

Original Article

Journal of Drought and Climate Change Research (JDCR)

DOI: [10.22077/jdcr.2025.8448.1085](https://doi.org/10.22077/jdcr.2025.8448.1085)

Analyzing the Relationship between Soil Temperature parameters of Meteorological stations of Kermanshah Province with Teleconnection Patterns

Firooz Mojarad¹, Mohammad Ahmadi^{*2}, Rasool Najafi³

1- Associate Professor, Department of Geography, Faculty of Humanities, Razi University, Kermanshah, Iran.

2 –PhD Graduated in Climatology, Department of Geography, Faculty of Humanities, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, and Climatology Expert, Kermanshah Provincial Meteorological Department, Kermanshah, Iran.

3 –MSc Graduated in Climatology, Department of Geography, Faculty of Humanities, Razi University, Kermanshah, Iran..

***Corresponding Author: moahmadi04@gmail.com**

Extended abstract

Introduction

Temperature, as one of the most important parameters in weather and climatology, is not only a fundamental element of climate, but its fluctuation or change triggers complex processes within the atmospheric system, the surface layer, and the living soil. One of the key influencing factors is the fluctuation of sea surface temperature (SST), which, through a mechanism known as teleconnection forcing, plays a significant role in regional temperature variability. According to some definitions, these forcings serve as criteria for measuring temporal changes in intensity and spatial variations in atmospheric circulation patterns. Therefore, the significant relationship and correlation between the temporal changes of two circulation patterns or systems that are geographically distant from each other is referred to as a "teleconnection."

Materials and Methods

The first step in this study was to obtain monthly data for 16 teleconnection indices from reliable global databases such as NOAA and BOM, as well as soil temperature data from several stations provided by the General Meteorological Department of Kermanshah Province. In this study, monthly statistical data on soil temperature at depths of 5, 10, 20, 30, 50, and 100 cm from the Kangavar weather station (representing the cold region), Sararud station (representing the temperate region), and Sarpol Zahab station (representing the tropical region) in Kermanshah Province were used for the period 1996–2020.

Results and Discussion

The findings of this study reflect both the climatic characteristics of the region and the global climate trend as echoed in the soil temperature of Kermanshah Province. Among the classical indices, the AMO index showed the highest positive correlation coefficient across all soil layers. Additionally, using the factor analysis method, six main components were extracted from all the indices, with the first component showing the most direct correlation with the water temperature of the region's surrounding water bodies. An important point in analyzing the relationship among the top three components is their nature—they all represent aspects of water temperature. This suggests that the soil temperature regime in Kermanshah Province is likely more influenced by global warming, and more specifically, ocean warming. The findings indicate that the highest explanatory power (coefficient of determination) was observed for summer, autumn, and winter, respectively, highlighting the predictability of warm seasons. However, soil temperature during spring appears to be largely unpredictable using this method. Finally, the synoptic mechanism influencing soil temperature fluctuations was interpreted through an environmental approach to circulation. The cold soil temperature pattern across station depths is associated with the strengthening of high-pressure systems and cold air advection. In contrast, the maximum soil temperature pattern corresponds to the reinforcement of the subtropical high-pressure (STHP) ridge axis, extending from the Red Sea to the Caspian Sea.

Conclusion

In this paper, the relationship between the soil temperature at three weather stations in Kermanshah Province and several teleconnection indices was investigated:

In general, there is a significant relationship between soil temperature at various depths and regional indices, particularly with sea surface temperature. This correlation, influenced by global ocean warming, is described as a homophasic relationship. Additionally, the connection between soil temperature and temperatures of the North Atlantic Ocean, Indian Dipole Index, and Central Pacific Ocean is linked to atmospheric circulation patterns, especially the ENSO phenomenon. Regional indices related to pressure and atmosphere also show a synoptic correlation with soil temperature. The lower the temperature of the surrounding seawater, and the higher the temperature of the eastern Indian Ocean, along with the positive phases of the NAO and EWAR indices, the lower the soil temperature at the three stations, and vice versa. Correlations were also found between the soil temperature and the indices of one season with those of the previous or following season. These findings suggest the potential to forecast the next season and offer insights into the overall behavior of soil temperature at various depths.

Keywords: Soil Temperature, Teleconnection, Kermanshah, Iran.

واکاوی ارتباط بین فراسنج‌های دمای خاک ایستگاه‌های هواشناسی استان کرمانشاه با

الگوهای پیوند از دور

فیروز مجرد^۱، محمد احمدی^{۲*}، رسول نجفی^۳

۱- دانشیار گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

۲- دانش‌آموخته دکتری آب و هواشناسی، گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، ایران و کارشناس اقلیم‌شناسی اداره کل هواشناسی استان کرمانشاه، کرمانشاه، ایران.

۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آب و هواشناسی، گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

*نویسنده مسئول: moahmadi04@gmail.com

چکیده

در این پژوهش از داده‌های دمای خاک سه ایستگاه هواشناسی استان کرمانشاه و داده‌های ۱۶ شاخص دور-پیوندی، با هدف بررسی ارتباط بین این دو سری داده استفاده شد. در گام نخست داده‌های دمای لایه‌های خاک در یک دوره ۲۵ ساله (۱۹۹۶-۲۰۲۰) از اداره کل هواشناسی استان کرمانشاه و داده‌های شاخص‌های دورپیوندی نیز از تارنمای NOAA و BOM دریافت گردید. در ادامه، داده‌های ماهانه همه شاخص‌ها و دمای لایه‌های ایستگاه‌ها در قالب ماتریس همبستگی دسته‌بندی و ارزیابی شدند. سپس با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره پارامتری و واکاوی همدید، ارتباط بین شاخص‌ها و دمای خاک بررسی و تفسیر گردید. یافته‌های این پژوهش نشان‌دهنده پژواک روند گرمایش جهانی در دمای خاک منطقه است. شاخص‌های دمای آب پهنه‌های دریایی شاخاب پارس، خزر، شرق مدیترانه دریای سرخ و شمال اقیانوس هند، بیشترین همبستگی را با دمای خاک همه ژرفاهای ایستگاه‌ها داشتند. از بین شاخص‌های کلاسیک، بیشترین ضریب همبستگی مثبت در همه لایه‌ها با شاخص AMO به‌دست آمد. همچنین به‌کمک روش تحلیل عاملی از بین همه شاخص‌ها، شش مؤلفه اصلی به‌دست آمد که طبق معیار بار عاملی سه مؤلفه بارز تر به‌ترتیب، مؤلفه یکم، دمای آب پهنه‌های دریایی منطقه، مؤلفه دوم دمای آب شمال اقیانوس هند و مؤلفه سوم دمای آب شمال اقیانوس اطلس نام‌گذاری و آشکارسازی شد. در ادامه از روش رگرسیون گام به گام با تأخیر یک فصل، برای امکان‌سنجی پیش‌بینی دمای خاک ایستگاه هواشناسی کشاورزی مبنای سرارود استفاده شد. یافته‌ها نشان‌دهنده قابلیت پیش‌بینی‌پذیری بیشتر در فصول گرم سال است. در نهایت، سازوکار همدید مؤثر بر نوسان دمای خاک با رویکرد محیطی به‌گرددشی تفسیر گردید در هر دو الگوی دمای فرین خاک گرم (تابستان) و سرد (زمستان) فشار فلات مرکزی ایران نسبت به نرمال افزایش داشته است؛ این سازوکار همدید موجب افزایش فرارفت گرم روی غرب کشور در تابستان و سرمایش هوا و به‌تبع آن ایستگاه‌های مورد مطالعه شده است.

واژگان کلیدی: دمای خاک، پیوند از دور، کرمانشاه، ایران.

مقدمه

دما یکی از مهم‌ترین پارامترهای هواشناسی است که وردایی آن تأثیرات گسترده‌ای بر فرآیندهای جوی، سطح زمین و محیط زیست داشته و نوسان یا وردش آن موجب تغییر فرآیندهای بسیار پیچیده‌ای در سامانه اتمسفر و لایه سطحی و زنده خاک می‌گردد. از عوامل مؤثر بر دما به‌ویژه دمای سطح و ژرفای خاک می‌توان به توپوگرافی، عرض جغرافیایی، پوشش گیاهی، شیب، دوری و نزدیکی به دریاها، جنس و بافت خاک و نوسانات سالانه و دهه‌ای جریانات اتمسفری اشاره کرد. یکی از عوامل تأثیرگذار دیگر، نوسانات دمای سطح پهنه‌های آبی می‌باشد که با توجه به کارکرد سازوکاری موسوم به واداشتهای پیوند از دور، در تغییرپذیری دمای یک ناحیه نقش قابل ملاحظه دارد. براساس برخی تعاریف، این واداشتهای معیارهایی هستند که به‌وسیله آنها تغییرات زمانی شدت و تغییرات مکانی الگوهای گردش جو اندازه‌گیری می‌شود. بنابراین رابطه و همبستگی معنی‌دار بین تغییرات زمانی دو الگو یا سیستم گردش که در مسافتی دور از هم قرار دارند، «پیوند از دور» نامیده می‌شود (Alijani, 2002). اصطلاح پیوند از دور از دو واژه دور^۱ و پیوند^۲ در زبان انگلیسی ترکیب شده است. هم‌چنین پیوند از دور راهی برای خلاصه‌نمودن الگوهای جوی، توصیف فرایندهای ترابرد گرما، انرژی، نم و تکانه زمین و درک بهتر و ارزیابی چگونگی تغییر آب و هوا و اکوسیستم‌های منطقه‌ای است (Schwing et al., 2009). پیوند از دور عموماً واکاوی ارتباط بین نوسان‌های کم‌بسامد گردش جوی، بارش و دمای منطقه گرمسیری با برون‌گرمسیری، به‌ویژه در ارتباط با پدیده انسو می‌باشد (Ding and Wang, 2005). با این توصیف‌ها نتیجه گرفته می‌شود که پیوند از دور اصطلاحی برای توصیف ارتباط الگوی گردش جو در یک منطقه با منطقه‌ای دیگر است (Bridgman and Oliver, 2006; Geay, 2008). پیوند از دور بررسی ارتباط بین نوسان‌های کم‌بسامد گردش جوی، به‌ویژه در ارتباط با پدیده انسو می‌باشد (Ding and Wang, 2005; Trenberth et al., 1998). پیوند از دور به‌نوعی پاسخ اتمسفر به واداشتهای دور از آن نظیر دمای سطح دریا و الگوهای ویژه فشار اتمسفر تعریف می‌گردد (Chase et al., 2005). الگوی پیوند از دور تداوم و پایایی یک بی‌هنجاری بزرگ مقیاس در جو و اقیانوس می‌باشد، هم‌چنین یک الگوی پیوند از دور اغلب یک مد از نوسان‌های کم‌بسامد بوده که از چند هفته تا چند سال ادامه داشته و خود نیز در ارتباط با تغییر در آرایش امواج سیاره‌ای روی می‌دهد (Quiring, 2002). با این توصیف، هدف از طرح موضوع پژوهش حاضر، بررسی ارتباط بین دمای هوا به‌ویژه دمای ژرفای خاک سه ایستگاه اصلی هواشناسی در استان کرمانشاه و برخی شاخص‌های دورپیوندی می‌باشد و در نهایت استفاده کاربردی از آن در بخش‌های مختلف به‌ویژه در بخش هواشناسی کشاورزی و درک بهتر ماهیت تغییراتی است که شتابان در فرایندها و پس‌خورندهای پیچیده اقلیمی در مقیاس نقطه‌ای (ایستگاه)، ناحیه‌ای، منطقه‌ای و جهانی در حال رخداد است. تاکنون مطالعات گوناگونی در مورد ارتباط پارامترهای اقلیمی (عمدتاً بارش و دمای هوا) و شاخص‌های پیوند از دور انجام شده است. از جمله پژوهش‌های انجام‌شده در کشور می‌توان به تحقیق خوش‌رفتار (Khoshraftar, 1998) اشاره کرد که تأثیر پدیده انسو را بر بارش ایران مورد مطالعه قرار داد و به این نتیجه رسید که افزایش بارش ایران با شاخص منفی (النینو) و کاهش آن با شاخص مثبت (لانینا) همراه است. ناظم‌السادات و قاسمی (Nazemosadat and Qasemi, 2004) نوسان دمای سطح آب دریای خزر را بر بارش فصول زمستان و بهار نواحی شمال و جنوب غرب ایران بررسی نمودند و به این نتیجه رسیدند که وقوع شرایط گرم دمای دریای خزر عملاً موجب ۲۰ درصد کاهش بارش فصل زمستان در سواحل دریای خزر و نواحی شمال استان‌های فارس و خوزستان شده است. احمدی گیوی و همکاران (Ahmadi Givi et al., 2008) به بررسی اثر انسو بر توزیع بارش فصلی ایران در دوره آماری ۱۹۷۱-۲۰۰۰ پرداختند و به این نتیجه رسیدند که در هیچ‌یک از فازهای فعالیت انسو، توزیع بارش فصلی از الگو و روند خاصی تبعیت نمی‌کند. رضایی بنفشه و همکاران (Rezaei banafsheh et al., 2010) بارش‌های پاییزه و زمستانه نیمه غرب ایران را با استفاده از دمای سطح آب دریای مدیترانه پیش‌بینی نمودند و نشان دادند زمانی که در فصل پاییز دمای سطح آب دریای مدیترانه سرد تر از حد معمول باشد، بارش زمستانه منطقه مورد مطالعه افزایش می‌یابد ولی دمای گرم‌تر از معمول آن در تابستان باعث افزایش بارش پاییزه می‌شود. جهان‌بخش اصل و همکاران (Jahanbakhsh asl et al., 2012) تأثیر دمای سطح آب دریای مدیترانه را بر بارش نیمه غربی ایران در

¹ Tele

² Connection

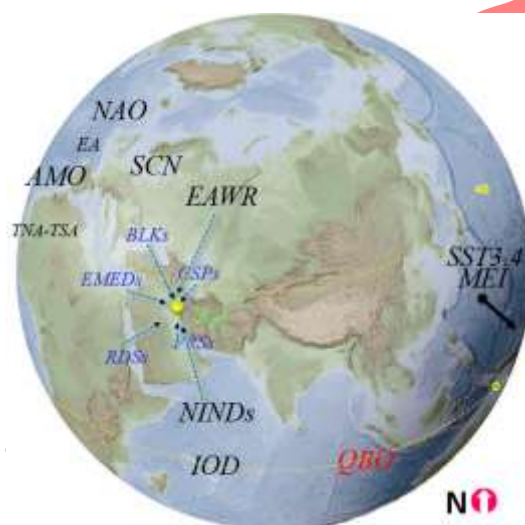
۱۵ ایستگاه مطالعه و بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که در دوره‌هایی از فصل زمستان که دمای سطح آب دریای مدیترانه^۳ سردتر از حد معمول است، بارش زمستانه منطقه مورد مطالعه افزایش می‌یابد و موجب ایجاد همبستگی منفی و معنی‌دار در چند ایستگاه منطقه مورد مطالعه می‌شود. رنجبر سعادت‌آبادی و ایزدی (Ranjbar saasat abadi and Izadi, 2013) با استفاده از برون‌داد یک مدل گردش‌عمومی تأثیر دمای سطح آب اقیانوس هند و دریای عرب را بر بارش نیمه جنوب ایران بررسی کردند. نتایج کار آنها نشان‌داد که همبستگی معنی‌داری بین بی‌هنجاری بارش و بی‌هنجاری دمای سطح آب نواحی غرب اقیانوس هند در ماه‌های اکتبر، نوامبر و ژانویه و برای نواحی شرقی آن در ماه‌های اکتبر و نوامبر وجود دارد. بهیار و کمالی (Behyar and Kamali, 2007) روی رابطه دمای هوا با دمای سطح و اعماق مختلف خاک مطالعه کردند. یافته‌های آنان نشان‌داد که دامنه تغییرات شبانه‌روزی دما با افزایش ژرفای خاک به سرعت کاهش می‌یابد و دمای بیشینه در ژرفای پایین‌تر با تأخیر زمانی اتفاق می‌افتد. هم‌چنین ژرفای لایه‌ای از خاک که در آن پدیده سرمازدگی اتفاق می‌افتد، در فصول مختلف سال به‌ویژه در بهار و پاییز متفاوت است. بررسی آن‌ها نشان‌داد که عمده علت کاهش ناگهانی دما در فصل بهار، سرمای تابشی بوده است. مجرد و صادقی (Mojarad and Sadeqi, 2012) روی رابطه دمای سطح زمین با اعماق خاک در استان کرمانشاه کار کردند. نتایج پژوهش نشان داد که با افزایش ژرفای خاک، دامنه نوسان سالانه دما به‌ویژه دامنه شبانه‌روزی دما کاهش می‌یابد. هم‌چنین جنس خاک، صرف‌نظر از اختلاف‌هایی که در اثر تفاوت‌های آب و هوایی پدید می‌آید تأثیر چندانی در ترتیب توزیع ژرفایی دما ندارد. احمدی و همکاران (Ahmadi et al., 2018) نیز روی مدل‌سازی پیوند از دور در ارتباط با بارش کشور مطالعه نمودند. یافته‌های آن‌ها بر نقش تعیین‌کننده انوسو بر بارش ایران تأکید داشت. در بخش جهانی نیز پژوهش‌های گسترده‌ای با رویکرد پیوند از دور انجام شده است. یوو و همکاران (Uvo et al., 1998) رابطه بین دمای سطح دریا^۴ در اقیانوس‌های اطلس و آرام حاره‌ای را با بارش‌های شمال برزیل بررسی کردند و نتیجه گرفتند که این رابطه در تمام فصل بارش قابل ملاحظه است. لطیف و همکاران (Latif et al., 1999) نقش ناهنجاری دمای سطح اقیانوس هند را در ایجاد ناهنجاری بارش شرق آفریقا در ماه‌های دسامبر و ژانویه به‌وسیله یک مدل گردش‌عمومی جو مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که بارش‌های شدید شرق استوایی آفریقا در فصل پاییز به‌طور مستقیم به تغییرات دمای سطح آب اقیانوس هند وابسته است. راول (Rowel et al., 2002) تأثیر دمای سطح آب دریای مدیترانه را بر روی بارش‌های منطقه ساحل (آفریقا) با استفاده از مدل گردش‌عمومی جو بررسی کرد و نتیجه گرفت که بی‌هنجاری مثبت و منفی SST دریای مدیترانه به‌ترتیب با شرایط مرطوب و خشک منطقه ساحلی همراه شده است. یوان و همکاران (Yuan et al., 2008) تأثیر دمای سطح آب اقیانوس هند را بر روی آغاز بارش‌های موسمی تابستانی دریای چین جنوبی بررسی کردند. دایان و همکاران (Dayan et al., 2016) نشان دادند که ایجاد همگرایی رطوبت نقش مهمی در وقوع بارش سنگین داشته و بیشترین همبستگی معنادار بین بارش و شاخص نوسان شمالی، در شمال غرب حوضه مدیترانه وجود دارد. وانگ و همکاران (Wang et al., 2013) روی رابطه دمای خاک در ماه مه در شمال غربی چین و بارش‌های موسمی تابستان شرق آسیا کار کردند و نتیجه گرفتند که حافظه دمای خاک در ژرفای ۸۰ سانتی متری می‌تواند دست‌کم دو ماه باقی بماند. هم‌چنین دمای خاک در ماه مه با بارش مونسون شرق آسیا در ماه‌های ژوئن و ژوئیه ارتباط تنگاتنگی دارد. هنگامی که دمای خاک در ماه مه در شمال غربی چین گرم‌تر باشد، بارش کمتری در دره رودخانه یانگ‌تسه و هوآیه رخ می‌دهد. اما در ماه‌های ژوئن و ژوئیه این اتفاق بیشتر در جنوب چین رخ می‌دهد. ژو و همکاران (Xue et al., 2018) با یک مطالعه دینامیکی روی تأثیر دمای آب اقیانوس اطلس جنوبی بر پیرامون، دریافتند که بی‌هنجاری دما از راه قطار موج راسبی به استرالیا نیز می‌رسد و موجب افزایش دمای هوا در شرق این قاره می‌شود. با استناد به پژوهش‌های بررسی‌شده در این پژوهش آشکار است که روی موضوع دمای خاک و ارتباط آن با شاخص‌های دورپیوندی پژوهش‌های بسیار اندکی انجام گرفته است؛ بنابراین اهمیت و کاربرد موضوع پژوهش حاضر بیشتر آشکار می‌گردد.

³Med SST

⁴ SST: Sea Surface Temperature

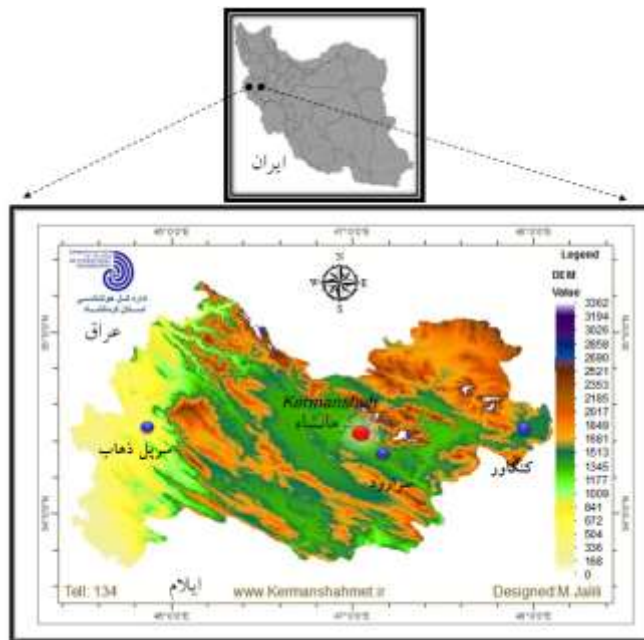
مواد و روش‌ها

در این پژوهش ۱۶ شاخص پیوند از دور که در شکل ۱ موقعیت نسبی آنها مشخص شده است استفاده گردیده است. هرکدام از این شاخص‌ها به نوعی به کمک سازوکار پل اتمسفری و اقیانوسی واداشت خود را از راه‌های گوناگون به نواحی دور از خود ترابرد می‌کنند. بدیهی است که سهمی از این نیروها نیز بر خاورمیانه، ایران و در نهایت ایستگاه‌های استان کرمانشاه تأثیرگذار است و برهم‌کنش ترکیبی آن‌ها رژیم و هویت اقلیمی هر ناحیه را می‌سازد. گام نخست در این مطالعه دریافت داده‌های ماهانه ۱۶ شاخص پیوند از دور (جدول ۱)، از پایگاه‌های معتبر جهانی از جمله NOAA, BOM و آمار ماهانه دمای ژرفای خاک (۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری) ایستگاه‌های هواشناسی کنگاور (نماینده منطقه سردسیر، KNG)، سرارود (نماینده منطقه معتدل، SRD) و سرپل‌ذهاب (نماینده منطقه گرمسیر، SRP) استان کرمانشاه در یک بازه زمانی ۲۵ ساله (۱۹۹۶-۲۰۲۰) از اداره کل هواشناسی استان کرمانشاه، بوده است (شکل ۲).



شکل ۱. نقشه موقعیت نسبی شاخص‌های دور پیوندی استفاده شده در ارتباط با ایستگاه‌های مورد مطالعه

Fig 1. The relative location map of the teleconnection indices used in the stations of this study.



شکل ۲. نقشه موقعیت نسبی ایستگاه‌های هواشناسی مطالعه شده در این پژوهش
Fig 2. The relative location map of the studied meteorological stations in this research.

در این مطالعه از روش تحلیل آماری همبستگی و تحلیل مؤلفه‌های اصلی استفاده خواهد شد. دمای سطح زمین به دلیل اختلاط با هوای لایه مرزی و ارتباط نزدیک با دمای هوا از مطالعه حذف شده است. از طرفی به دلیل حجم بالای مطالعات فراسنج‌هایی نظیر دمای هوا در سطح جهانی و عدم تکرار، در این مطالعه تنها روی دمای خاک و اکاوی صورت می‌گیرد. شاخص‌های دورپیوندی مورد نظر برای تحلیل ارتباط در مطالعه حاضر، به شرح جدول ۱-۳ است.

جدول ۱. شاخص‌ها و الگوهای پیوند از دور به کاررفته در پژوهش حاضر (در ارتباط با مطالعه Helali et al., 2020 و Ahmadi et al., 2019)

Table 1. Used teleconnection indices and patterns in the present research (Ahmadi et al., 2019, and Helali et al., 2020)

ردیف	اختصار شاخص	نام شاخص (انگلیسی)	نام شاخص (فارسی)
۱	MEI	Multi-variate ENSO Index	شاخص چند متغیره انسو
۲	SST3.4	Sea surface temperature at the Niño 3.4 region (Pacific Ocean Center)	بی‌هنجاری دمای آب در مرکز اقیانوس آرام
۳	PDO	Pacific Decadal Oscillation	نوسان دهه‌ای اقیانوس آرام
۴	AMO	Atlantic Multi-Decadal Oscillation	نوسان چنددهه‌ای اقیانوس اطلس
۵	TNA-TSA	Difference between Temperature of	تفاضل دمای آب شمال اقیانوس اطلس از جنوب آن

	North Atlantic than South Atlantic		
دوقطبی اقیانوس هند	Indian Ocean Dipole	IOD	۶
شاخص نوسان اطلس شمالی	North Atlantic Oscillation	NAO	۷
الگوی شرق اطلس - غرب روسیه	East Atlantic-West Russian pattern	EAWR	۸
الگوی اسکاندیناوی	Scandinavian Index	SCND	۹
الگوی شرق اطلس	East Atlantic Pattern	EA	۱۰
دمای آب شرق مدیترانه	East Mediterranean Temperature Index	EMED	۱۱
دمای آب دریای خزر	Caspian Sea Temperature Index	CSP	۱۲
دمای آب دریای سیاه	Black Sea temperature Index	BLK	۱۳
دمای آب خلیج فارس	Persian Gulf Temperature Index	PRS	۱۴
دمای آب دریای سرخ	Red Sea Temperature Index	RDS	۱۵
دمای آب شمال اقیانوس هند	Northern Indian Ocean Temperature Index	NIND	۱۶

تعریف هندسی ضریب همبستگی بین دو متغیر عبارت است از مقدار کوسینوس زاویه‌ای که دو متغیر نسبت به هم تشکیل می‌دهند و تعیین‌کننده ارتباط متغیرها می‌باشد (منصورفر، ۱۳۸۸). برای محاسبه مقدار همبستگی بین دمای ژرفاهای خاک و شاخص‌های دورپیوندی، ضریب همبستگی به روش گشتاور حاصل ضرب پیرسون در دوره آماری مورد مطالعه از رابطه زیر محاسبه گردیده است:

$$r_{\text{Pearson}} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

در این رابطه X و Y سنجه‌های مستقل و وابسته و X بار و Y بار میانگین سنجه‌های مستقل و وابسته هستند؛ r به دست آمده عددی بین -۱ و +۱ خواهد بود که هر چه به ± 1 نزدیک‌تر باشد، رابطه قوی‌تر است (عساکره و اشرفی، ۱۳۹۰). رابطه موجود بین سه متغیر یا بیشتر را رگرسیون چند متغیری می‌نامند. اصول اساسی رگرسیون چند متغیری مانند اصول مربوط به مسائل رگرسیون دو متغیری می‌باشد. در رگرسیون چند متغیره، یک متغیر را وابسته و متغیرهای دیگر را مستقل می‌نامند. طبق رابطه ۲، هر معادله‌ای که توان متغیرهای مستقل و وابسته یک باشد را معادله خطی می‌نامند.

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_k \quad (2)$$

با توجه به معادله بالا می‌توان گفت چه متغیرهایی دارای قوی‌ترین رابطه با متغیر وابسته‌اند و هم‌چنین می‌توان دید که کدام متغیر دارای بیشترین تأثیر بر Y است و سرانجام می‌توان از آن برای پیش‌بینی Y استفاده کرد. هدف از رگرسیون چند متغیره این است که بتوان متغیر وابسته Y را از روی اطلاعات مربوط به مقادیر دو یا چند متغیر مستقل $x_1, x_2, \dots, x_k$ پیش‌بینی کرد (منصورفر، ۱۳۸۸).

تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA): یکی از روش‌های آماری چند متغیره است که بین مجموعه فراوانی از متغیرها که به ظاهر بی‌ارتباط هستند، رابطه خاصی را تحت یک مدل فرضی برقرار می‌کند. بنابراین از میان روش‌هایی که داده‌های آماری را تحلیل می‌کنند روش تحلیل عاملی کاربرد زیادی دارد. اگر فقط سه عامل وجود داشته باشد، نمره سؤال x_i ام i را می‌توان به صورت الگوی زیر نوشت:

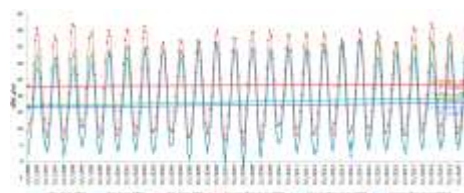
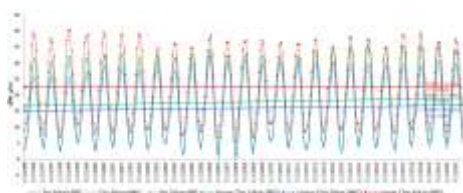
$$X_i = b_{i1}F_1 + b_{i2}F_2 + b_{i3}F_3 + \epsilon_i \quad (3)$$

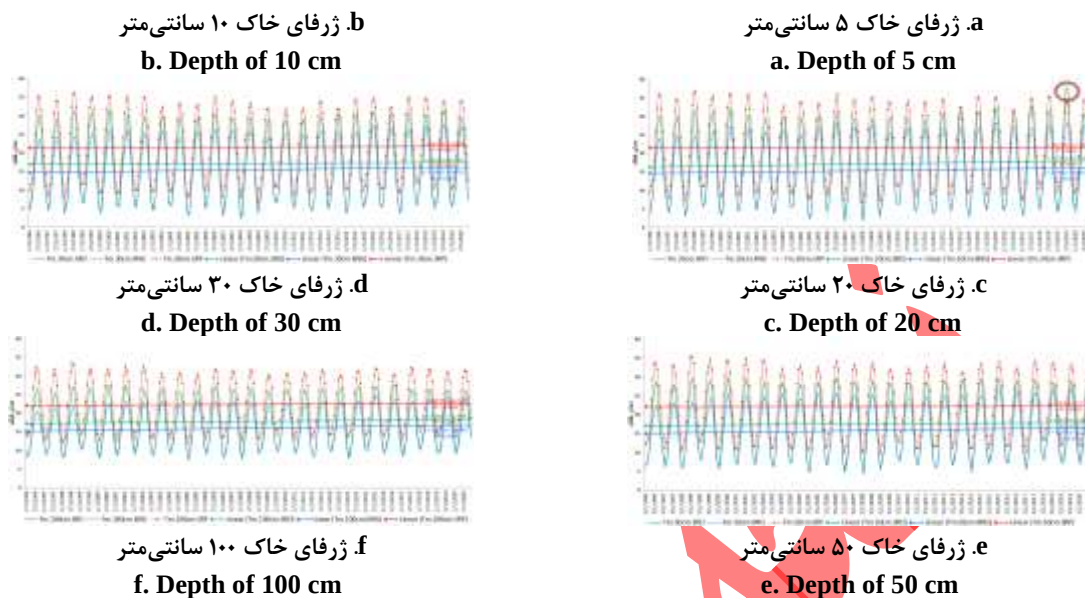
که در آن $i = 1, 2, 3, \dots, 100$ و ϵ_i دارای توزیع نرمال با میانگین صفر و واریانس معین است. فرمول بالا مشابه یک مسئله رگرسیون خطی چندگانه است که تنها مقادیر F_1, F_2 و F_3 مجهول هستند، پارامترهای مرتبط با اندیس b که متغیر i ام را به عامل ۱، ۲ و ۳ مرتبط می‌سازد بار عاملی نامیده می‌شود (Mansurfar, 2009). همچنین در تحلیل نهایی از آماره کایزر- مایر- الکین نیز استفاده شده است.

در ادامه، از روش رگرسیون گام به گام با تأخیر یک فصل، برای امکان‌سنجی پیش‌بینی دمای خاک ایستگاه هواشناسی کشاورزی سرارود با توجه به مبنا بودن، آمار قابل استناد تر و تخصصی بودن، استفاده شده است. در این بخش آمارهای موردنیاز برای ارزیابی مدل آورده شده‌اند، همچنین برای مواردی که بیش از یک مدل برازش شده نمودار همبستگی جزئی شاخص‌های وارد شده به مدل رگرسیونی آن‌ها نیز نمایش داده شده است. در ادامه پژوهش نیز به اختصار با استفاده از شاخص‌هایی که بار عاملی و همبستگی بیشتری داشته‌اند، سازوکار همدید مؤثر بر دمای خاک، با رویکرد محیطی به گردشی و بررسی الگوهای گردش میانگین در دو تراز استاندارد اتمسفر (تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و فشار تراز دریا) تفسیر شده است. نخست از مقادیر دمای شش لایه خاک سه ایستگاه میانگین‌گیری شد، سپس این دمای میانگین کل، از دمای بیشتر به کمتر مرتب و طبقه‌بندی شدند، در ادامه ۵ سال فرین سرد و ۵ سال فرین گرم برگزیده شده و نقشه‌های هوای دو تراز معیار ترسیم گردید؛ همچنین در این پژوهش برای واکاوی آماری از محیط نرم افزاری اکسل و اس پی اس اس نسخه ۱۸ استفاده شده است.

نتایج و بحث

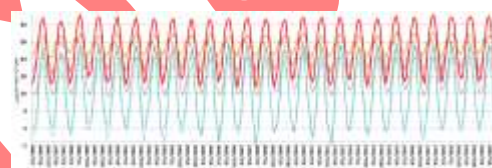
در شکل ۳ سری زمانی ماهانه ایستگاه‌های کنگاور، سرارود و سرپل ذهاب نشان داده شده است. دمای میانگین ماهانه تنها در ژرفاهای ۵ و ۱۰ سانتی‌متر و در اوج فصل سرد، به‌ویژه در سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ میلادی صفر و زیر صفر بوده و در باقی ژرفاها بالای صفر درجه سلسیوس بوده است. طبق نمودارهای سری زمانی، چرخه فصلی دما به‌خوبی نمایان است طبق این نمودارها روند افزایش دما در ژرفای ۵ سانتی‌متر در هر سه ایستگاه دیده شده است. البته با توجه به مقادیر پایین آماره R^2 روند در هیچ‌یک معنی‌دار نیست، از طرفی روند افزایش دمای ژرفای ۵ سانتی‌متر ایستگاه سرارود بیشتر از دو ایستگاه دیگر است، همچنین روند دمای ایستگاه‌های سرارود و کنگاور در ابتدای سری زمانی نزدیک به هم بوده است که در انتهای سری دورتر شده است، به‌نوعی گرایش به رژیم دمای گرمسیری ایستگاه سرارود بیشتر از کنگاور است. با توجه به سری زمانی ژرفای ۵ سانتی‌متر ایستگاه‌ها اختلاف دمای میانگین ماه‌های تابستان ایستگاه‌ها کاهش یافته است. سری زمانی دمای ژرفاهای ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر ایستگاه‌ها پایدارتر بوده و دامنه نوسان کمتری داشته‌اند، به‌طور کلی با نفوذ به لایه‌های پایین‌تر خاک دامنه نوسان ماهانه، فصلی و سالانه ایستگاه‌ها کاهش یافته و رفتار سری زمانی دو ایستگاه نماینده نواحی سردسیر و معتدل به هم نزدیک‌تر می‌شود و برعکس. در یک دهه گذشته آهنگ افزایش دمای ژرفاهای ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر خاک، از غرب به شرق استان کرمانشاه شتاب بیشتری گرفته است.



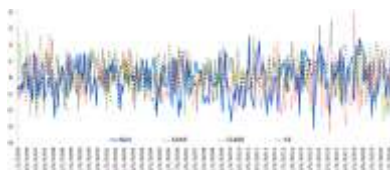


شکل ۳- سری‌های زمانی دمای ژرفاهای خاک ایستگاه‌های مطالعه حاضر
Fig 3. Time series of soil depth and temperature at the stations of the present study

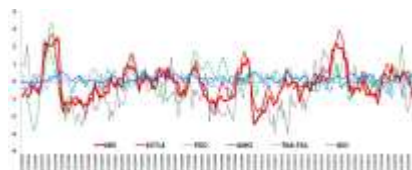
در شکل‌های ۴ تا ۶ نیز سری زمانی شاخص‌های دورپیوندی به کار رفته در پژوهش حاضر نشان داده شده‌اند. طبق نمودارهای سری زمانی، چرخه فصلی دما در حوضه‌های کوچک‌تر بسته و شمال سوتر آبی، بسیار بیشتر از حوضه‌های آزاد و گسترده است، این ویژگی دامنه نوسان فصلی دما، در شمال اقیانوس هند، دریای سرخ و مدیترانه، از همه کمتر است. خلیج فارس بیشترین و دریای سیاه و خزر کمترین دماها را در فصول گرم و سرد تجربه می‌کنند.



شکل ۴. سری‌های زمانی دمای آب پهنه‌های آبی همسایه
Fig 4. Time series of water temperature from neighboring water basins



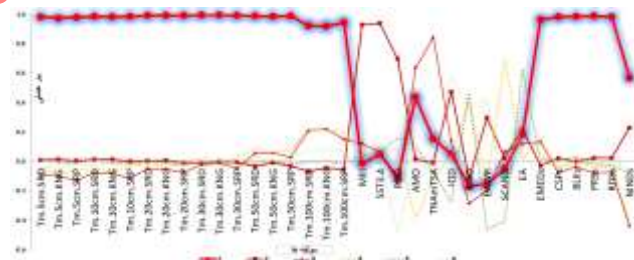
شکل ۵. سری‌های زمانی شاخص‌های فشاری / گردشی
Fig 5. Time series of pressure/circulation indices



شکل ۶. سری‌های زمانی شاخص‌های خانواده انسو

Fig 6. Time series of ENSO family indices

با هدف آشکارسازی و شناخت روابط و همبستگی‌های پنهان بین شاخص‌های پیوند از دور و دمای ژرفاهای همه ایستگاه‌های مورد مطالعه، در ادامه از روش تحلیل مولفه‌های اصلی استفاده شده است. آماره کایزر-مایر-الکین آزمون 0.951 و نزدیک به 1 بوده و نشان می‌دهد که داده‌های مورد نظر (اندازه نمونه) برای تحلیل عاملی مناسب هستند، همچنین آماره بارتلت نیز نشان می‌دهد که این آزمون نیز معنی‌دار است. طبق برون‌داد پراش کل، از بین همه شاخص‌های وارد شده به واکاوی (۳۴)، شش مؤلفه استخراج گردید (نزدیک 90 درصد پراش کل) که حدود 66 درصد پراش را مؤلفه نخست، $7/2$ درصد مؤلفه دوم و $5/7$ درصد را مؤلفه سوم توجیه کرده‌اند. با هدف آشکارسازی پس‌خورندها و ارتباطها، نمودار شش مؤلفه اصلی به‌دست آمده با استفاده از بارهای عاملی آن‌ها نشان‌داده شده است. طبق نمودار شکل ۷، بیشترین ارتباط مستقیم مؤلفه نخست (دمای لایه‌های خاک هر سه ایستگاه) با دمای آب پهنه‌های آبی منطقه، رتبه دوم با دمای شمال اقیانوس هند، رتبه سوم با دمای آب شمال اقیانوس اطلس (شاخص AMO) آشکارسازی شده است. نکته بسیار مهم در واکاوی ارتباط سه رتبه نخست، نوع آن‌ها است که همگی مؤلفه دمای آب هستند. این نشان می‌دهد که احتمالاً رژیم دمای خاک استان کرمانشاه بیشتر زیر تأثیر گرمایش جهانی و احتمالاً گرمایش اقیانوس‌ها است. رتبه‌های بعدی که از معنی‌داری کمتری برخوردار هستند، عمدتاً شاخص‌های اتمسفری و گردش جو و با ارتباطی معکوس می‌باشند، از جمله شاخص شرق اقیانوس اطلس، شاخص نوسان شمالی و شاخص شرق اطلس- غرب روسیه. منحنی بار عاملی مؤلفه دوم نشان‌دهنده تأثیر بیشتر پدیده انسو و نوسان اطلس شمالی روی ژرفاهای 30 سانتی‌متر به پایین است که معمولاً در فازهای گرم انسو (النینو) دمای این ژرفاها قدری کاهش می‌یابد و در فازهای سرد انسو (لانینا) برعکس به نظر می‌رسد. در فاز منفی نوسان اطلس شمالی مشابه فاز گرم انسو، قدری کاهش دما در لایه‌های ژرف‌تر خاک روی داده است. در فاز مثبت دو قطبی اقیانوس هند نیز مشابه فاز گرم انسو، قدری کاهش دما در لایه‌های ژرف‌تر خاک روی داده است. با استناد بر منحنی مؤلفه سوم، افزایش دمای شمال اقیانوس اطلس موجب کاهش دمای ژرفای بالای 30 سانتی‌متر همه ایستگاه‌ها و افزایش دمای ژرفاهای کمتر از 30 سانتی‌متر شده است. با استناد بر منحنی مؤلفه سوم، شاخص منفی (مثبت) نوسان اطلس شمالی موجب افزایش (کاهش) دمای ژرفاهای 50 و 100 سانتی‌متر همه ایستگاه‌ها شده است (برای لایه‌های بالاتر برعکس) این یافته قدری با واکاوی مؤلفه دوم متفاوت است ولی با توجه به بار عاملی انباشته دوطرفه بیشتر، دارای عدم قطعیت کمتری است. به‌طور کلی به‌عنوان یک یافته فراگیر هر چه اقیانوس آرام مرکزی گرم‌تر، اقیانوس اطلس شمالی سرد تر، اقیانوس هند غربی گرم‌تر، پهنه‌های آبی همسایه سرد تر، فرارفت سرد غرب اورال شرق اروپا بیشتر (فاز مثبت شاخص EAWR) و فاز شاخص نوسان اطلس شمالی مثبت‌تر باشد، دمای ژرفاهای خاک ایستگاه‌ها به‌ویژه لایه‌های ژرف‌تر، معمولاً کاهش خواهد یافت.



شکل ۷. نمودار ارتباط فضایی همه ماتریس مؤلفه‌ها با توجه به مقادیر بار عاملی شش مؤلفه اصلی استخراج‌شده، مؤلفه نخست برجسته‌تر نمایش داده شده است.

Fig 7. Spatial relationship diagram of all components' matrix regarding the load with 6 extracted components, the first component being displayed more prominently

نکته مهم همدید، ابهام در مورد تأثیر شاخص مثبت یا منفی نوسان اطللس شمالی است، آن هم به دلیل تأثیرات متفاوت در فصول گرم و سرد است، به نحوی که شاخص مثبت معمولاً در فصل سرد با کاهش دما و افزایش بارش همراه می‌گردد در حالی که گرایش به شاخص مثبت آن در فصل سرد معمولاً با تقویت پر فشارهای جنب حاره و گرمای بیشتر همراه است. طبق شکل ۷، نام گذاری هر مؤلفه انجام گرفته است، مؤلفه نخست نمایه دمای آب / خاک، مؤلفه دوم انسو، مؤلفه سوم نوسان دمای آب اقیانوس اطللس، مؤلفه چهارم نمایه توزیع مداری جرم و فشار هوای اوراسیا، مؤلفه پنجم توزیع نیم روزی جرم و فشار هوای اوراسیا و مؤلفه ششم شیب مداری دمای آب اقیانوس هند هستند. در این پژوهش تنها هدف بررسی مؤلفه نخست بوده که به خوبی در هم تنیدگی و ارتباط یا هم‌فازی دمای خاک با دمای آب اقیانوس‌ها نشان داده شده است. در ادامه سری زمانی ۳۱۲ ماه دمای ژرفاهای خاک سه ایستگاه با ۱۶ شاخص دورپیوندی وارد آنالیز همبستگی شده‌اند، طبق جداول ماتریس همبستگی و آماره‌های سطح معنی‌داری (نشان داده نشده‌اند)، به دلیل هم‌فازی، شاخص‌های دمای آب پهنه‌های دریایی همسایه، بیشترین همبستگی را با دمای خاک همه ژرفاهای ایستگاه‌ها داشته‌اند، به طوری که بیشترین ضریب همبستگی میانگین سه ایستگاه به ترتیب ژرفای ۵ سانتی‌متر با دمای آب دریای خزر، ژرفاهای ۱۰، ۲۰، ۳۰ سانتی‌متر با دمای آب خلیج فارس و ژرفای ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر با دمای آب شرق دریای مدیترانه به دست آمده است. با این روش، شاخص‌های خانواده انسو، در هیچ ژرفایی همبستگی معنی‌دار نداشته‌اند. شاخص نوسان اطللس شمالی تنها با دمای ژرفای ۱۰۰ سانتی‌متر ارتباط معنی‌دار نداشته است، به نظر می‌رسد به این دلیل بوده که الگوی نوسان اطللس شمالی در دوره‌های یکی دو هفتگی در گذر سامانه‌های جوی بیشتر نوسان دارد و تأثیر آن در ژرفاهای پایین‌تر خاک به روشنی آشکار نمی‌شود. همبستگی شاخص اسکاندیناوی نیز تنها با ژرفای ۲۰ سانتی‌متر و ایستگاه‌های کنگاور و سرپل‌ذهاب معنی‌دار بوده و با افزایش شاخص یاد شده، دمای این ژرفا کاهش یافته است، در این حالت معمولاً با مثبت‌تر شدن شاخص اسکاندیناوی روی شمال اروپا بلوکی‌نگ روی می‌دهد که موجب جریانات شمالی روی شرق مدیترانه و کاهش ارتفاع ژئوپتانسیلی خاورمیانه و کاهش دما می‌شود. به دلیل جایگاه میانی با رویکرد جغرافیایی- اقلیمی، نوع تخصصی ایستگاه موقعیت منحصربه‌فرد ایستگاه هواشناسی کشاورزی سرارود، واکاوی‌های آماری در این ایستگاه با جزئیات بیشتری بررسی شده است (شکل ۸). طبق نمودار سری زمانی، روند افزایشی نسبتاً معنادار در حدود ۰/۱۵ درجه سلسیوس در هر سال (۱/۵ درجه سلسیوس در هر دهه) و بیشتر در دمای فصل تابستان ژرفای ۵ سانتی‌متر دیده می‌شود. از مهم‌ترین تأثیرات این افزایش دمای ژرفای سطحی خاک، افزایش تبخیر و کاهش رطوبت خاک می‌باشد که می‌تواند روی پوشش گیاهی ناحیه نیز تأثیر منفی بگذارد. طبق نمودارها نوسان دما در ژرفاهای بیشتر، کمتر می‌گردد، به‌طور کلی میانگین دمای همه ژرفاها در تابستان بیشینه و در زمستان کمینه است، تنها تفاوت در فصول گذار بهار و پاییز است، نکته قابل توجه این است که تا ژرفای ۵۰ سانتی‌متر معمولاً دمای میانگین همه لایه‌های بهار بیشتر از پاییز است، این در حالی است که در لایه ۱۰۰ سانتی‌متر منحنی دمای فصل پاییز بالاتر از فصل بهار قرار می‌گیرد. روند دمای همه لایه‌ها افزایشی است، اگر چه بیشتر آن‌ها معنی‌دار نیستند، تنها در لایه‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متر فصل پاییز و دمای لایه ۳۰ سانتی‌متر فصل بهار، روند کاهش مختصر دما (غیر معنی‌دار) دیده شده است.



ب. ژرفای خاک ۱۰ س. م. **شکل ۷**
b. Depth of 10 cm



ا. ژرفای خاک ۵ س. م. **شکل ۷**
a. Depth of 5 cm

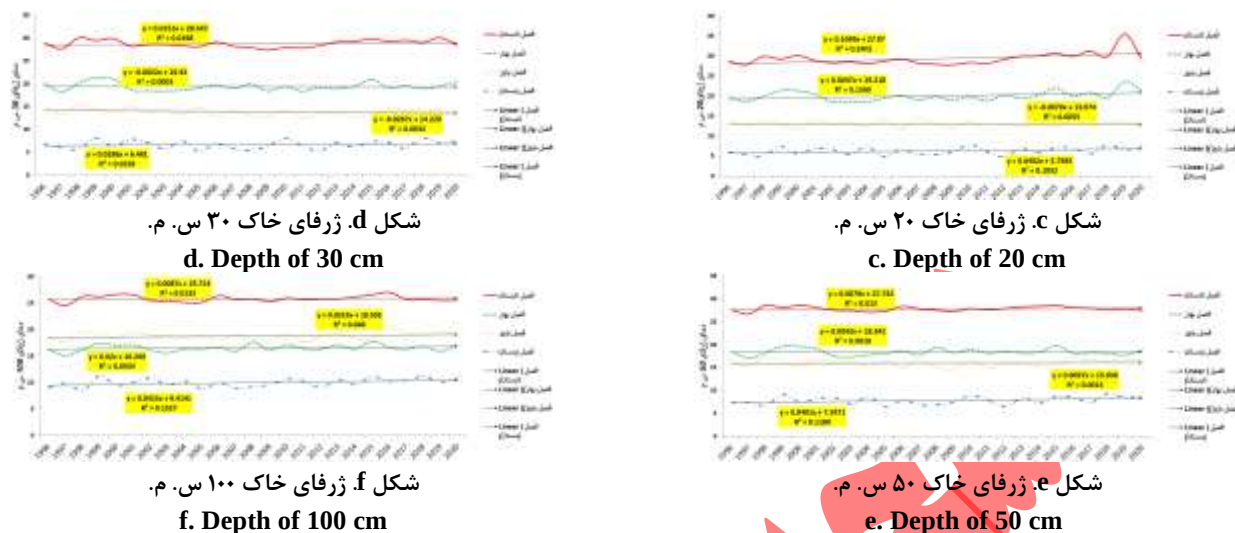
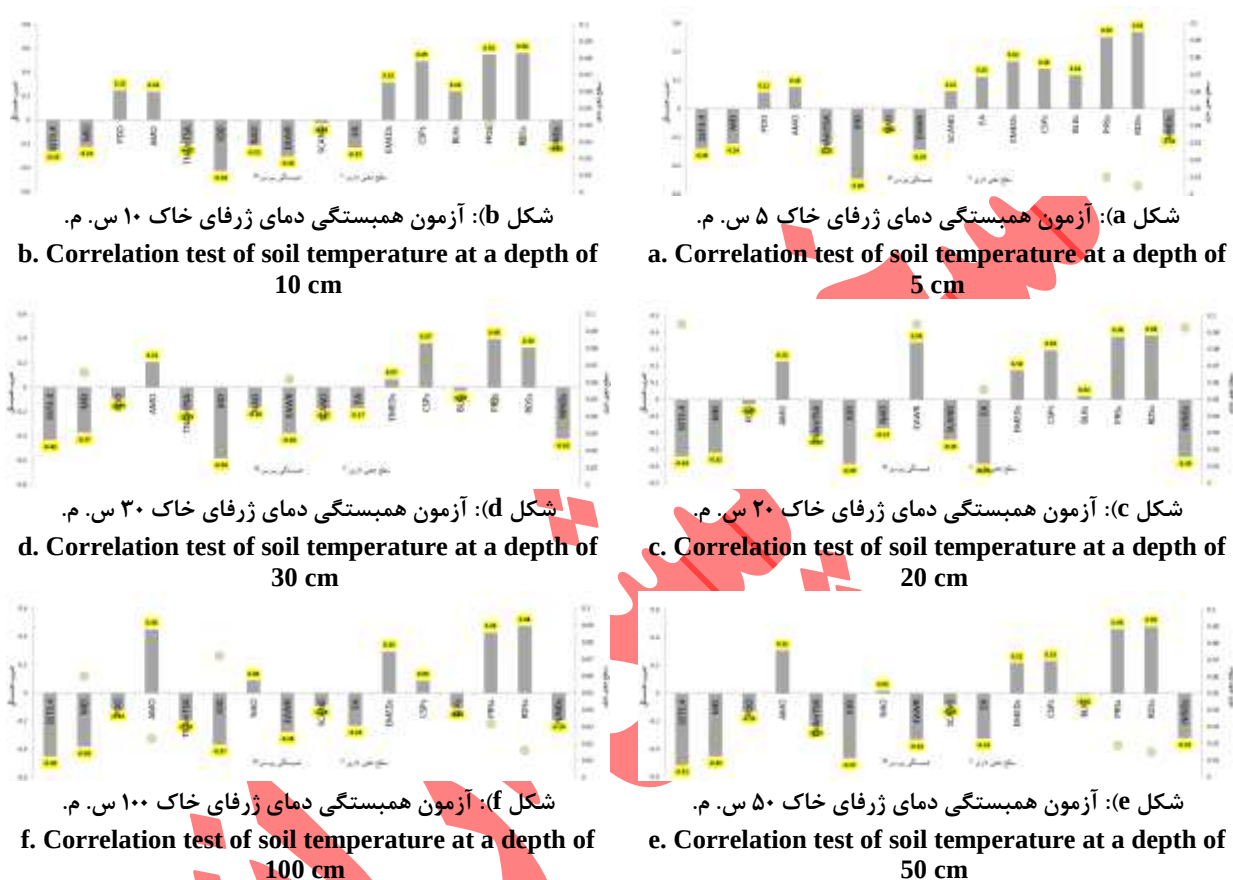


Fig 8. Time series of soil temperature depths at the Sararoud station

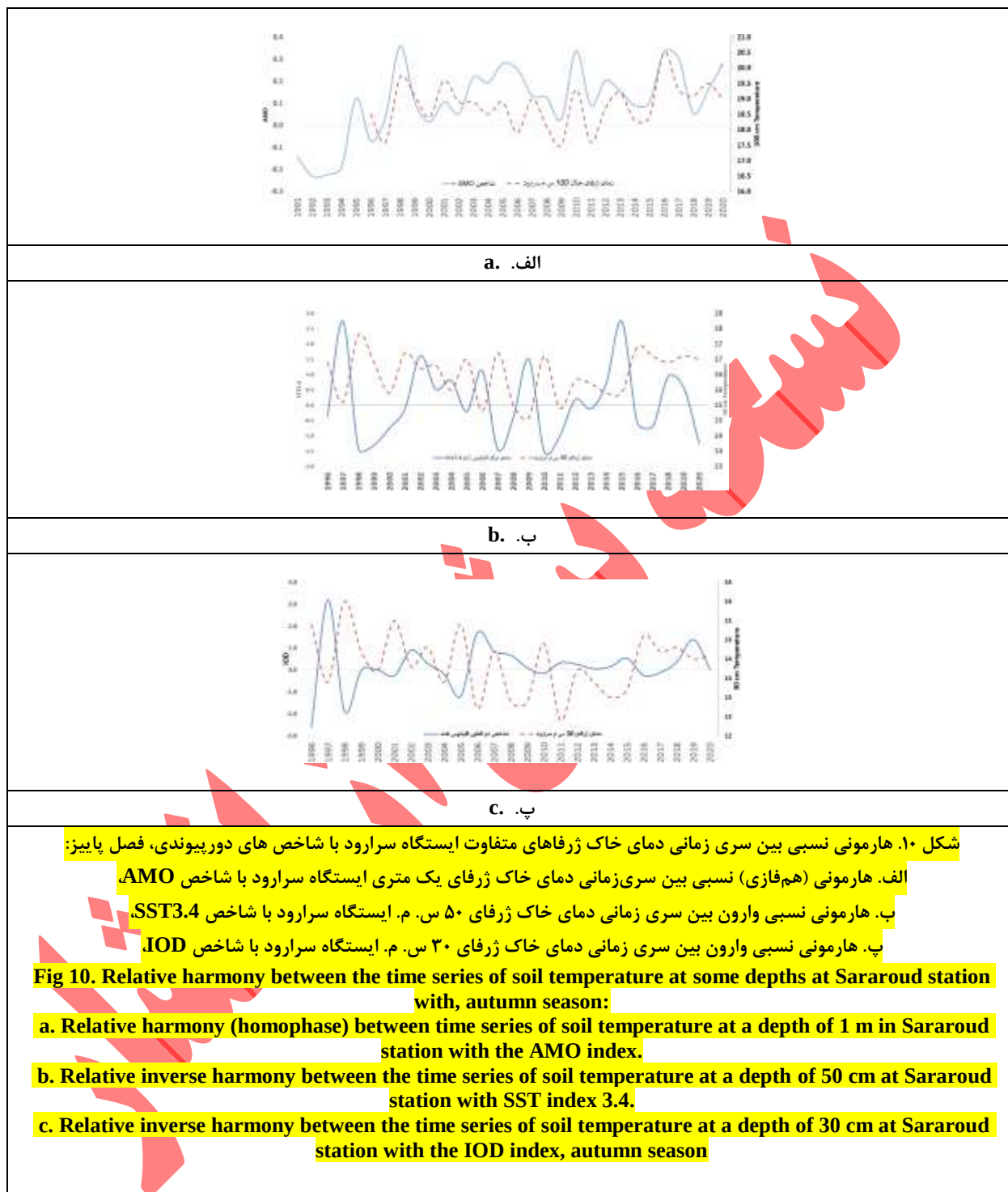
به دلیل جایگاه و اهمیت فصل پاییز در آغاز سال زراعی، روابط همبستگی در این فصل و ایستگاه هواشناسی کشاورزی سرارود با جزئیات بیشتری بررسی شده است. در مجموعه شکل ۹ یافته‌های واکاوی همبستگی نشان داده شده‌اند، در شکل ۹-a یافته‌های واکاوی همبستگی بین فراسنج دمای ژرفای خاک ۵ سانتی‌متر و شاخص‌های دورپیوندی نشان داده شده است. طبق نمودار همبستگی سطح معنی‌داری، ارتباط سه شاخص با دمای خاک این ژرفا معنی‌دار هستند، بیشترین و معتبرترین مقدار همبستگی (عدد درون کمانک) بین دمای ژرفای ۵ سانتی‌متر با شاخص‌های دورپیوندی، به ترتیب دمای آب دریای سرخ (۰/۵۴)، خلیج فارس (۱/۵) و الگوی دوقطبی اقیانوس هند (۰/۴۹)، می‌باشند. به‌واقع هم‌زمان با افزایش دمای آب دریای سرخ، خلیج فارس و شرق اقیانوس هند (IOD>0) در فصل پاییز، معمولاً دمای ژرفای ۵ س. م. خاک سرارود نیز افزایش یافته است. در شکل ۹-b یافته‌های واکاوی همبستگی بین فراسنج دمای ژرفای خاک ۱۰ سانتی‌متر و شاخص‌های دورپیوندی نشان داده شده است. طبق نمودار همبستگی سطح معنی‌داری (مانند ژرفای ۵ سانتی‌متر)، ارتباط سه شاخص با دمای خاک این ژرفا معنی‌دار هستند، بیشترین و معتبرترین مقدار همبستگی (عدد درون کمانک) بین دمای ژرفای ۱۰ سانتی‌متر با شاخص‌های دورپیوندی، به ترتیب دمای آب دریای سرخ (۰/۵۶)، خلیج فارس (۰/۵۵) و الگوی دو قطبی اقیانوس هند (۰/۴۳)، می‌باشند. در شکل ۹-c یافته‌های واکاوی همبستگی بین فراسنج دمای ژرفای خاک ۲۰ سانتی‌متر و شاخص‌های دورپیوندی نشان داده شده است. طبق نمودار همبستگی سطح معنی‌داری، ارتباط هیچ‌کدام از شاخص‌ها با دمای این ژرفا معنی‌دار نیست، اگر چه بیشترین مقدار همبستگی (عدد درون کمانک) بین دمای ژرفای ۲۰ سانتی‌متر با شاخص‌های دورپیوندی، به ترتیب الگوی شرق اطلس (۰/۳۹)، دمای آب دریای سرخ (۰/۳۸) و دمای آب خلیج فارس (۰/۳۸) می‌باشند. در شکل ۹-d یافته‌های واکاوی همبستگی بین فراسنج دمای ژرفای خاک ۳۰ سانتی‌متر و شاخص‌های دورپیوندی نشان داده شده است. طبق نمودار همبستگی سطح معنی‌داری، ارتباط دو شاخص با دمای خاک این ژرفا معنی‌دار هستند، بیشترین و معتبرترین مقدار همبستگی (عدد درون کمانک) بین دمای ژرفای ۳۰ سانتی‌متر با شاخص‌های دورپیوندی، به ترتیب الگوی دو قطبی اقیانوس هند (۰/۵۸) و دمای شمال اقیانوس هند (۰/۴۲) می‌باشند. در شکل ۹-e یافته‌های واکاوی همبستگی بین فراسنج دمای ژرفای خاک ۵۰ سانتی‌متر و شاخص‌های دورپیوندی نشان داده شده است. طبق نمودار همبستگی سطح معنی‌داری، ارتباط چهار شاخص با دمای خاک این ژرفا معنی‌دار هستند، بیشترین و معتبرترین مقدار همبستگی (عدد درون کمانک) بین دمای ژرفای ۵۰ سانتی‌متر با شاخص‌های دورپیوندی به ترتیب نینو ۳,۴ (۰/۵۱)، دمای آب دریای سرخ (۰/۴۸)، الگوی دو قطبی اقیانوس هند (۰/۴۷)، خلیج فارس (۰/۴۶) و شاخص چند متغیره انسو (۰/۴۵) می‌باشند. در شکل ۹-f یافته‌های واکاوی همبستگی بین فراسنج دمای ژرفای خاک ۱۰۰ سانتی‌متر و شاخص‌های دورپیوندی نشان داده شده است. طبق نمودار همبستگی سطح معنی‌داری،

ارتباط چهار شاخص با دمای خاک این ژرفا معنی دار هستند، بیشترین و معتبرترین مقدار همبستگی (عدد درون کمانک) بین دمای ژرفای ۱۰۰ سانتی متر با شاخص های دورپیوندی به ترتیب دمای آب دریای سرخ (۰/۴۸)، الگوی چند دهه ای اقیانوس اطلس (۰/۴۵)، دمای ناحیه مرکزی اقیانوس آرام، موسوم به نینو ۳٫۴ (۰/۴۵-) و خلیج فارس (۰/۴۳) می باشند.



شکل ۹: آزمون های همبستگی بین دمای ژرفاهای خاک ایستگاه سرارود با شاخص های دورپیوندی، فصل پاییز
 Fig 9. Correlation test between soil temperature depths and teleconnection indices at Sararoud station, autumn season

بررسی مقادیر همبستگی به دست آمده در فصل پاییز نشان دهنده ارتباط و احتمالاً تأثیر قابل ملاحظه نوسان دمای آب پهنه های جنوبی کشور روی وردایی دمای ژرفاهای خاک سرارود به ویژه روی ژرفاهای بالای ۵۰ سانتی متر می باشد. یافته جالب توجه این بخش ارتباط دمای ژرفای ۱۰۰ سانتی متر با دمای شمال اقیانوس اطلس (الگوی چند دهه ای اطلس) می باشد که در هیچ کدام از ژرفاهای بالاتر دیده نشده است، نکته مهم تر این است که الگوی چند دهه ای اقیانوس اطلس به عنوان یک الگوی کم پسامد و کند نوسان اقیانوسی بارز شناخته می شود و ارتباط آن با دمای ژرفای خاک یک متری که آن هم کم نوسان ترین لایه در بین لایه های مورد بررسی است قابل تأمل و تفسیر ژرف تر است. به واقع با شیفت و شیب مثبت الگوی چند دهه ای اطلس از سال های ۱۹۹۱ تا ۱۹۹۵ تاکنون، تحولات زیادی در اقلیم منطقه خاورمیانه، ایران و غرب کشور روی داد و روند دمای هوا افزایش بیشتری یافت و به ویژه بارش برف به شدت کاهش یافته است به نظر می رسد این رویدادها با افزایش معنادار دمای خاک ژرفای ۱۰۰ سانتی متری سرارود نیز مرتبط باشد (شکل ۱۰).



مقادیر همبستگی شاخص های مرتبط با انسو و دمای خاک دو ژرفای ۵۰ و ۱۰۰ سانتی متر بیانگر تأثیر وارونه انسو بر دمای خاک این ژرفاها است، به طوری که معمولاً در فازهای سرد انسو (لانینا) دمای خاک افزایش می یابد (همبستگی وارون شاخص چند متغیره انسو و دمای آب مرکز اقیانوس آرام با دمای خاک). این شرایط با توجه به تأثیر لانینا بر کم بارشی و استیلای جریانات پایدار بر بیشتر مناطق غربی کشور، قابل توجه همدید است (شکل ۱۱). از نظر قدر مطلق همبستگی همه لایه های مورد بررسی در فصل

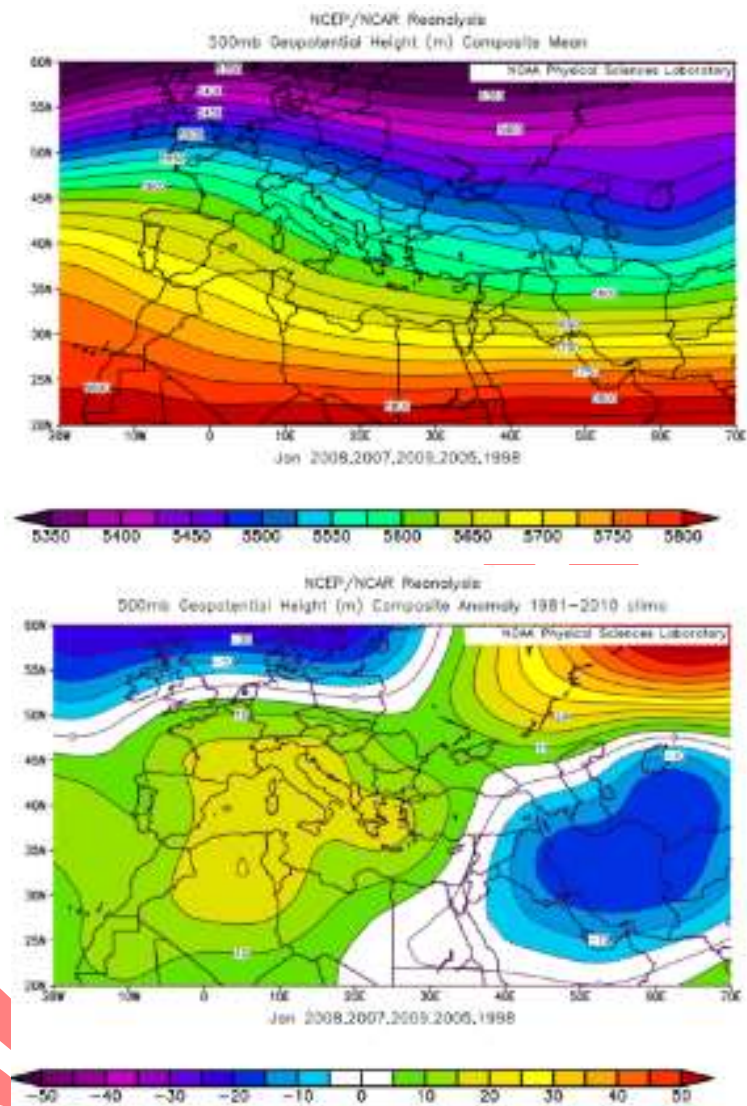
پاییز، بزرگ‌ترین مقدار همبستگی (-0.58) بین ژرفای ۳۰ سانتی‌متر و شاخص دو قطبی هند به‌دست آمده است. به‌واقع ارتباطی وارون بین ژرفای خاک ۳۰ سانتی‌متر و شاخص یاد شده به‌دست آمده است که بیانگر افزایش (کاهش) دمای خاک این ژرفا در فازهای منفی (سرد) شاخص دوقطبی اقیانوس هند است. این یافته با کاهش بارش (تقویت جریانات پایدار) و افزایش دمای معمول پاییز غرب کشور در فازهای منفی دوقطبی اقیانوس هند منطبق و هم‌راستا است (شکل ۱۲). به‌دلیل برون داده‌های نرم‌افزاری با حجم بالا و کاستن از حجم مقاله، در این بخش جداول آماره‌ها و واکاوی آنها نشان‌دهنده نشده‌اند و تنها خلاصه‌ای از روابط و یافته‌ها ارائه شده است (جدول ۲) طبق این جدول و آماره تعداد مدل رگرسیونی برازش شده (N) و بیشینه ضریب تبیین (R^2)، به‌ترتیب تابستان، پاییز و زمستان از قابلیت پیش‌بینی‌پذیری بیشتری برخوردار می‌باشند، این در حالی است که دمای ژرفاهای خاک فصل بهار با این روش و تنها با دو مدل رگرسیونی تک متغیره معنی‌دار برای دو ژرفای ۲۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر تقریباً قابل پیش‌بینی (تخمین اقلیمی) نیست.

جدول ۲. خلاصه شمار و ضریب تبیین مدل‌های رگرسیونی برازش شده در پژوهش حاضر، توضیح: در این جدول، منظور از تعداد مدل به‌واقع تعداد متغیر در معادله رگرسیون خطی است.

Table 2. Summary of the number and determination coefficients of the fitted regression models in the current study-In this table, the number of models refers to the number of variables in the linear regression equation.

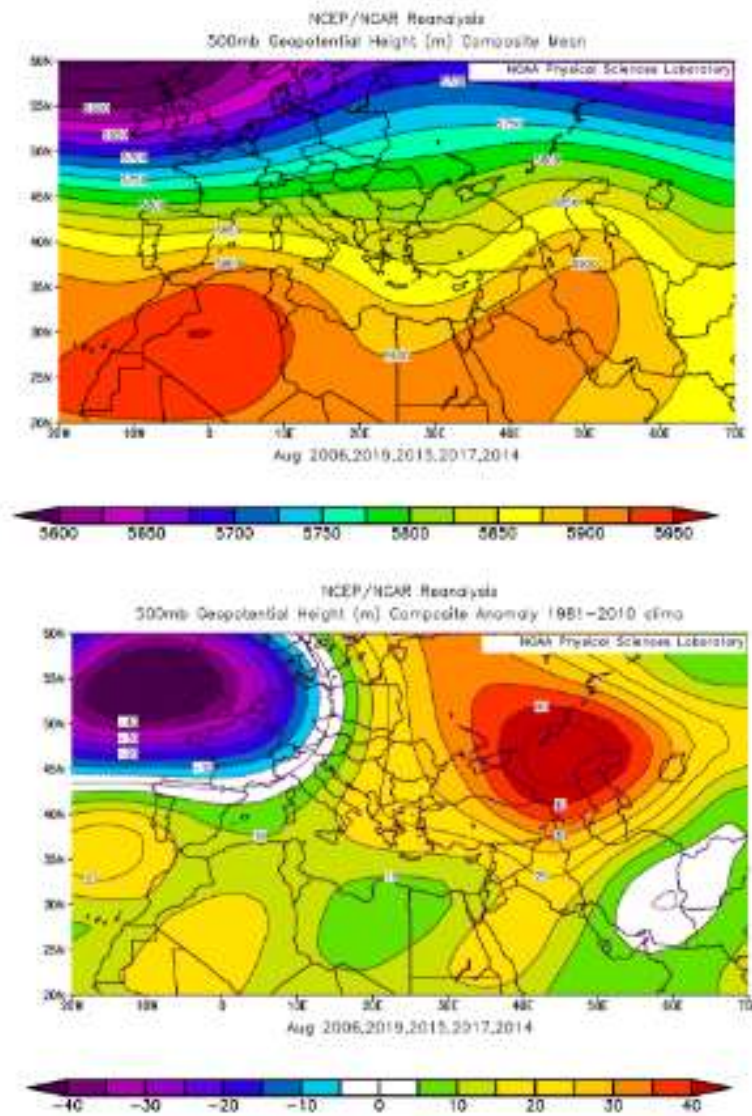
ژرفا	آماره	پاییز	زمستان	بهار	تابستان	مجموع / میانگین
Depth	Statistics	Autumn	Winter	Spring	Summer	Total / Average
5	N	4	2	---	4	10
	R^2_{max}	0.687	0.414	---	0.848	0.659
10	N	3	2	---	6	11
	R^2_{max}	0.512	0.425	---	0.951	0.629
20	N	1	1	1	3	6
	R^2_{max}	0.158	0.286	0.17	0.913	0.382
30	N	2	1	---	2	5
	R^2_{max}	0.459	0.249	---	0.53	0.412
40	N	2	2	---	3	7
	R^2_{max}	0.394	0.468	---	0.652	0.504
100	N	3	1	1	3	8
	R^2_{max}	0.596	0.34	0.282	0.669	0.471
مجموع / میانگین	N	15	9	2	21	47
Total / Average	R^2_{max}	0.467	0.366	0.226	0.768	0.455

در دوره آماری ۲۵ ساله، سردترین دمای میانگین خاک ایستگاه‌ها به‌ترتیب ماه ژانویه سال‌های ۲۰۰۸، ۲۰۰۷، ۲۰۰۹، ۲۰۰۵ و ۱۹۹۸ و گرم‌ترین دمای میانگین خاک ایستگاه‌ها به‌ترتیب ماه آگوست سال‌های ۲۰۰۶، ۲۰۱۹، ۲۰۱۵، ۲۰۱۷ و ۲۰۱۴ بوده‌اند. با تقسیم دوره آماری ۲۶ ساله به دو دوره ۱۳ ساله، همه ۵ سال فرین سرد یاد شده در بالا، در دوره نخست قرار گرفته‌اند، این در حالی است که چهار سال از پنج سال فرین گرم در دوره ۱۳ ساله دوم قرار گرفته‌اند. این گویای گرم شدن قابل توجه دمای خاک یک دهه گذشته ایستگاه‌های مورد مطالعه است (شکل‌های ۱۱ تا ۱۴).



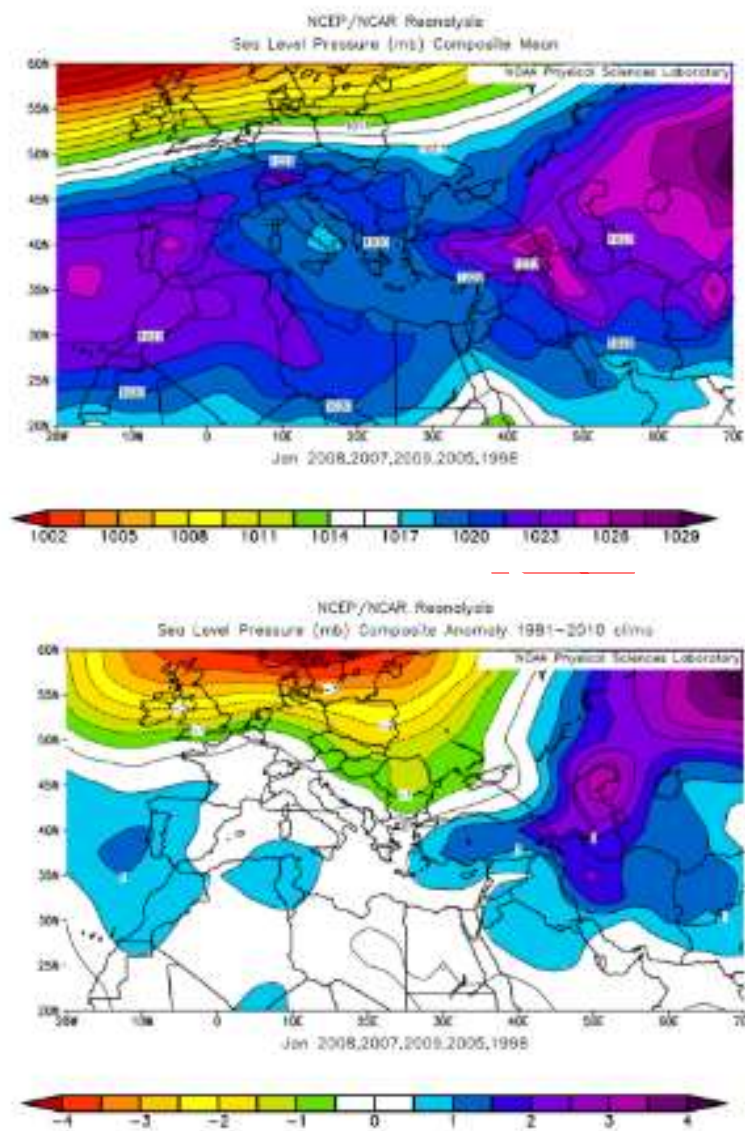
شکل ۱۱. توپوگرافی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در سال‌های نماینده سرد (بالا) و بی‌هنجاری آن (پایین)

Fig 13. Topography of the 500 hectopascal level in the representative cold years (top) and its anomaly (bottom)



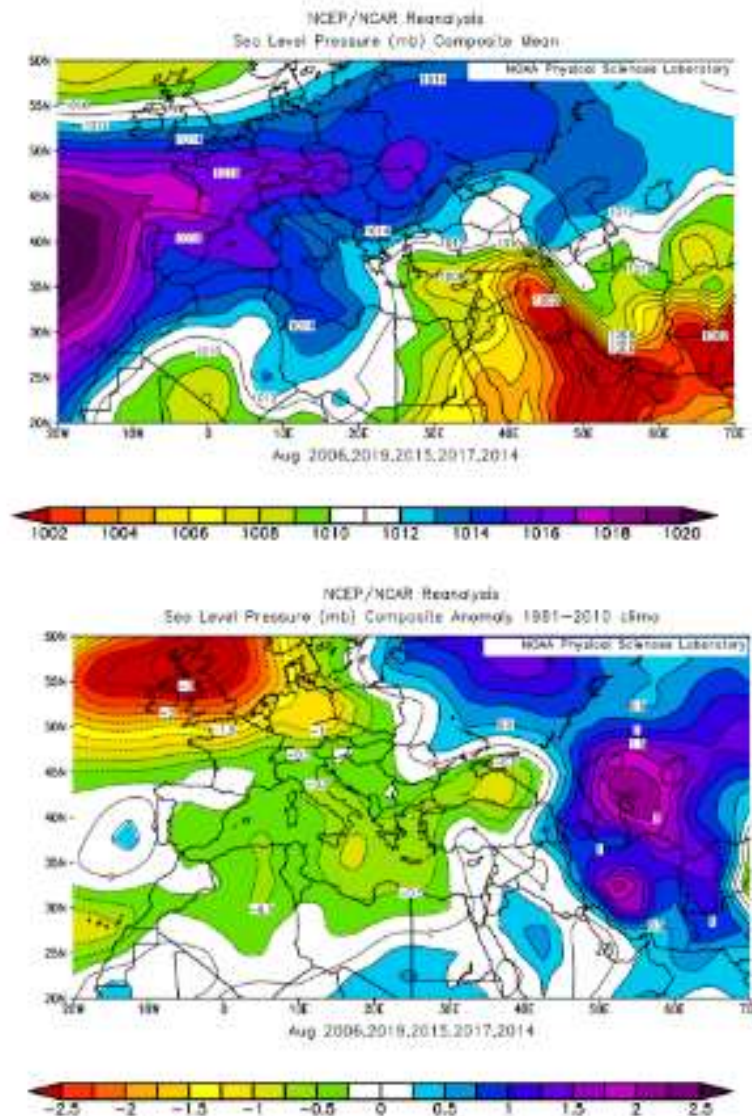
شکل ۱۲. توپوگرافی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در سال‌های نماینده گرم (بالا) و بی‌هنجاری آن (پایین)

Fig 14. Topography of the 500 hectopascal level in the representative warm years (top) and its anomalous (bottom) years



شکل ۱۳. نقشه فشار سطح دریا در سال‌های نماینده سرد (بالا) و بی‌هنجاری آن (پایین)

Fig 15. Sea surface pressure map in the representative cold years (top) and its anomaly (bottom)



شکل ۱۴. نقشه فشار سطح دریا در سال‌های نماینده گرم (بالا) و بی‌هنجاری آن (پایین)

Fig16. Sea surface pressure map in the representative warm years (top) and its anomaly (bottom)

الگوی سرد ژرفای خاک ایستگاه‌ها با تقویت فرارفت هوای سرد هم‌خوانی دارد. در این الگو در بیشتر فلات ایران بیش از ۱۵ متر ارتفاع ژئوپتانسیلی کمتر از نرمال بوده و در سطح زمین نیز مرکز پرفشار سردی با هم‌فشار ۱۰۲۵ هکتوپاسکال روی شمال غرب کشور (ماکو- وان) بسته شده است که با الگوی سرد ژرفای خاک ایستگاه‌ها انطباق دارد. در الگوی دمای بیشینه خاک در تابستان، محور پشته پر ارتفاع نزدیک گرمسیر (واچرخند عربستان)، از دریای سرخ تا دریای خزر کشیده شده است (پربند ۵۹۰۰ متر) و به‌ویژه در شمال غرب کشور بیش از ۳۰ متر تقویت شده است. میانگین شاخص NAO در گروه خاک سرد، ۰/۱۹+ و در گروه خاک گرم، ۱/۷۸- و میانگین شاخص PDO در گروه سرد ۰/۶۲- و در گروه گرم، ۰/۰۳- بوده‌اند. این یافته با یافته‌های بخش‌های پیشین که رویکردی شبه‌گردشی (بررسی فاز شاخص) به محیطی (دمای خاک) داشت نیز هم‌خوانی دارد. از نکات قابل‌توجه دیگر، تقویت فشار فلات مرکزی در هر دو الگوی فرین سرد و گرم است. به نظر می‌رسد در فصل سرد افزایش فشار به دلیل هجوم هوای سرد شمالی، نفوذ پرفشار سیبری و ادغام با پرفشارهای مهاجر همراه با پوشش برف و سرمایش تابشی ناشی از آن بوده باشد. هم‌چنین

به نظر می‌رسد در فصل گرم تقویت فشار فلات مرکزی به دلیل شیفت شمال‌سوی محور واچرخند تابستانه و تقویت واگرایی و فرو نشینی دینامیکی و در نهایت افزایش جرم زیر بازوی شرقی آن بوده باشد. هم‌زمان فشار منطقه میان رودان عراق افزایش نیافته، این سازوکار تقویت شیو فشار، فرارفت هوای گرم به غرب کشور را تشدید کرده باشد (شکل‌های ۱۱ تا ۱۴).

نتیجه‌گیری

این پژوهش برای نخستین بار با یک رویکرد ویژه در کشور و با توجه به کمبود مطالعات مشابه در سطح جهانی، انجام شد. به دلیل نبود پژوهش‌های مشابه، مقایسه با دیگر مطالعات دشوار است. در این تحقیق، داده‌های دمای خاک سه ایستگاه هواشناسی اصلی استان کرمانشاه که دارای آمار بلندمدت و کامل تری بودند، جمع‌آوری شد. سپس داده‌های شاخص‌های پیوند از دور جهانی و منطقه‌ای و دمای آب دریاها و اطراف نیز مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت، با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره، روابط میان این شاخص‌ها و دمای خاک در شش ژرفا مختلف واکاوی شد.

یافته‌های اصلی و کلیدی این پژوهش به شرح ادامه است: وجود همبستگی‌های معنادار: بین دمای خاک در شش ژرفا مختلف و شاخص‌های پیوند از دور، روابط قابل قبولی مشاهده شد. بررسی‌های عاملی و آزمون همبستگی نشان داد که بیشتر ژرفاها، همبستگی قوی و معناداری با دمای آب دریاها و اطراف منطقه دارند. همچنین تأثیر گرمایش جهانی: همبستگی قوی بین دمای آب دریاها و اطراف و دمای خاک ایستگاه‌ها، به‌ویژه با توجه به محدوده‌های کوچک آنها و نبود دلایل فیزیکی مشخص، نشان‌دهنده ارتباط هم‌فازی است که بیشتر تابع گرمایش جهانی اقیانوس‌ها است. ارتباط با پدیده انسو: همبستگی بین دمای خاک و دمای اقیانوس اطلس شمالی، شاخص دوقطبی هند و دمای اقیانوس آرام مرکزی، به‌ویژه در ابعاد همدید و نیم‌کره‌ای، مرتبط با گردش میان‌مقیاس و بزرگ‌مقیاس جو-اقیانوس است و تابع پدیده انسو می‌باشد. در ارتباط با شاخص‌های منطقه‌ای: همبستگی بین دمای خاک و شاخص‌های منطقه‌ای، که بیشتر به‌صورت فشاری و جوی هستند، از نوع همدید در مقیاس منطقه‌ای است. این ارتباط‌ها با آرایش سیاره‌ای امواج بلند راسبی و نوسان واچرخند دائمی آזור مرتبط بوده و در فازهای مثبت و منفی، تأثیرات مشخصی بر دما و رطوبت خاک دارند. در ارتباط با ثبات دما در ژرفاهای بیشتر: به‌طور کلی، دماهای خاک در ژرفاهای زیر ۵۰ سانتی‌متر از ثبات و پایداری بیشتری برخوردارند و کمتر تحت تأثیر نوسانات روزانه و هفتگی قرار می‌گیرند. بنابراین، نتایج آزمون‌های آماری برای این ژرفاها معتبرتر است. در ارتباط با تأثیر دماهای آب دریاها و پیرامون: در مجموع، زمانی که دمای آب دریاها و اطراف منطقه کمتر و دمای اقیانوس هند بیشتر باشد، دماهای خاک ایستگاه‌های سه‌گانه کمتر خواهد بود، به‌ویژه در فاز گرم انسو و فاز مثبت شاخص‌های NAO و EWAR. در ارتباط با پیش‌بینی فصلی: در آزمون همبستگی و رگرسیون بین دمای خاک و شاخص‌های یک فصل با فصل‌های پیشین یا بعد، نتایج جالب توجهی به‌دست آمد؛ به‌ویژه اینکه امکان پیش‌بینی دمای خاک برای فصل‌های آینده وجود دارد. این یافته‌ها به‌عنوان یک شاخص دورپیوندی می‌تواند در پیش‌بینی و ارزیابی وضعیت دمای خاک در فصل‌های بعدی استفاده شود و کاربردهای مهمی در تولید محصولات کشاورزی و کنترل آفات دارد. در ارتباط با پیش‌بینی‌پذیری فصل‌ها: مدل‌سازی رگرسیونی نشان داد که فصل بهار پیش‌بینی‌پذیری کمتری نسبت به سایر فصل‌ها دارد. همچنین، به دلیل پیچیدگی فرآیندهای بیولوژیکی خاک تحت تأثیر عوامل جوی و اقیانوسی، هرگونه تغییر یا نوسان در این فرآیندها می‌تواند بر تغذیه و حیات بشر تأثیرگذار باشد. به‌طور کلی، این پژوهش نشان‌دهنده تأثیرات گسترده و پیچیده عوامل جوی و اقیانوسی بر دمای خاک و فرآیندهای مرتبط با آن است و می‌تواند به‌عنوان مبنای اطلاعاتی برای پیش‌بینی وضعیت خاک و بهینه‌سازی بخش کشاورزی در مقیاس‌های مختلف استفاده شود.

141

منابع

- Ahmadi-Givi, F., Parhiz-Gar, D., & Hijam, S. (2008). Study of the effect of ENSO on the seasonal precipitation distribution of Iran in the period 1971-2000, *Physics of Earth and Space*. DOR:20.1001.1.2538371.1388.35.4.7.0
- Ahmadi, M., Salimi, S., Hosseini, S. A., Poorantiyosh, H., & Bayat, A. (2019). Iran's precipitation analysis using synoptic modeling of major teleconnection forces (MTF), *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 85, 41-56. DOI:10.1016/j.dynatmoce.2018.12.001
- Alijani, B. (2002). Synoptic Climatology, First Edition, Tehran, Samt Publications.

- Alai Taleghani M. (2003). *Geomorphology of Iran*, Qoms Publications.
- Asakereh, H., & Ashrafi, S. (2011). Modeling the Number of Annual Rainy Days Based on Relative Humidity and Annual Temperature of Zanjan, *Se Pehr Journal*, 20(80), 13-18.
- Behyar, M. & Kamali, G. (2007). The relationship between air temperature and surface temperature & different depths of soil, *Geographical Research*, 23(3), 81-102.
- Bridgman, A., Howard, O., John, E. (2006). The global climate system patterns, processes, and teleconnections. *Cambridge University Press*.
- Chase, N., Apielke, S. & Avissar, R. (2005). Teleconnections in the Earth System, *Encyclopedia of Hydrological Sciences*. Edited by M. Anderson. John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/0470848944.hsa190>
- Dayan, U., Nissen, K. & Ulbrich, U. (2016). Review Article: Atmospheric conditions inducing precipitation over the eastern and western Mediterranean, *Journal of the European Geosciences*, 15, 525-544. <https://doi.org/10.5194/nhess-15-2525-2015>
- Ding, Q., & Wang, B. (2005). Circumglobal teleconnection in the Northern hemisphere summer, American meteorological society, *Journal of climate*, 18, 3483-3505. <https://doi.org/10.1175/JCLI3473.1>
- Jahanbakhsh-Asl, S., Zeinali, B., Rezaei-Bonfash, M., & Babaian, I. (2012). The effect of the surface temperature of the Mediterranean Sea on the precipitation of the western half of Iran. *Scientific Research Quarterly of the Iranian Geographical Society*, 34, 177-161.
- Khosh-Rafatar, F. (1998). The ENSO phenomenon and its effects on Iranian precipitation, *Geographical Research*, 51, 121-140. [DOR: 20.1001.1.2538371.1388.35.4.7.0](https://doi.org/10.1002/0470848944.hsa190)
- Mojard, F., & Sadeghi, H. (2013). Studying the relationship between surface temperature and soil depth (case study of Kermanshah province), *Natural Geographical Research*, 45(1), 101-118.
- Mansourfar, K. (2009). Advanced Statistical Methods with Computer Programs, Third Edition, Tehran University Press, pp. 254 and 261-260.
- NazimoSadat, S. M. J. & Ghasemi, A. R. (2004). The effect of fluctuations in the Caspian Sea surface temperature on the winter and spring precipitation of the northern and southern regions of Iran, *Agricultural Sciences and Technologies and Natural Resources*, 8(4), 14. [DOR:20.1001.1.24763594.1383.8.4.1.8](https://doi.org/10.1002/0470848944.hsa190)
- Mofidi A., & Zarrin-A. (2005). Synoptic analysis of the nature of Sudanese low-pressure systems, *Quarterly Geographical Journal of the Land*, Issue 6.
- Nazari, S. & Daneshvar, S. (2013). Investigation of the vegetation cover of Zagros forests in Kermanshah province, *National Conference on Zagros Environmental Hazards*, Khorramabad. Akbari Hamid, Master's thesis, Supervisor: Mir Mousavi, M.H., & Ahadi Nejad, M. (2012). <https://civilica.com/doc/253540>.
- Helali J., Salimi S., Lotfi M., Hosseini S.A., Bayat A, Ahmadi M., & Naderi-Zadeh S. (2020) Investigation of the effect of large-scale atmospheric signals at different time lags on the autumn precipitation of Iran's watersheds. *Arab J Geoscience*. 13(8),1-24, [DOI:10.1007/s12517-020-05840-7](https://doi.org/10.1007/s12517-020-05840-7)
- Helali, J., Momenzadeh, H. & Salimi, S. (2021). Synoptic-dynamic analysis of precipitation anomalies over Iran in different phases of ENSO. *Arab J Geoscience* 14, 2322. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-08644-5>
- Latif, M., Dommenges, D., Dima, M., & Grotzner, A. (1999). The Role of Indian Ocean Sea Surface Temperature in Forcing East African Rainfall Anomalies during December – January 1997/98, *Journal of climate*, 12, 3497-3509.
- Quiring S. (2002). A Teleconnection Primer, p5 2002. http://geog.tamu.edu/~squiring/html/tele_primer.htm
- Rowell, D.. The impact of Mediterranean SSTs on the Sahelian rainfall season, *Journal of Climate*, 16, 849-862. [DOI: https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2003\)16<0849:TIOMSO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2003)16<0849:TIOMSO>2.0.CO;2)
- Schwing, F., Mendelssohn, B., Bograd, S., Overland, J., Wang, M. & Ito, S.I. (2009). Climate change, Teleconnection patterns, and regional processes forcing marine populations in the pacific, *Journal of Marine Systems*, 79, 245-257, [doi:10.1016/j.jmarsys.2008.11.027](https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2008.11.027).
- Rezaei B., Jahanbakhsh-Asl M., , Bayati-Khatibi S. & Zeinali M. (2009). Forecasting autumn and winter precipitation in the western half of Iran using Mediterranean SST in summer and autumn, *Natural Geographical Research*, 4, 62-47.
- Ranjebar Saadatabadi, A. & Izadi, P. (2013). Relationship between Water Surface Temperature Anomalies of the Indian Ocean and the Arabian Sea and Precipitation Anomalies of the Southern Half of Iran, *Physics of Earth and Space*, 39(4), 135-157. [DOI: 10.22059/jesphys.2013.35986](https://doi.org/10.1007/s12517-020-05840-7).
- Uvo, CB., Repelli, CA., Zebiak, SE. & Kushnir, Y. (1998). The monthly patterns of northeast Brazil (NEB) precipitation are analyzed about sea surface temperature (SST) in the tropical pacific and Atlantic Oceans, using singular value decomposition, *Journal of climate*, 11, 551-562. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1998\)011<0551:TRBTTPA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1998)011<0551:TRBTTPA>2.0.CO;2).
- Wang, Y., Chen, W., Zhang, J. & Nath, D. (2013). Relationship between soil temperatures in may over Northwest

China and the East Asian summer monsoon precipitation, *Journal of Meteorological Research*, 27, 716–724. <https://doi.org/10.1007/s13351-013-0505-0>.

Xue, J., Li, J. & Sun, C. (2018). Decadal-scale teleconnection between South Atlantic SST and southeast Australia surface air temperature in austral summer. *Clim Dyn* 50, 2687–2703. <https://doi.org/10.1007/s00382-017-3764-0>

Yuan, Y., Zhou, W., Johnny, C., Chan, L., & Li, C. (2008). Impacts of the basin-wide Indian Ocean SSTA on the South China Sea summer monsoon onset 2008, *International Journal of Climatology*, 28, 1579-1587. DOI:10.1002/joc.1671.

مجله دانش