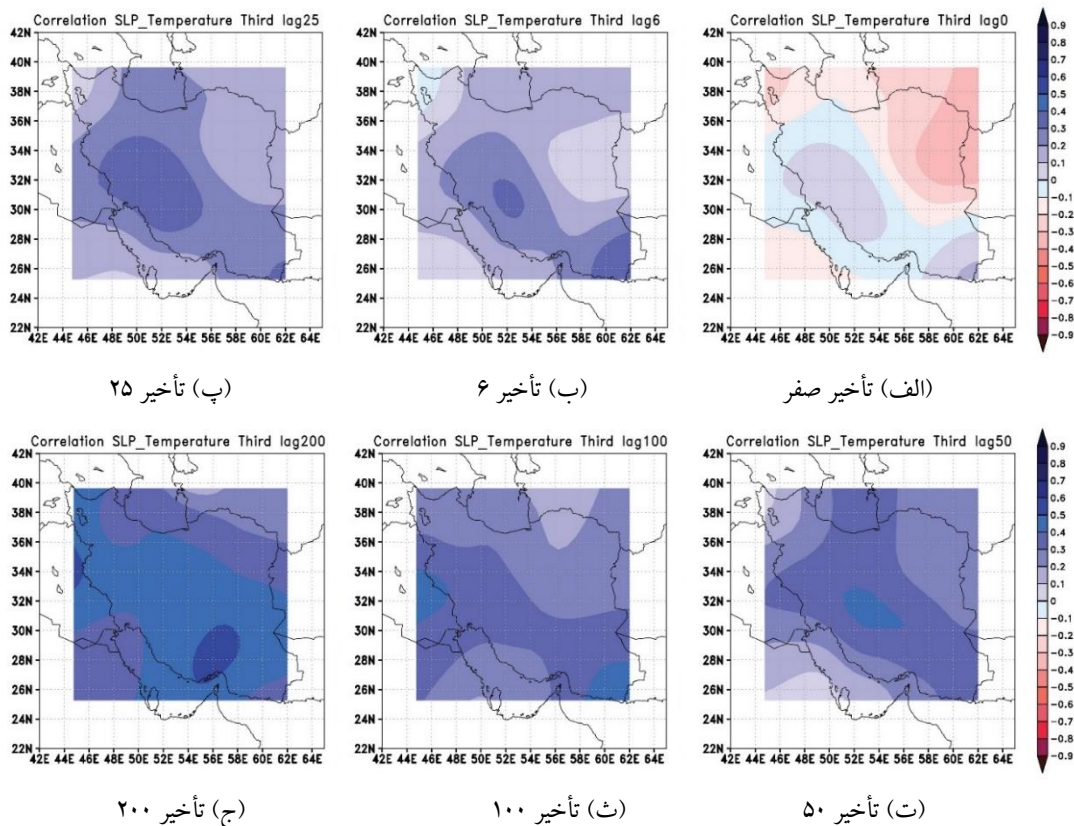
شبه‌تناوبی برون‌سالی مشترک (اما با اختلاف فاز) در سری‌های زمانی فشار و دمای سطحی است که می‌تواند ناشی از تغییرپذیری پدیده‌های دیگر مانند دورپیوندها در سامانه اقلیم باشد.

#### ۴-۵. تحلیل همبستگی در ایستگاه‌های انتخابی

در این بخش، همبستگی تأخیری در تأخیرهای متوالی که نشانگر الگوی تابع همبستگی متقابل بین داده‌های دما و فشار سطحی است در ایستگاه‌های منتخب مورد مطالعه قرار گرفته است. شکل ۹ مقادیر ضرایب همبستگی مؤلفه‌های درون‌سالانه فشار و دما (۲ تا ۱۱ ماه) در ایستگاه‌های انتخابی بر روی ایران را در تأخیرهای زمانی صفر تا ۳۸ ماه بر حسب % نشان می‌دهد. مقادیر همبستگی در تأخیرهای زمانی ۰، ۱۲، ۲۴ و ۳۶ ماه که معرف شروع یک چرخه سالانه (۱۲ ماهه) جدید می‌باشند با رنگ قرمز نمایش داده شده‌اند. مقادیری که با رنگ سبز نشان داده شده‌اند بیانگر ضرایب همبستگی با اهمیت‌تر در تأخیرهای زمانی مشخص هستند. با توجه به اینکه مؤلفه‌های درون سالانه می‌توانند شامل مؤلفه‌های شبه‌تناوبی با دوره تناوب‌های ۲ تا ۱۱ ماه باشند، بنابراین در صورت وجود این مؤلفه‌ها در سری‌های زمانی بازسازی شده دما و فشار، دوره تناوب مرتبط در الگوی تغییرات ضریب همبستگی نسبت به تأخیرهای زمانی در هر سال کامل تکرار می‌شود. بزرگ‌تر بودن ضریب همبستگی در این حالت می‌تواند نشان‌دهنده اهمیت بیشتر آن مؤلفه خاص باشد. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود یک الگوی تکرار مشخص در هر سال کامل (هر ۱۲ ماه) در ایستگاه‌های مختلف انتخاب‌شده روی می‌دهد که این الگوی همبستگی منحصر به آن ایستگاه خاص است.

شمال‌غرب ایران منفی است و بیشترین ضریب همبستگی منفی (۰/۳- تا ۰/۴-) در شرق و شمال‌شرق ایران مشاهده می‌شود. از سمت شمال‌شرق به سمت جنوب، غرب و جنوب‌غرب، کاهش ضریب همبستگی منفی بین مؤلفه‌های برون‌سالی ایجاد می‌شود و در جنوب‌شرق کشور ضریب همبستگی به بیشینه مقدار مثبت خود می‌رسد (شکل ۸-الف). ضرایب همبستگی منفی نسبت به تأخیر زمانی به تدریج کاهش یافته و به سمت صفر و مقادیر مثبت تغییر می‌کنند. همچنین در مناطقی که ضریب همبستگی مثبت در تأخیر صفر وجود دارد، در تأخیرهای بعدی ضریب همبستگی مثبت تقویت می‌شود. در تأخیر زمانی ۶، ضریب همبستگی این مؤلفه‌ها برای فشار و دما تقریباً در همه مناطق مثبت است که در جنوب‌شرق و مناطقی از جنوب به بیشینه مقدار خود می‌رسد (۰/۳+ تا ۰/۴+ : شکل ۸-ت).

برای تأخیر زمانی ۲۵ ماه (تقریباً ۲ سال) تا تأخیر زمانی ۵۰ ماه (تقریباً ۴ سال)، ضریب همبستگی مثبت در بسیاری از بخش‌های کشور تقویت شده است و در تأخیر ۵۰، در نواحی مرکزی ایران به ۰/۴+ تا ۰/۵+ رسیده است (شکل ۸-ب). در تأخیر ۱۰۰ ماه، در ناحیه کوچکی در غرب و جنوب‌شرق بیشینه ضریب همبستگی بین مؤلفه‌های مشابه در سری‌های زمانی فشار و دما مشاهده می‌شود و در باقی مناطق نیز ضریب همبستگی نسبت به تأخیرهای پیشین مثبت و نسبتاً پایدار است (شکل ۸-ث). در تأخیر زمانی ۲۰۰، مناطق با همبستگی مثبت بزرگ‌تر بر روی کشور گسترش یافته‌اند و ضریب همبستگی به ۰/۵+ تا ۰/۶+ رسیده است (شکل ۸-ج). بنابراین با اختلاف فاز (زمانی) چندین سال (۲ تا ۱۶ سال) ضریب همبستگی مثبت تمایل به افزایش بیشتر بر روی کشور دارد که نشان‌دهنده حضور مؤلفه‌های



شکل ۸. الگوی همبستگی بین مؤلفه‌های برون‌سالی فشار و دما: (الف) تا (ج) برای تأخیرهای زمانی صفر، ۶، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ ماه.

با این وجود، این ارتباط بیشینه در جهت معکوس عمل می‌کند و مقادیر مثبت (منفی) افت و خیزهای فشار منجر به مقادیر منفی (مثبت) افت و خیزهای دما ناشی از این مؤلفه بسامدی می‌شود. بنابراین تغییرات پر بسامد در سامانه اقلیم که مؤثر بر تغییر فشار در این ایستگاه است، بر دمای سطحی هم با اختلاف فاز زمانی اثر می‌گذارد. در تأخیرهای ۵، ۱۱، ۱۷، ۲۳، ۲۹ و ۳۵ بیشینه ضریب همبستگی مثبت مشاهده می‌شود (حدود +۳۰٪). با توجه به دو مرتبه تکرار برای بیشینه مثبت و منفی ضریب همبستگی در هر سال کامل، می‌توان نتیجه گرفت که مؤلفه ۶ ماهه فشار از بین مؤلفه‌های پر بسامد مهم‌ترین مؤلفه تأثیرگذار بر تغییرات متناظر دما در این ایستگاه است.

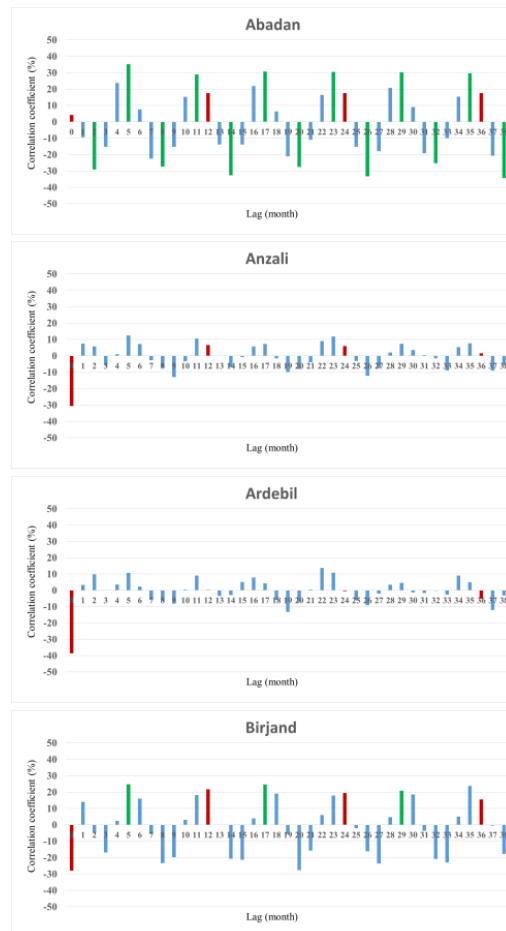
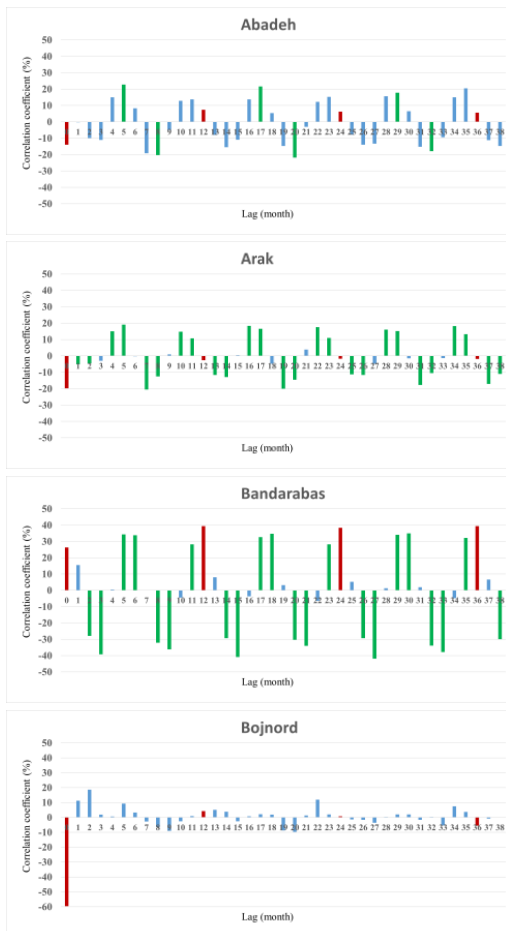
برای ایستگاه بجنورد در شمال شرق و ایستگاه‌های انزلی، تبریز، خوی، اردبیل در شمال غرب کشور، بیشترین ضریب همبستگی (منفی) در تأخیر صفر مشاهده می‌شود. در این حالت ضریب همبستگی در ایستگاه بجنورد به ۶۰٪- می‌رسد. علی‌رغم اینکه یک الگوی

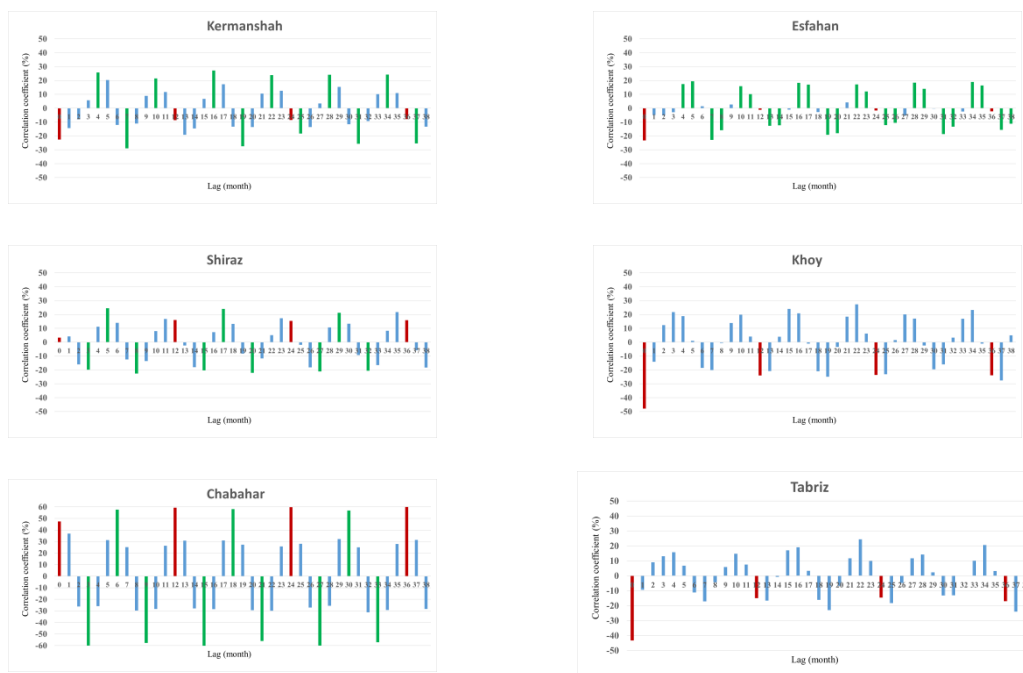
به‌طور نمونه در ایستگاه آبادان در جنوب غرب کشور (ایستگاه ۱۱ در شکل ۱)، با شروع از تأخیرهای زمانی صفر، ۱۲، ۲۴ و ۳۶ با ضریب همبستگی مثبت، در دو تأخیر متوالی بعدی (تأخیر ۱ و تأخیر ۲، تأخیر ۱۳ و تأخیر ۱۴، تأخیر ۲۵ و تأخیر ۲۶، تأخیر ۳۷ و ۳۸) ضریب همبستگی منفی می‌شود و به تدریج افزایش می‌یابد که بیشینه‌های منفی در این حالت با رنگ سبز نشان داده شده‌اند (حدود -۳۰٪). به عبارت دیگر می‌توان گفت در این ایستگاه مؤلفه فشار درون‌سالانه بعد از گذشت سه ماه بر مؤلفه دمای درون‌سالانه بیشترین اثر معکوس را دارد (افزایش [کاهش] مؤلفه درون‌سالانه فشار در این ایستگاه: کاهش [افزایش] مؤلفه درون‌سالانه دما در سه ماه بعد). با توجه به اینکه مؤلفه درون‌سالانه نشان‌دهنده تغییرپذیری‌های پر بسامد (۲ تا ۱۱ ماه) در سری‌های زمانی داده‌های ماهانه هستند، می‌توان نتیجه گرفت که در این ایستگاه تغییرات فشار حال حاضر ناشی از افت و خیزهای پر بسامد در داده‌های فشار بر تغییرات متناظر دمای سطحی در سه ماه بعد اثرگذار است.

مشاهده می‌شود، به طوری که با عبور از تأخیرهای صفر، ۱۲، ۲۴ و ۳۶ ماه و اضافه شدن یک تأخیر زمانی، ضریب همبستگی مثبت کاهش قابل توجهی پیدا می‌کند و بعد از آن در دو تأخیر زمانی بعدی، ضریب همبستگی منفی و بزرگ‌تر می‌شود. در ادامه در تأخیرهای ۴، ۱۶، ۲۸ و غیره، کاهش معنادار ضریب همبستگی اتفاق می‌افتد و بعد از آن در دو تأخیر بعدی ضریب همبستگی مثبت و بزرگ‌تر می‌شود و به همین ترتیب این الگوی شبه تناوبی ادامه می‌یابد. این الگو یک چرخه ۵-۶ ماهه مؤثر را در داده‌های فشار و دما نشان می‌دهد. در ایستگاه چابهار این چرخه ۶ ماهه خیلی قوی‌تر با ضریب همبستگی حدود ۶۰٪+ در تأخیرهای ۰، ۶، ۱۲، ۱۸، ۲۴، ۳۰، ۳۶ ماه و غیره، و با ضریب همبستگی ۶۰٪- در تأخیرهای ۳، ۹، ۱۵، ۲۱، ۲۷، ۳۳ ماه و غیره مشاهده می‌شود. در ایستگاه‌های آباد، اراک، اصفهان، کرمانشاه و شیراز نیز الگوهای شبه تناوبی مشخصی اما با ضریب همبستگی پایین در تأخیرهای زمانی مختلف وجود دارد.

تکرار شونده در این ایستگاه‌های تبریز و خوی مشاهده می‌شود، با این وجود در تأخیرهای دیگر به غیر از تأخیر صفر ضریب همبستگی کوچک است. مقدار ضریب همبستگی بزرگ در تأخیر زمانی صفر و ضریب همبستگی بسیار کوچک در تأخیرهای زمانی دیگر در ایستگاه‌های بجنورد، انزلی و اردبیل گویای نوفه‌های تصادفی پس‌زمینه مشابه و هم‌فاز در مقیاس‌های درون سالانه سری‌های زمانی دما و فشار هستند. بنابراین به دلیل هم‌فاز (هم‌زمان) بودن این نوفه‌ها، با تغییر کوچک در تأخیر زمانی کاهش قابل توجه در ضریب همبستگی ایجاد می‌شود. این رفتاری است که از تابع همبستگی متقابل دو سری زمانی کاملاً تصادفی (نوفه سفید) و مشابه انتظار می‌رود.

برای ایستگاه بندرعباس در جنوب و چابهار در جنوب شرق کشور، ضرایب همبستگی مثبت در تأخیر زمانی صفر، ۱۲، ۲۴ و ۳۶ ماه نسبتاً بزرگ است و در ایستگاه چابهار به حدود ۶۰٪+ می‌رسد. در ایستگاه بندرعباس الگوی خاصی





شکل ۹. ضرایب همبستگی متقابل (%) برای مؤلفه درون‌سالانه سری‌های زمانی فشار و دما در تأخیرهای زمانی مختلف (تأخیر صفر تا تأخیر ۳۸ ماه) برای ایستگاه‌های انتخابی بر روی ایران.

طول همان سال در این ایستگاه بر هم منطبق نیستند (به عبارتی عقب افتادگی یک ماهه تغییرات دمای سطحی نسبت به تغییرات فشار در طول سال وجود دارد: احتمالاً به دلیل موقعیت جغرافیایی این ایستگاه بر روی کره زمین و عوامل مؤثر بر تغییرات دما در این ایستگاه).

شکل ۱۱، تغییرات ضرایب همبستگی نسبت به تأخیر زمانی را برای مؤلفه برون‌سالی (بین‌سالی + بین‌دهه‌ای) فشار و دمای سطحی در چند ایستگاه انتخابی نشان می‌دهد. از آنجایی که این نوار بسامدی شامل مؤلفه‌های کم‌بسامد است، بنابراین طیف وسیعی از تغییرپذیری‌ها در گستره وسیعی از مقیاس‌های زمانی را در بر می‌گیرد. البته اُفت و خیزهای شبه‌تناوبی مشترک در سری‌های زمانی در صورت وجود، اثر قوی‌تر خود را بر الگوی تابع همبستگی متقابل نسبت به تأخیر زمانی بر جای می‌گذارند. همچنین بزرگ بودن ضرایب همبستگی در تأخیر صفر و کوچک بودن آن در تأخیرهای دیگر نشان‌دهنده الگوهای تصادفی (نوفه پس‌زمینه) یکسان و همزمان در سری‌های زمانی بازتولید شده در مقیاس برون‌سالی برای فشار و دما است. در مقیاس برون‌سالی، ضرایب همبستگی در امتداد محور تأخیر زمانی

شکل ۱۰، تغییرات ضرایب همبستگی را برای مؤلفه سالانه (۱۱ تا ۱۳ ماه) فشار و دما در چند ایستگاه انتخابی نشان می‌دهد. به‌طور واضح، چرخه تناوبی مشترک ۱۲ ماهه در همه ایستگاه‌ها از طریق الگوی نمایش داده شده و ضرایب همبستگی مثبت و منفی بسیار بزرگ در تأخیرهای زمانی خاص قابل آشکارسازی است (هر ۱۲ ماه، چرخه تغییر ضرایب همبستگی تکرار می‌شود). الگوی نمایش داده شده برای ضرایب همبستگی گویای ارتباط کاملاً معکوس بین تغییرات مؤلفه سالانه فشار با دما است. در ایستگاه‌های چابهار و بیرجند، ضرایب همبستگی بیشینه و منفی در تأخیر صفر به سمت تأخیر زمانی ۳ ماه، روند کاهشی را طی می‌کند و بعد از آن به تدریج تا تأخیر ۶ ماه مثبت و بیشینه می‌شود. در ایستگاه تبریز، این فرایند با یک ماه وقفه اتفاق می‌افتد (اختلاف فاز ۳۰ درجه یا یک‌ماهه). به عبارت دیگر در این ایستگاه بیشینه ضرایب همبستگی منفی و مثبت به ترتیب در تأخیر ۱ و ۷ ماه روی می‌دهد. به عبارت دیگر تأثیر تغییرات سالانه فشار بر مؤلفه معادل در دمای سطحی در یک ماه بعد تقویت می‌شود. بنابراین کمینه فشار میانگین ماهانه در طول یک سال با بیشینه دمای میانگین ماهانه در

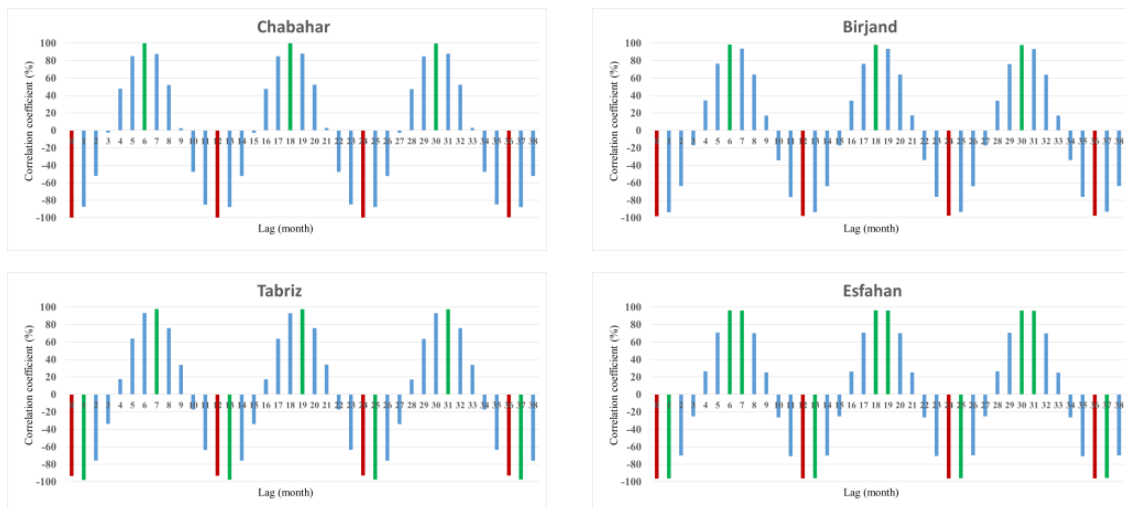


بر روی ایران با مدل وایزش خطی یا غیرخطی درجه دوم قابل برآزش است که در اینجا چهار ایستگاه چابهار، اصفهان و خوی به‌طور نمونه بررسی شده‌اند. میزان پراکنش داده‌ها حول مدل انتخاب شده و همچنین شدت مؤلفه غیرخطی مدل (ضریب  $X^2$ ) برای هر کدام از ایستگاه‌ها متفاوت می‌باشد و بنابراین دقت مدل وایزشی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. محور افقی مقادیر استاندارد شده فشار سطحی (مختصه  $X$ ) و محور قائم مقادیر استاندارد شده دمای سطحی (مختصه  $Y$ ) را نشان می‌دهد (شکل ۱۲). به‌طور کلی نقاط با مختصه  $X$  مثبت و مختصه  $Y$  منفی که در ربع چهارم محور مختصات قرار گرفته‌اند متناظر با مقادیر در فصل سرد سال (مثلاً ماه‌های ۱۱، ۱۲، ۱، ۲ و ۳) و نقاط با مختصه  $X$  منفی و مختصه  $Y$  مثبت که در ربع دوم قرار گرفته‌اند متناظر با مقادیر در فصل گرم سال (مثلاً ماه‌های ۵، ۶، ۷، ۸ و ۹) هستند. در ماه‌های اعتدال (ماه ۴ و ۱۰) نقاط پراکنش بسته به محل ایستگاه انتخابی و اقلیم آن منطقه می‌توانند در هر کدام از چهار ربع مختصات قرار گیرند.

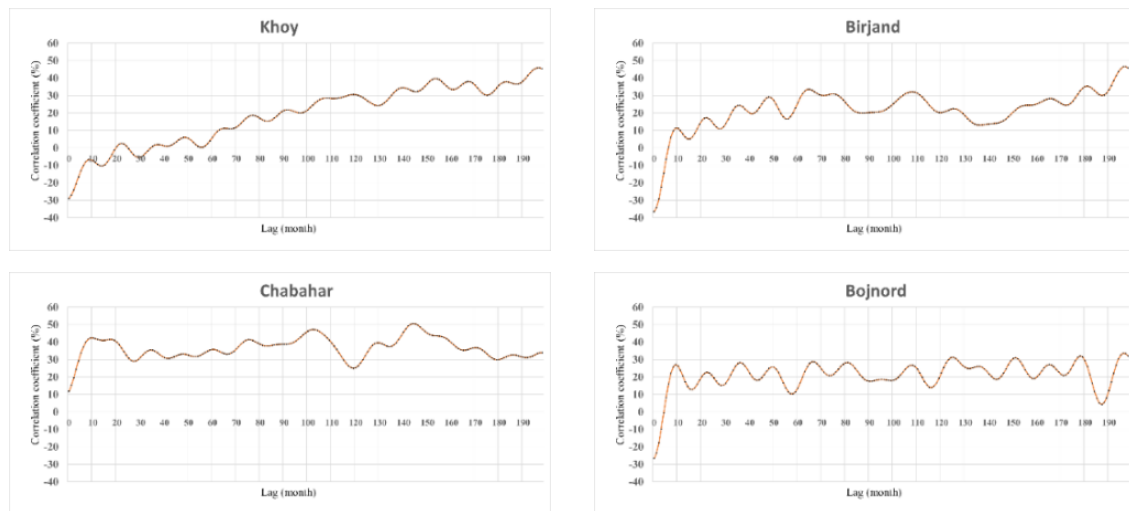
در تأخیرهای ابتدایی (تأخیر ۱ تا تأخیر ۹ ماه) در ایستگاه چابهار به سمت مقادیر مثبت بزرگ‌تر و در ایستگاه‌های دیگر انتخاب شده به سمت مقادیر منفی کوچک‌تر میل می‌کند، اما در تأخیرهای زمانی خاصی ضریب همبستگی در هر ایستگاه به بیشینه مقدار خود می‌رسد. این تغییرات ضریب همبستگی به دلیل حضور اُفت و خیزهای با بسامد پایین (و با اختلاف فاز) بین سری‌های زمانی فشار و دمای سطحی در ایستگاه‌های مختلف ایجاد می‌شود که برای ایستگاه‌های نزدیک به هم، الگوی تغییرات ضریب همبستگی نسبت به تأخیر زمانی نسبتاً مشابه است (همه ایستگاه‌ها نشان داده نشده‌اند). اُفت و خیزهای مشابه که باعث افزایش ضریب همبستگی بین فشار و دما می‌شوند، خود می‌توانند ناشی از الگوهای دور پیوند (Teleconnection) با بسامد پایین باشند.

#### ۴-۶. نمودارهای پراکنش و مدل‌سازی وایزشی

برای داده‌های ماهانه (خام) فشار و دمای سطحی، الگوی پراکنش داده‌های استاندارد شده در بیشتر ایستگاه‌ها



شکل ۱۰. ضرایب همبستگی متقابل (%) برای مؤلفه تناوبی سالانه سری‌های زمانی فشار و دما در تأخیرهای زمانی مختلف (تأخیر صفر تا ۳۸ ماه) برای تعدادی از ایستگاه‌های انتخابی بر روی ایران.



شکل ۱۱. منحنی تابع همبستگی متقابل (%) برای مؤلفه برون سالی سری‌های زمانی فشار و دما در تأخیرهای زمانی صفر تا ۲۰۰ ماه برای تعدادی از ایستگاه‌های انتخابی بر روی ایران.

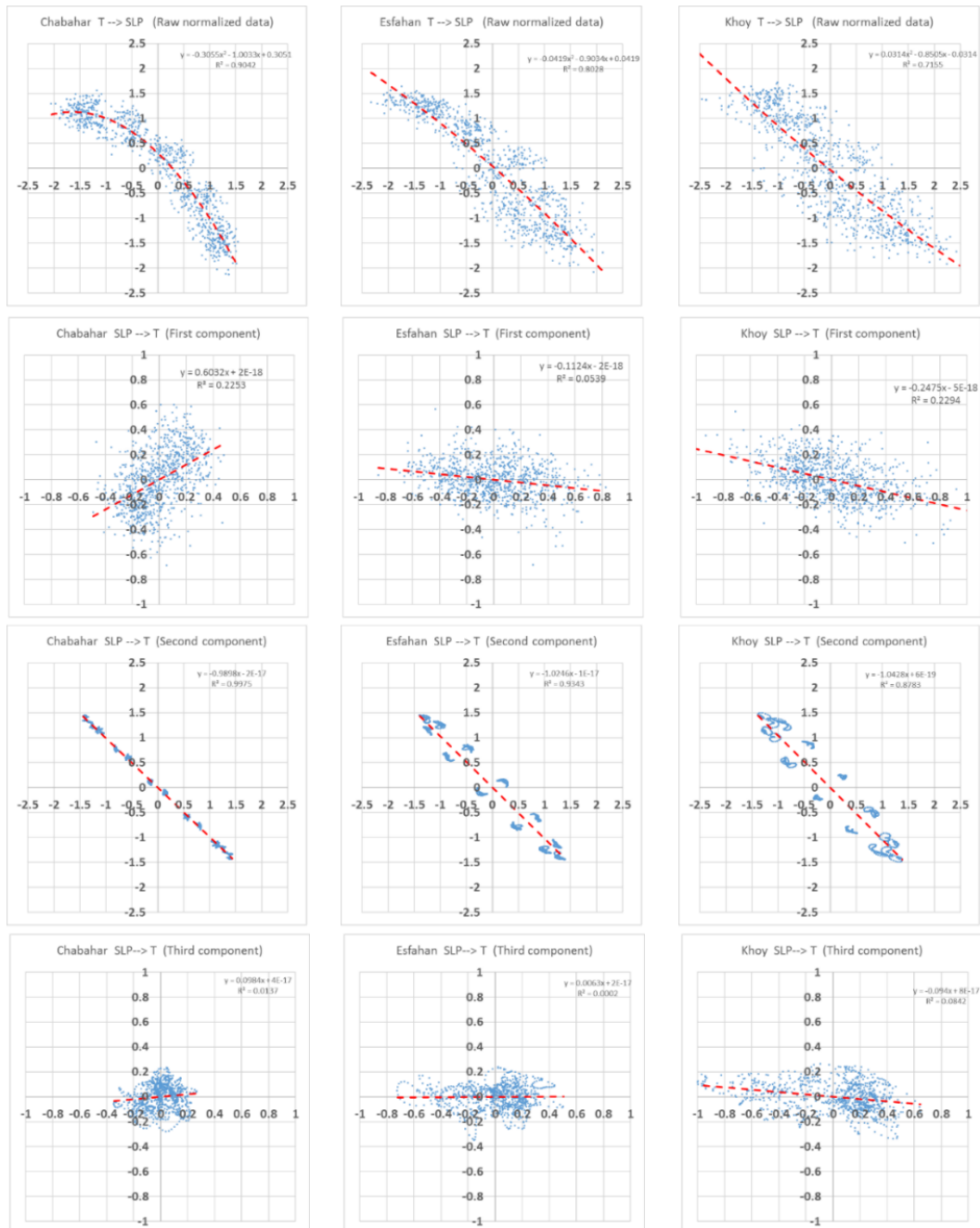
خوی نسبت به ایستگاه‌های دیگر بیشتر است و همچنین شیب مؤلفه خطی مدل وایزش کاهش می‌یابد (ضریب  $X$ ). به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که برای ایستگاه‌هایی که در مناطق شمالی‌تر ایران قرار گرفته‌اند (عرض جغرافیایی بالاتر) می‌توان به جای مدل وایزش درجه دوم، از مدل وایزش درجه اول (خطی) برای مدل‌سازی آماری تغییرات دمای ماهانه سطحی بر حسب فشار استفاده کرد.

برای مؤلفه‌های درون‌سالی، سالانه و برون‌سالی هم مدل وایزش خطی به داده‌های بازتولید شده متناظر در ایستگاه‌های انتخابی برازش داده شده است. در ایستگاه چابهار در جنوب شرق، شیب مدل خطی برای مؤلفه درون‌سالانه (بین ۲ تا ۱۱ ماه) علی‌رغم پراکندگی نسبتاً زیاد داده‌ها در اطراف خط رگرسیون، مثبت و قابل توجه است. به‌طور کلی گستره تغییرات فشار در طول سال در ایستگاه چابهار که در عرض‌های جغرافیایی پایین‌تری قرار گرفته است، هم برای داده‌های خام و هم برای مؤلفه‌های درون‌سالی و برون‌سالی نسبت به ایستگاه‌های واقع در عرض‌های جغرافیایی شمالی‌تر، کوچک‌تر است (مختصه  $X$ ، شکل ۱۲). با این وجود، گستره تغییرپذیری مؤلفه سالانه برای هر دوی متغیرهای فشار و دما در همه ایستگاه‌ها مشابه با هم است (مختصه‌های  $X$  و  $Y$ ، ردیف سوم از شکل ۱۲). برای ایستگاه اصفهان واقع شده در عرض‌های جغرافیایی میانه ایران، شیب منفی و

برای ایستگاه چابهار در جنوب شرق ایران (نزدیک‌ترین ایستگاه کشور ایران به خط استوا)، بر اساس داده‌های خام تقریباً همه رخدادها در ربع اول، دوم و چهارم مختصات قرار گرفته‌اند و مدل وایزش درجه دوم بر کمیت‌های دما و فشار سطحی به خوبی برازش داده شده است. میزان پراکندگی داده‌ها حول منحنی وایزش در همه فصل‌ها تقریباً یکنواخت است. ضریب جمله غیرخطی در معادله وایزش منفی و نسبتاً بزرگ است ( $-0.3$ ). همچنین ضریب جمله خطی در مدل نیز منفی و بیشینه ( $-1$ ) است (ارتباط معکوس قوی). در ایستگاه اصفهان در مرکز، ضریب جمله غیرخطی در معادله وایزش بسیار کاهش می‌یابد، اما مقدار آن منفی باقی می‌ماند (تقعر رو به پایین منحنی وایزش مشابه با ایستگاه چابهار). در فصل سرد سال در ربع چهارم مختصات پراکندگی داده‌های دما نسبت به فشار برای این ایستگاه افزایش می‌یابد (در فصل گرم سال در ربع دوم مختصات به‌طور برعکس). بنابراین دقت پیش‌بینی هر کدام از رخدادها (بر اساس متغیر دیگر) در فصل سرد سال بر اساس مدل وایزشی کاهش می‌یابد. در ایستگاه خوی در شمال غرب، ضریب جمله غیرخطی در مدل برازش داده شده به داده‌های خام مثبت می‌شود (اما کوچک) و بنابراین مقداری تقعر به سمت بالا برای منحنی وایزش به وجود می‌آید. گستره پراکندگی داده‌ها در صفحه در ایستگاه

تغییرپذیری داده‌های درون‌سالانه فشار هم زیادتر می‌شود (گستره بزرگ‌تر تغییرپذیری فشار در راستای محور X که با طول بزرگ‌تر خط وایازش بر روی این شکل همخوانی دارد).

ملایمی برای خط وایازش برازش داده شده بر مؤلفه‌های درون‌سالی فشار و دما قابل مشاهده است. برای ایستگاه خوی در شمال‌غرب، شیب منفی خط وایازش برای مؤلفه درون‌سالی افزایش می‌یابد، ولی در عین حال گستردگی



شکل ۱۲. نمودارهای پراکنش داده‌های فشار و دما برای ایستگاه‌های خوی (ستون اول، سمت راست)، اصفهان (ستون وسط) و چابهار (سمت چپ) و مدل وایازشی غیرخطی یا خطی برازش داده شده به داده‌های استاندارد شده‌ی خام (ردیف اول از بالا)، مؤلفه درون‌سالانه (ردیف دوم)، مؤلفه سالانه (ردیف سوم)، و مؤلفه برون‌سالانه (ردیف چهارم).

در مورد نقشه پراکنش مرتبط با مؤلفه سالانه تغییرپذیری داده‌های فشار و دما، علی‌رغم کمتر بودن شیب خط وایازش در ایستگاه چابهار نسبت به ایستگاه‌های دیگر، اما داده‌ها پراکنندگی کمتری نسبت به خط وایازش دارند (مؤلفه متناظر در داده‌های فشار و دما کاملاً در فاز مخالف) و بنابراین ضریب همبستگی بیشینه می‌شود. برای این مقیاس زمانی، بیشترین پراکنندگی داده‌ها چه به صورت موضعی در صفحه (ناشی از تغییر ماه در هر سال خاص) و چه به صورت فاصله از خط وایازش در ایستگاه خوی مشاهده می‌شود (مؤلفه متناظر در فشار و دما تقریباً در فاز مخالف). همچنین در این ایستگاه ضریب همبستگی نسبت به همه ایستگاه‌ها بیشتر کاهش می‌یابد (نتیجه: ضریب همبستگی کوچک‌تر در عرض‌های جغرافیایی بالاتر). الگوی آشکار شده برای پراکنش داده‌های مؤلفه سالانه فشار و دما در هر ایستگاه به دلیل استفاده از داده‌های ماهانه است، به طوری که در هر ماه مشخص در مناطق خاصی (به طور موضعی) در صفحه  $X-Y$  نقاط داده متمرکز شده‌اند (در اطراف ۱۲ ناحیه موضعی منطبق با ماه‌های مختلف سال). پایین‌ترین ناحیه موضعی در ربع چهارم، منطبق با ماه اول سال (ژانویه، سردترین) و بالاترین ناحیه موضعی در ربع دوم منطبق با ماه هفتم سال (ژولای، گرم‌ترین) است. به طور کلی داده‌های گرم‌ترین و سردترین ماه سال برای مؤلفه سالانه منطبق با نقطه شروع و پایان خط وایازش (به ترتیب بالا و پایین خط)، داده‌های ماه‌های زمستان و بهار در پایین خط وایازش، و داده‌های ماه‌های تابستان و پاییز در بالای خط وایازش قرار می‌گیرند. تنها استثناء در بین ایستگاه‌های کشور ایستگاه چابهار است که همه نقاط مرتبط با ۱۲ ماه مختلف سال برای مؤلفه سالانه تقریباً بر روی خط وایازش قرار گرفته‌اند (نقاط مرتبط با ماه‌های سردتر در ربع چهارم و ماه‌های گرم‌تر در ربع دوم). اختلاف بین میزان پراکنش داده‌ها برای مؤلفه سالانه در هر ایستگاه خاص به دلیل اختلاف فاز نسبتاً متفاوت بین مؤلفه‌های سالانه فشار و دما است، اگرچه این اختلاف فاز برای همه ایستگاه‌ها نزدیک به ۱۸۰ درجه (۵-۶ ماه) است.

برای مؤلفه برون‌سالی (بین‌سالی + بین‌دهه‌ای)، پراکنش

داده‌ها از الگوی نامنظم و پیچیده‌ای پیروی می‌کند و مؤلفه‌های تصادفی (نوفه‌های بسامد پایین) غالب هستند. با این وجود، گستره تغییرات مقادیر مؤلفه‌های برون‌سالی فشار و دما در ایستگاه چابهار در جنوب ایران کوچک می‌باشد، اما در ایستگاه‌های شمالی‌تر مثل ایستگاه خوی گسترده تغییرات فشار مخصوصاً در سمت چپ نمودارها (مقادیر منفی) افزایش می‌یابد. علی‌رغم این موضوع، گستره تغییرات دما ناشی از این مؤلفه در ایستگاه‌های مختلف تقریباً یکسان است (محور  $Y$ ). برازش مدل وایازش خطی بر داده‌ها، همبستگی قابل توجهی را در هیچ کدام از ایستگاه‌ها نشان نمی‌دهد. با این وجود بررسی‌ها نشان داد که در ایستگاه بیرجند در شرق ایران بیشترین شیب منفی (بیشترین ضریب همبستگی منفی) نسبت به ایستگاه‌های دیگر در تأخیر زمانی صفر برای این مؤلفه وجود دارد (شکل نشان داده نشده است).

##### ۵. نتیجه‌گیری

در این تحقیق سری‌های زمانی دمای سطحی و فشار در تراز دریا در مناطق مختلف ایران بر اساس داده‌های ماهانه بازتحلیل NCEP/NCAR مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. علاوه بر تحلیل آماری داده‌های خام (شامل همه مؤلفه‌های تغییرپذیری)، داده‌های پالایش شده در سه نوار بسامدی درون‌سالانه (۲-۱۱ ماه)، سالانه (۱۱-۱۳ ماه)، و برون‌سالانه (از ۱ سال تا ۳۶ سال) با به کارگیری پالایه رقومی استخراج شدند. سپس ارتباط احتمالی بین مؤلفه‌های متناظر در سری‌های زمانی بازتولید شده‌ی فشار و دما مورد آزمایش قرار گرفت. همچنین تحلیل فضایی الگوهای همبستگی بین داده‌ها در تأخیرهای زمانی مختلف انجام شد. علاوه بر این، ارتباط بین تغییرپذیری فشار و دما در تعدادی از ایستگاه‌های انتخابی نیز با جزئیات مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا، ترسیم نمودارهای پراکنش و برازش مدل وایازش نیز به منظور آشکارسازی روابط خطی یا غیرخطی با اهمیت بین سری‌های زمانی دما و فشار مورد توجه قرار گرفت.

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که مؤلفه‌های بسامدی

اما با اختلاف فاز زمانی قابل توجه باشد. روی هم رفته، یافته‌های به دست آمده در این مطالعه بینش بیشتری را نسبت به ارتباط آماری بین تغییرپذیری‌های موجود در داده‌های ماهانه فشار و دمای سطحی بر روی ایران فراهم می‌کند که شناخت این تغییرات می‌تواند به پیش‌بینی مؤثرتر این کمیت‌ها و دیگر کمیت‌های وابسته مانند بارش ماهانه بر روی ایران کمک کند. فهمی که ما از تحلیل تغییرپذیری‌ها با تفکیک آنها به مقیاس‌های زمانی مختلف با استفاده از پالایه‌های رقمی پیدا می‌کنیم برای درک برهم‌کنش‌های پیچیده در سامانه اقلیم حیاتی است. همچنین روش داده‌کاوی که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت می‌تواند به مناطق دیگر جغرافیایی یا برای بررسی و تحلیل متغیرهای دیگر اقلیمی نیز اعمال شود.

#### مراجع

ستوده، ف. و علیجانی، ب. (۱۳۹۴). رابطه‌ی پراکنندگی فضایی بارش‌های سنگین و الگوهای فشار در گیلان، *نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۲(۱)، ۶۳-۷۳.

علیجانی، ب.؛ محمدی، ح. و بیگدلی، آ. (۱۳۸۶). نقش الگوهای فشار در بارش سواحل جنوبی دریای خزر. *فصلنامه جغرافیایی سرزمین*، ۴(۱۶)، ۳۷-۵۲.

علیزاده چوبری، ا. و نجفی، م. س. (۱۳۹۶). روند تغییرات دمای هوا و بارش در مناطق مختلف ایران. *مجله فیزیک زمین و فضا*، ۳(۳)، ۵۶۹-۵۸۴.

نیستانی، ا. (۱۴۰۱). طراحی و کاربرد عملی پالایه‌های رقمی در پردازش سیگنال‌های هواشناسی. *مجله فیزیک زمین و فضا*، ۲(۲)، ۳۶۱-۳۸۰.

مختلف تأثیر گذار در تغییرپذیری کمیت‌های فشار و دمای میانگین ماهانه می‌توانند در بعضی از نوارهای بسامدی با یکدیگر ارتباط با اهمیتی داشته باشند. این ارتباط برای تغییرپذیری‌های پر بسامد، با بسامد سالانه، و کم بسامد به‌طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بیانگر تأثیر بسیار زیاد مؤلفه سالانه‌ی تغییرپذیری دما و فشار سطحی در کل منطقه ایران است به‌طور که وردایی (Variance) قابل توجهی از سری‌های زمانی داده‌های ماهانه را شامل می‌شود. این مؤلفه تغییرپذیری با اختلاف فاز زمانی ۵-۶ ماهه بین سری‌های زمانی فشار و دما به‌طور مشترک عمل می‌کند که ناشی از حرکت نجومی زمین به دور خورشید و تغییر فصل‌ها است (چرخه فصلی). مؤلفه‌های تغییرپذیری درون‌سالانه فشار و دما در بعضی از مناطق ایران و در لگ‌های زمانی خاصی ارتباط با اهمیتی را نشان دادند. برای این مؤلفه‌ها، بیشینه مقادیر همبستگی مثبت در تأخیر زمانی صفر در شمال شرق ایران و بیشینه مقادیر همبستگی منفی در تأخیر زمانی ۶ ماه در جنوب شرق ایران مشاهده شد که گویای ساز و کارهای پر بسامد متفاوت مؤثر بر تغییرات دما و فشار میانگین ماهانه در مناطق مختلف ایران است. تحلیل تغییرات کم بسامد در مقیاس‌های زمانی بزرگ‌تر از ۱ سال نشان داد که ارتباط ضعیف‌تری بین مؤلفه‌های متناظر در داده‌های دما و فشار بر روی ایران (به‌طور تقریباً همزمان) وجود دارد، اگرچه در تأخیرهای زمانی بزرگ‌تر (مثلاً تأخیر ۲۰۰ ماه) ضریب همبستگی افزایش قابل توجهی را در بخش‌های زیادی از ایران نشان داد. این افزایش می‌تواند ناشی از اثرات سیگنال‌های دور پیوند اقلیمی با بسامد کم بر روی مؤلفه کم بسامد هر دوی سری‌های زمانی فشار و دما،

Aleshina, M. A., Semenov, V. A., & Chernokulsky, A. V. (2021). A link between surface air temperature and extreme precipitation over Russia from station and reanalysis data. *Environ. Res. Lett.*, 16, 105004.

Borgnakke, C., & Sonntag, R. (2013). *Fundamentals of Thermodynamics*, 8<sup>th</sup> Edition, Wiley, 912 pp.

Chatfield, C. (2003). *The Analysis of Time Series-An Introduction*. 6th Edition, Chapman and Hall CRC, London, 352 pp.

Casagrande, E., Mueller, B., Miralles, D. G.,

Entekhabi, D., & Molini, A. (2015). Wavelet correlations to reveal multiscale coupling in geophysical systems. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 120, 7555-7572.

Darand, M. (2020). Spatiotemporal analysis of the relationship between near-surface air temperature and troposphere thickness over Iran. *Meteorol Appl*, 27(2), e1907, 1-13.

Darand, M., & Pazhoh, F. (2019). Synoptic analysis of sea level pressure patterns and Vertically Integrated Moisture Flux Convergence VIMFC during the occurrence of durable and pervasive rainfall in Iran.

- Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 86, 10-17.
- Davis, R. E. (1976). Predictability of Sea Surface Temperature and Sea Level Pressure Anomalies over the North Pacific Ocean. *Journal of Physical Oceanography*, 6(3), 249-266.
- Duchon, C. E. (1979). Lanczos filtering in one and two dimensions. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 18, 1016-1022.
- El Kenawy, A. M., Lopez-Moreno, J. I., McCabe, M. F., Robaa, S. M., Domínguez-Castro, F., Peña-Gallardo, M., Trigo, R. M., Hereher, M. E., Al-Awadhi, T., & Vicente-Serrano, S. M. (2019). Daily temperature extremes over Egypt: Spatial patterns, temporal trends, and driving forces. *Atmospheric Research*, 226, 219-239.
- Han, J., Pei, J., & Tong, H. (2023). Data Mining: Concepts and Techniques. 4<sup>th</sup> Edition, Elsevier Inc, 752 pp.
- Haworth, C. (1978). Some relationships between sea surface temperature anomalies and surface pressure anomalies. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 104, 131-146.
- Haylock, M. R., Jones, P. D., Allan, R. J., & Ansell, T. J. (2007). Decadal changes in 1870-2004 Northern Hemisphere winter sea level pressure variability and its relationship with surface temperature. *J. Geophys. Res.*, 112, D11103.
- Kawai, Y., Tomita, H., Cronin, M. F., & Bond, N. A. (2014). Atmospheric pressure response to mesoscale sea surface temperature variations in the Kuroshio extension region: in situ evidence. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 119, 8015-8031.
- Li, H., Choy, S., Zaminpardaz, S., Carter, B., Sun, Ch., Purwar, S., Liang, H., Li, L., & Wang, X. (2023). Investigating the Inter-Relationships among Multiple Atmospheric Variables and Their Responses to Precipitation. *Atmosphere*, 14, 571.
- Mitchell, J. M. (1976). An overview of climatic variability and its causal mechanisms. *Quat. Res.*, 6, 481-493.
- Neyestani, A., Karami, Kh., & Gholami, S. (2022). Exploring the possible linkage between the precipitation and temperature over Iran and their association with the large-scale circulations: Cumulative spectral power and wavelet coherence approaches. *Atmospheric Research*, 274, 106187.
- O’Gorman, P. A. (2015). Precipitation extremes under climate change. *Curr. Clim. Chang. Rep.*, 1, 49-59.
- Otero, N., Rust, H. W., & Butler, T. (2021). Temperature dependence of tropospheric ozone under NO<sub>x</sub> reductions over Germany. *Atmospheric Environment*, 253, 118334.
- Privalsky, V. (2021). Time Series Analysis in Climatology and Related Sciences. *Springer Nature Switzerland*, 245 pp.
- Salstein, D. A., Ponte, R. M., & Cady-Pereira, K. (2008). Uncertainties in atmospheric surface pressure fields from global analyses. *J. Geophys. Res.*, 113: D14107.
- Singh, R., Jaiswal, N., & Kishtawal, C.M. (2022). Rising surface pressure over Tibetan Plateau strengthens indian summer monsoon rainfall over northwestern India. *Sci Rep*, 12, 8621.
- Song, F., Zhang, G. J., Ramanathan, V., & Leung, L. R. (2022). Trends in surface equivalent potential temperature: A more comprehensive metric for global warming and weather extremes. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 119, e2117832119.
- Sun, N., Zhong, L., Zhao, Ch., Ma, M., & Fu, Y. (2022). Temperature, water vapor and tropopause characteristics over the Tibetan Plateau in summer based on the COSMIC, ERA-5 and IGRA datasets. *Atmospheric Research*, 266, 105955.
- Thomson, R. E., & Emery, W. J. (2014). Data Analysis Methods in Physical Oceanography, 3<sup>rd</sup> edition. Elsevier Science.
- Trenberth, K. E., & Shea, D. J. (2005). Relationships between precipitation and surface temperature. *Geophys. Res. Lett.*, 32(14), L14703.
- Von der Heydt, A. S., Ashwin, p., Camp, C. D., Crucifix, M., Dijkstra, H. A., Ditlevsen, P., & Lenton, T. M. (2021). Quantification and interpretation of the climate variability record. *Glob. Planet. Change.*, 197, 1-20.
- Wilks, D. S. (2019). Statistical Methods in the Atmospheric Sciences, 4<sup>th</sup> Edition, Elsevier Inc, 818 pp.
- Wu, G. C., Zhang, C. W., Zhao, R. Z., Qin, P. Y., & Qin, Y. Y. (2023). Asymmetries of the lag between air temperature and insolation in gauge observations and reanalyses over China. *Atmospheric Research*, 288, 106729.
- Wu, R., Chen, J., & Wen, Z. (2013). Precipitation-surface temperature relationship in the IPCC CMIP5 models. *Adv. Atmos. Sci.*, 30, 766-778.
- Yin, C., Yang, Y., Chen, X., Yue, X., Liu, Y., & Xin, Y. (2023). Global near real-time daily apparent temperature and heat wave dataset. *Geosci. Data J.*, 10, 231-245.
- You, Q., Jiang, Z., Moore, G. W. K., Bao, Y., Kong, L., & Kang, S. (2017). Revisiting the relationship between observed warming and surface pressure in the Tibetan Plateau. *J. Climate*, 30, 1721-1737.
- Zhang, Y., Zhang, X., Fan, X., Ni, Ch., Sun, Zh., Wang, Sh., Fan, J., & Zheng, C. (2020). Modifying effects of temperature on human mortality related to black carbon particulates in Beijing, China. *Atmospheric Environment*,

243, 117845.