



Influence of leading teleconnection indices on key climate variables—precipitation and Tmin/Tmax—at Saveh Synoptic Station, Iran.

Alireza Saadat Moghadasi *

1. Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agriculture, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran, E-mail : saadatmoghadasi28@ut.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Aug. 8, 2025

Revised: Sep. 20, 2025

Accepted: Dec. 6, 2025

Published online: Jan. 2026

Keywords:

Composite Analysis

Climate Risk Management

Reginal Climate SST.

ABSTRACT

This study interrogates the influence of fifteen atmospheric–oceanic teleconnections (AMM, AMO, AO, EAWR, EP–NP, MEI, NAO, ONI, PDO, PNA, QBO30Z, SCAND, SOI, TNA, TSA) on precipitation and temperature at the Saveh synoptic station over 1993–2024. Monthly indices were retrieved from NOAA/NCEI, while precipitation and temperature were obtained from the Iranian Meteorological Organization. Direct associations were quantified using the Spearman rank correlation to avoid distributional assumptions. To extract dominant structures, we employed Rock-PCA—an extension of EOF/PCA. Findings reveal EP–NP as the most influential controller of temperature on monthly and seasonal scales; Pacific signals (e.g., MEI/ONI) also manifest more robustly in temperature than in annual precipitation. For precipitation, Atlantic metrics—especially AMM and AO—are pivotal: negative AMM is linked to rainfall reduction (notably in autumn), whereas negative AO is associated with modest wet anomalies in October–December across the central Iranian Plateau, including Saveh; positive AO generally suppresses rainfall. Composite and co-occurrence analyses, together with 1–3-month lag responses, substantially improve predictability. Operationally, we recommend monitoring EP–NP for temperature outlooks and combining EP–NP with Atlantic indices (TNA/TSA/AMO/AMM) for seasonal precipitation guidance. The contrast between annual and seasonal/extreme scales explains the weak annual rainfall correlations versus stronger seasonal signals.

Cite this article: Saadat Moghadasi, A., (2026) Influence of leading teleconnection indices on key climate variables—precipitation and Tmin/Tmax—at Saveh Synoptic Station, Iran., *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 56 (11), 3217-3235.
<https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.400345.669995>

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.400345.669995>





EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Teleconnections orchestrate energy–mass exchanges across basins and modulate hydro-climate variability from the synoptic to decadal scales. In West Asia and Iran, compound interactions among Pacific and Atlantic modes shape rainfall intermittency, temperature extremes, and dust activity. Motivated by heightened vulnerability of water and agriculture in the central Iranian Plateau, this study examines fifteen indices and their lagged/co-occurring impacts on Saveh hydro-climate over 1993–2024.

Methodology

We quantify monotonic associations via the Spearman rank correlation. To uncover dominant, potentially nonlinear structures, we use Rock-PCA, which generalizes complex EOF/PCA by (i) encoding phase/lag through the Hilbert analytic signal, (ii) mapping to an RKHS with linear or nonlinear kernels, and (iii) applying Varimax/ProMax rotation for interpretability. Composite analyses link teleconnection phases to geopotential-height and low-level temperature anomalies (500/850 hPa, 2-m temperature), clarifying dynamical pathways.

Sampling Procedures

Monthly teleconnection indices (AMM, AMO, AO, EAWR, EP–NP, MEI, NAO, ONI, PDO, PNA, QBO30Z, SCAND, SOI, TNA, TSA) were obtained from NOAA/NCEI. Co-located monthly precipitation and temperature for the Saveh synoptic station were retrieved from the Iranian Meteorological Organization. The analysis period spans January 1993–December 2024. Lags up to three months were evaluated to capture delayed hydro-climate responses.

Results

EP–NP emerges as the primary controller of temperature on monthly/seasonal scales; Pacific signals (MEI/ONI) show clearer links to temperature than to annual rainfall. For precipitation, Atlantic modes dominate: negative AMM aligns with rainfall reduction—especially in autumn—while negative AO corresponds to modest wet anomalies during October–December; positive AO tends to suppress rainfall. Composite maps corroborate these findings via changes in mid-tropospheric waveguides and subtropical jet displacement. The seasonal scale exhibits markedly stronger, more interpretable signals than annual aggregates, consistent with extreme-event sensitivity.

Conclusion

Operationally, monitoring EP–NP is crucial for temperature outlooks, whereas seasonal precipitation guidance benefits from combining EP–NP with Atlantic indices (AMM/AMO/TNA/TSA), while accounting for 1–3-month lags and co-occurrence patterns. These insights motivate hybrid statistical–ML prediction systems that assimilate teleconnections to enhance early warning and water-resources planning in central Iran.

Authors' contributions

Mr. SaadatMoghaddasi: Gathering the experimental data, Data curation, Software; Methodology; Investigation, Conceptualization, Methodology, Writing-Reviewing and Editing, Formal analysis, Analyzing the experimental data.

Data Availability Statement

Data available on request from the author.

Ethical considerations

The author avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of interest

All authors declare that they have no conflict of interest.

بررسی تاثیر شاخص‌های دورپیوندی بر روی عناصر اقلیمی بارش و دمای حداقل و حداکثر ایستگاه سینوپتیکی ساوه

علیرضا سعادت مقدسی[✉]

گروه آبیاری و آبادانی دانشکده‌کان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: saadatmoghadas28@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۵/۱۷	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۶/۲۹	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۹/۱۵	
تاریخ انتشار: بهمن ۱۴۰۴	
واژه‌های کلیدی: تحلیل کامپوزیت، مدیریت خطرات اقلیمی، اقلیم منطقه‌ای SST.	این پژوهش با هدف واکاوی نقش ۱۵ شاخص دورپیوندی (AMM, AMO, AO, EAWR, EP-NP, MEI, NAO,) طی دوره ۱۹۹۳-۲۰۲۴ انجام شد. داده‌های شاخص‌ها به صورت میانگین ماهانه از درگاه NCEI/NOAA و داده‌های بارش و دما از سازمان هواشناسی ایران اخذ گردید. برای سنجش پیوند مستقیم از ضریب همبستگی اسپیرمن (به دلیل بی‌نیازی از پیش فرض توزیع) و برای استخراج الگوهای غالب، از چارچوب Rock-PCA بهره گرفته شده است. نتایج نشان داد شاخص EP-NP در مقیاس‌های ماهانه و فصلی قوی‌ترین کنترل‌کننده دما است؛ درحالی‌که بر اساس همبستگی‌های سالانه نیز سیگنال‌های اقیانوس آرام (نظیر MEI/ONI) بر دما آشکارتر از بارش ظاهر می‌شوند. در بارش، نقش شاخص‌های اطلس و شمالگان—به‌ویژه AMM و AO—برجسته است: فاز منفی AMM عمدتاً به کاهش بارش (خصوصاً پاییز) و فاز منفی AO به افزایش نسبی بارش (اکتبر—دسامبر) در فلات مرکزی از جمله ساوه می‌انجامد؛ در فاز مثبت AO کاهش بارش غالب است. تحلیل‌های ترکیبی و بررسی هم‌زمانی فازهای شدید، همراه با اثرات تأخیری ۱-۳ ماهه، توان پیش‌آگاهی را بهبود می‌دهد. بدین ترتیب، برای پیش‌آگاهی دما پایش EP-NP و برای بارش فصلی، ترکیب EP-NP با شاخص‌های اطلس (TNA/TSA/AMO/AMM) توصیه می‌شود. به‌طور عملی، تفاوت مقیاس «سالانه در برابر فصلی/حدی» توجیه‌کننده ضعف همبستگی بارش سالانه و در عوض، تقویت سیگنال‌ها در مقیاس فصلی است.
استناد: سعادت مقدسی؛ علیرضا، (۱۴۰۴) بررسی تاثیر شاخص‌های دورپیوندی بر روی عناصر اقلیمی بارش و دمای حداقل و حداکثر ایستگاه سینوپتیکی ساوه، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۶ (۱۱)، ۳۲۳۵-۳۲۱۷. https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.400345.669995	
ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.	© نویسندگان.
DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.400345.669995	



مقدمه

تغییرپذیری اقلیم در مقیاس منطقه‌ای و جهانی، حاصل برهم‌کنش پیچیده سامانه‌های جوی و اقیانوسی است. در این میان، شاخص‌های دورپیوندی (Teleconnection Indices) همچون شاخص نوسان جنوبی (SOI)، نوسان شمال اطلس (NAO)، شاخص چندمتغیره انسو (MEI)، نوسان دهه‌ای اقیانوس آرام (PDO)، الگوهای نوسان قطبی (AO)، نوسان دوساله استراتوسفری (QBO)، شاخص مداری اطلس (AMO)، الگوی اقیانوس آرام-آمریکای شمالی (PNA)، الگوی اسکندیناوی (SCAND)، و سایر الگوهای جوی-اقیانوسی، به‌عنوان پل‌های کلیدی در انتقال انرژی و جرم بین نواحی مختلف زمین نقش دارند (Chen et al., 2019; Rezaei et al., 2023). بررسی‌ها نشان داده است که تغییرات شاخص‌های دورپیوندی با فراز و فرود دما، بارش، رخداد خشکسالی و سیل و حتی فراوانی پدیده‌های حدی در بسیاری از نقاط جهان از جمله غرب آسیا و به طور خاص ایران مرتبط است (Dehghani et al., 2020; Ahmadi et al., 2022). مطالعه ارتباط این شاخص‌ها با متغیرهای اقلیمی ایران طی سال‌های اخیر اهمیت فزاینده‌ای یافته است، چرا که ایران به دلیل موقعیت خاص خود، قرارگیری در کمربند خشک نیمکره شمالی و حساسیت منابع آب و کشاورزی، به شدت تحت تاثیر تلاطمات دورپیوندی قرار دارد (Noorisameleh, et al., 2021; Malaekheh, et al., 2022) و (فاطمی و همکاران، ۱۳۹۵).

برخی پژوهشگران با تحلیل آماری و مدل‌سازی‌های چندمتغیره دریافته‌اند که شاخص‌هایی چون ENSO (El Niño Southern Oscillation) و PDO (Pacific Decadal Oscillation) به طور معناداری با فراوانی رخداد‌های خشکسالی و سیلاب‌های بزرگ در فلات مرکزی ایران و به ویژه استان مرکزی و منطقه ساوه ارتباط دارند (Wang et al., 2015; Rezaei et al., 2023; Rezaeian et al., 2022). به طور خاص، اثرات مثبت فاز مثبت PDO بر افزایش بارش زمستانه در نیمه غربی و جنوبی ایران، و تاثیر فاز منفی NAO بر کاهش بارش و افزایش خشکسالی در فلات مرکزی اثبات شده است (Azad & Karimi, 2020; Iudin, 2021) و (غلامی و همکاران ۱۴۰۱: راضیعی و همکاران، ۱۳۹۲). نوسانات شاخص‌های اطلس شمالی نظیر AMO و AMM نیز بر الگوهای بارش تابستانه و خشکسالی‌های منطقه‌ای تاثیرگذار هستند، به ویژه زمانی که همزمان با فازهای شدید ENSO و PDO ظاهر می‌شوند (Enfield et al., 2020; Polo et al., 2018). شاخص TNA و TSA، و ENSO که بیانگر دمای سطح آب در مناطق گرمسیری اطلس شمالی و جنوبی‌اند، علاوه بر تاثیر بر بارش تابستانه سواحل جنوبی ایران، با شدت گرد و غبار و رخداد طوفان‌های شن منطقه مرکزی نیز در ارتباط‌اند و تاثیر بر تبخیر و تعرق نیز دارند (li, et al., 2019; Sabziparvar, et al., 2011) و (محبوبی و همکاران، ۱۴۰۰).

همچنین، نقش شاخص‌های مداری مانند AO و QBO در تعیین حد آستانه‌های رخداد سرمازدگی و موج‌های سرما در نواحی مرکزی ایران و منطقه ساوه در فصل زمستان، بسیار پررنگ گزارش شده است (Lim, et al., 2018; Baldwin et al., 2021). علاوه بر این، مطالعات اخیر با بهره‌گیری از روش‌های مدل‌سازی داده‌محور (Data-Driven) و یادگیری ماشین، تاثیر فازهای شدید دورپیوندی بر آنومالی ارتفاع ژئوپتانسیل (Geopotential Height Anomaly) ترازهای میانی ۵۰۰ و ۸۵۰ hPa و بارش ماهانه ایران را بررسی کرده‌اند و بهبود چشمگیری در پیش‌بینی الگوهای حدی اقلیمی نشان داده‌اند (Mousavi et al., 2018; Chen et al., 2019). در سطح منطقه‌ای، منطقه ساوه با قرارگیری میان عرض‌های 34/75 تا 35/56 شمالی و طول‌های 49/25 تا 50/93 شرقی، از دیدگاه هواشناسی به عنوان نقطه‌ای حساس به تغییرات سامانه‌های غربی و دورپیوندی به شمار می‌آید. وجود کانون‌های گرد و غبار، تغییرات ناگهانی دمایی و رخداد خشکسالی‌های کوتاه و بلندمدت، اهمیت مطالعه جامع تاثیر ۱۵ شاخص اصلی دورپیوندی بر متغیرهای جوی و هیدرولوژیکی این منطقه را دوچندان می‌سازد (Roshan, et al., 2019). در پژوهش‌های جدید، مشاهده شده است که تاخیر زمانی (Lag Effect) فازهای شدید شاخص‌های دورپیوندی، نظیر فاز مثبت/منفی MEI، PDO، یا AO، می‌تواند تا چند ماه بعد، موجب افزایش/کاهش بارش یا تغییر دمای میانگین منطقه‌ای شود (Ahmadi, et al., 2022; Rezaeian et al., 2022; Chen et al., 2019). در نتیجه، تحلیل همزمان این شاخص‌ها با داده‌های آنومالی ارتفاع ژئوپتانسیل، دمای تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال و بارش ماهانه، می‌تواند بینش عمیق‌تری نسبت به الگوهای چرخش جوی، موج‌های غربی و رخداد‌های حدی منطقه ساوه فراهم و محیا آورد.

افزون بر این، بررسی ترکیب اثرات چند شاخص (Compound Effect) و هم‌رخدادی (Co-occurrence) فازهای شدید شاخص‌های مختلف، افق جدیدی در پیش‌بینی اقلیم آینده و مدیریت منابع آب کشور ایجاد می‌کند (Amini, et al., 2020). استفاده از ابزارهای آماری نوین، همچون آنالیز مؤلفه اصلی (PCA)، شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و مدل‌های رگرسیونی ترکیبی، دقت تحلیل‌های اقلیمی را افزایش داده و زمینه را برای مدیریت ریسک خشکسالی و سیل در مناطق آسیب‌پذیر همچون ساوه هموار ساخته است (Azad & Karimi, 2020).

در نهایت، پژوهش حاضر با هدف بررسی جامع اثرات ۱۵ شاخص دورپیوندی (AMM, AMO, AO, EAWR, EP-NP, MEI, NAO, ONI, PDO, PNA, QBO30Z, SCAND, SOI, TNA, TSA) با استفاده از روش‌های آماری پیشرفته (روش Rock-PCA) اثرات دورپیوندی‌های نام‌برده شده در جدول ۱ بر روی بارش، دمای حداقل و حداکثر ایستگاه موردنظر بحث و بررسی خواهد شد و سپس شرایط فزاینده دورپیوندی‌ها (با ترسیم نقشه‌های ترکیبی در ترازهای مختلف) بر دما و بارش در مقیاس ماهانه و فصلی و سالانه در منطقه ساوه مورد تحلیل قرار می‌گیرد. این مطالعه تلاشی است برای تکمیل دانش اقلیم‌شناسی کاربردی و ارتقای نظام هشدار سریع و مدیریت منابع آب در ایران که بسیار حائز اهمیت است. در جدول شماره یک معرفی کامل شاخص‌های دورپیوندی مورد مطالعه در پژوهش انجام شده است.

جدول ۱: توضیحات شاخص‌های دور پیوندی مورد استفاده در پژوهش همراه با ذکر منابع

منابع	اثر اقلیمی	توصیف	نام کامل	نام شاخص
(Chiang, et al., 2004)	تاثیر بر بارش غرب آفریقا، سیکلون‌های آتلانتیک	یک الگوی نوسانی سطح دریا در اقیانوس اطلس شمالی که شامل ناهنجاری‌های دما و باد شمال-جنوبی است.	Atlantic Meridional Mode	AMM
(Enfield, et al., 2001)	تاثیر بر دما و بارش آمریکای شمالی، جنوب غرب اروپا	نوسانات چنددهه‌ساله دمای سطح دریا در اقیانوس اطلس شمالی.	Atlantic Multidecadal Oscillation	AMO
(Thompson, et al., 1998)	تاثیر بر موج‌های سرما و سرماهای زمستانی نیمکره شمالی	الگوی نوسانی فشار جوی در نیمکره شمالی که تفاوت فشار قطب و عرض‌های میانی را توصیف می‌کند.	Arctic Oscillation	AO
(Barnston, et al., 1987)	تاثیر بر دما و بارش زمستانی اوراسیا	الگوی تلاطم فشار سطحی بین اروپای شرقی و غرب روسیه	East Atlantic/Western Russia pattern	EAWR
(Wallace, et al., 1981)	تاثیر بر دما و الگوهای بارش غرب آمریکای شمالی و شرق آسیا	نوسانات جوی بین شرق و شمال اقیانوس آرام	East Pacific-North Pacific Pattern	EP-NP
(Wolter, et al., 2011)	تاثیر جهانی بر دما و بارش (ال‌نینو/لانینا)	شاخص چندمتغیره وضعیت انسو (ال‌نینو/لانینا) بر اساس متغیرهای جوی و اقیانوسی	Multivariate ENSO Index	MEI
(Wolter, et al., 1995)	تاثیر عمده بر زمستان اروپا و آمریکای شمالی و بارش‌های زمستانه ایران	اختلاف فشار بین آژور و ایسلند، تعیین‌کننده جت استریم شمال اطلس	North Atlantic Oscillation	NAO
(NOAA, 2018)	تعیین‌کننده فاز ال‌نینو/لانینا و تاثیر جهانی	شاخص استاندارد وضعیت انسو با توجه به دمای سطح آب اقیانوس آرام استوایی	Oceanic Niño Index	ONI
(Mantua, et al., 1997)	تاثیر بر بارش و دما در آسیا و آمریکا	نوسان بلندمدت دمای سطحی اقیانوس آرام شمالی	Pacific Decadal Oscillation	PDO
(Wallace, et al., 1981)	تاثیر بر زمستان غرب آمریکا و شرق آسیا	الگوی فشار سطحی اقیانوس آرام شمالی و آمریکای شمالی	Pacific-North American Pattern	PNA
(Baldwin, et al., 2001)	تاثیر بر گردش جوی، فراسوی مناطق گرمسیری	نوسان دوساله بادهای غربی و شرقی در استراتوسفر استوایی (ارتفاع ۳۰~ هکتوپاسکال)	Quasi-Biennial Oscillation hPa Zonal Wind) ۳۰(	QBO30Z
(Barnston, et al., 1987)	تاثیر بر دما و بارش شمال و شرق اروپا	الگوی گردش جو و فشار روی اسکاندیناوی	Scandinavia Pattern	SCAND
(Trenberth, 1984)	تاثیر جهانی ENSO (ال‌نینو و لانینا)	اختلاف فشار بین تاهیتی و داروین (استرالیا)، نماینده فاز ENSO	Southern Oscillation Index	SOI
(Enfield, et al., 1997)	تاثیر بر طوفان‌های حاره‌ای، بارش آفریقا و آمریکای مرکزی	شاخص دمای سطح آب مناطق گرمسیری شمالی اقیانوس اطلس	Tropical Northern Atlantic Index	TNA
(Polo, et al., 2018)	تاثیر بر بارش جنوب آمریکا و فراگرمسیری	شاخص دمای سطح آب مناطق گرمسیری جنوبی اقیانوس اطلس	Tropical Southern Atlantic Index	TSA

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری داده‌ها

مقادیر شاخص‌های دورپیوندی به صورت میانگین ماهانه در بازه زمانی ۱۹۹۳-۲۰۲۴ میلادی از سایت اداره ملی و جوی- اقیانوسی ایالات متحده (<https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/>) و داده‌های دما و بارش ایستگاه- سینوپتیک ساوه از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. مشخصات ایستگاه مورد مطالعه در جدول ۲ نشان داده شده است. در شکل یک نیز موقعیت ایستگاه مطالعاتی نشان داده شده است.

جدول ۲: مشخصات ایستگاه مورد مطالعه

نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (متر)	نوع اقلیم	میانگین بارش
ساوه	۳۵/۳۴	۵۰/۵۶	۱۱۰۸	معتدل-تابستانهای بسیار گرم و خشک	۱۸۲/۹

Location of Saveh Synoptic Station on the Map of Iran and Surrounding Seas



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه

ضریب همبستگی اسپیرمن

با استفاده از ضریب همبستگی اسپیرمن میزان همبستگی پارامترهای بارش و دما با شاخص‌های دورپیوندی محاسبه شده است. استفاده از این ضریب با توجه به اینکه توزیع آماری در آن آزاد است برای چنین پژوهش‌هایی مناسب‌تر است. فرمول ضریب همبستگی اسپیرمن به شرح ذیل است (Yang, et al., 2022):

$$R_s = \text{Pr}(X), R(Y) = \frac{\text{cov}(R(X), R(Y))}{\sigma R(X) \sigma R(Y)} \quad \text{رابطه ۱)}$$

که در آن R_s مقدار ضریب همبستگی اسپیرمن را نشان می‌دهد، $\text{Cov}(X, Y)$ کوواریانس متغیرهای دسته بندی شده و $\sigma(X)$ و $\sigma(Y)$ انحراف از معیار متغیرهای طبقه بندی شده را نشان می‌دهند.

روش جدید Rock-PCA

محاسبه روش جدید Rock-PCA به شکل ذیل می‌باشد:

Rock-PCA تعمیمی از EOF/PCA^۱ است که سه مورد را همزمان انجام می‌دهد: (۱) کدگذاری فاز/تأخیر با تعبیه مختلط مبتنی بر انتقال هیلبرت، (۲) مدلسازی غیرخطی با نگاشت کرنلی به فضای هیلبرت بازتولیدپذیر $(RKHS)^2$ ، و (۳) تفسیرپذیری با چرخش

(Varimax/ProMax). این چارچوب، وقتی کرنل خطی باشد، به complex/ EOF/PCA فروکاسته می‌شود و وقتی کرنل غیرخطی است، ساختارهای خمیده/غیرخطی را نیز می‌گیرد.

ترکیب مختلط هیلبرت:

برای هر ستون سری زمانی $x(t)=X(t)$ (هر ایستگاه/متغیر)، انتقال هیلبرت را روی محور زمان اعمال می‌کنیم:

$$H[X] \in R^{T \times M} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$Z = X + iH[X] \in C^{T \times M} \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن $X(t)$ سری زمانی حقیقی هر ایستگاه، H عملکرد هیلبرت بر محور زمان، Z سیگنال تحلیلی، $C^{(T \times M)}$ ماتریس داده مختلط است.

۲. مرحله دوم یک کرنل مثبت معین $k(\cdot, \cdot)$ (گوسی، پلی نومی و خطی) و نگاشت $H: \mathcal{H} \rightarrow \mathcal{H}$ به RKHS انتخاب می‌شود. هر برش زمانی سطر (t) از Z یک نمونه است که به شکل ذیل محاسبه شده است:

$$K_{tt'} = k(z_t, z_{t'}), K \in C^{T \times T} \quad \text{رابطه (۴)}$$

وقتی که k خطی است این مرحله معادل EOF/PCA Complex است که برای تمرکز پیدا کردن بر روی RKHS از فرمول ذیل استفاده خواهد شد:

$$K = HKH \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$H = I_T - \frac{1}{T} 11^T$$

که در آن H ماتریس مرکز سازی، K کرنل مثبت معین و T متغیر زمان است.

۳. محاسبه (KPCA) در صورت دوگانه و نمرات بارگذاری شده بدون چرخش و به شکل استاندارد از طریق فرمول ذیل محاسبه خواهد شد):

$$\frac{1}{T} KU_p = \lambda_p u_p, U^* U = I, \lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq 0, \quad \text{رابطه (۶)}$$

که در آن λ بردار و مقدار ویژه، T متغیر زمان و U, U_p ضرایب دوگانه و بارگذاری نمونه‌ای مکانی معرفی می‌شوند. و مرحله آخر چرخش ترکیبی برای تفسیر پذیری (Varimax, Promax) برای رسیدن به ساختار ساده و تفسیر داده از فرمول‌های ذیل استفاده شده است:

$$B = WT \quad S = AT \quad \text{رابطه (۷)}$$

که در آن T متعامد در روش Varimax است و در روش Promax مایل نیز می‌تواند باشد.

معیار وریمکس در رابطه ۸ بر حسب اندازه دوم بارگذاری‌ها به صورت ذیل بیشینه می‌شود:

$$\max T \varphi(T) = \sum_{p=1}^P \left[\frac{1}{M} \sum_{j=1}^M |b_{jp}|^4 - \left(\frac{1}{M} \sum_{j=1}^M |b_{jp}|^2 \right)^2 \right], B = WT, b_{jp} \in C \quad \text{رابطه (۸)}$$

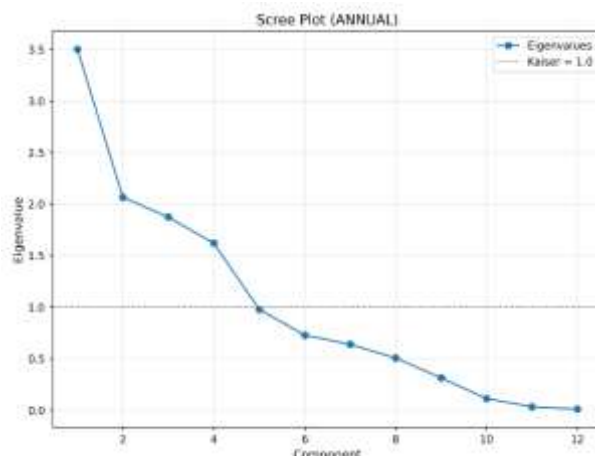
که در آن b_{jp} قدر مطلق مختلط، ستون‌های B مدهای مکانی چرخیده و ستون‌های S مقدار PC ‌های زمانی چرخیده هستند. T در فرمول ۷ ماتریس چرخش، $B=WT$ بارگذاری‌های چرخیده، و $S=AT$ نمرات زمانی چرخیده در رابطه ۶ محسوب می‌شوند. شواهد نظری و محاسباتی نشان داده است که چرخش وریمکس افزون بر تفسیرپذیری بهتر، معناداری آماری محورها را هم بهبود می‌دهد: تحلیل‌های نامتعامد نیز در صورت نیاز برای همبستگی بین عوامل کارایی دارد (Bueso, et al., 2022; Marukatat, 2023; Matsuki, et al.,)

بحث و نتایج

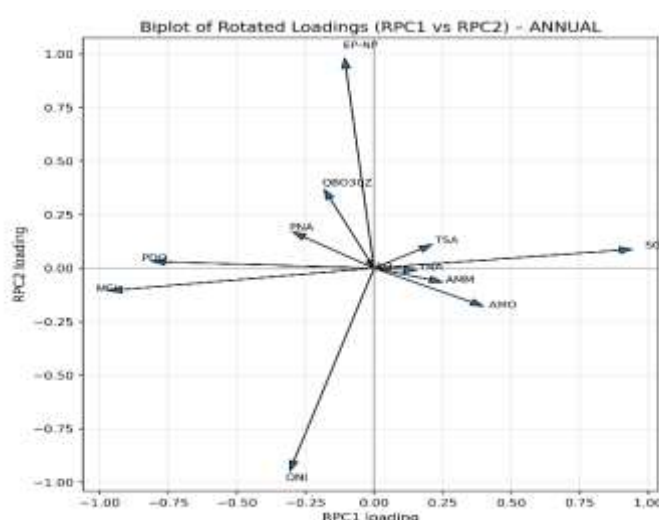
در ابتدا به اثر شاخص‌های دورپیوندی بر مقادیر سالانه مولفه‌های اقلیمی در پژوهش پرداخته شده است. مهم‌ترین نتایج بررسی اثر سالانه شاخص‌ها بر متغیرهای اقلیمی در جدول ۳ نمایش داده شده است. همچنین در شکل ۲ نمودار اسکری پلات و چرخش مولفه‌های مورد استفاده در پژوهش نشان داده شده است. در بررسی اثر سالانه شاخص‌ها بر متغیرهای هواشناسی نکات قابل توجهی به چشم می‌خورد. بیشترین همبستگی دورپیوندی‌ها با مولفه‌ها با دمای حداکثر در جدول ۳ قابل مشاهده است. لازم به توضیح است که شاخص‌هایی که بیشترین همبستگی را با متغیرهای هواشناسی داشته‌اند در جدول به شکل برجسته نشان داده شده‌اند. بالاترین درصد همبستگی با شاخص چند متغیره انسو (MEI) و به میزان ۰/۱۷ محاسبه شده است. در دمای حداکثر الگوی اقیانوس آرام بر اقیانوس اطلس برتری دارد و نشان از اهمیت این منطقه و اثرات آن بر منطقه مورد مطالعه پژوهش است. این مسئله در خصوص دمای حداقل نیز صادق است. بیشترین همبستگی باز هم با شاخص‌های اقیانوس آرام مشاهده شده است. شاخص EP-NP همبستگی منفی و مقدار ۰/۷۹- و شاخص نینو اقیانوس آرام (ONI) همین مقدار محاسبه شده است. مقدار P-value، ۰/۰۰۹ محاسبه شده است. در خصوص بارش نیز دو شاخص نوسان شمالگان (AO) و شاخص نصف‌النهاری اطلس (AMM) به ترتیب 0/23 همبستگی بالا را با متغیر بارش نشان دادند. طبق تحقیقات بذرافشان و خلیلی (۲۰۱۴ و ۲۰۲۲) ۶۴ درصد از سامانه‌های بارشی برای فلات ایران از اقیانوس اطلس نشأت می‌گیرد. مطالعات نشان داده است که با توجه به معناداری ضعیف مولفه‌ها با بارش در بررسی اثر شاخص‌های دورپیوندی با این متغیر و ضریب تبیین پایین (۰/۱۳) جدول ۳ می‌توان نتیجه گرفت که رخدادهای بارش‌های حدی در منطقه مورد مطالعه رو به افزایش است. همچنین نتایج مشابه نشان داده است که نقش انسو در این مسئله برای منطقه مورد نظر قوی نیست، درواقع تسلط ENSO بر دما با جابه‌جایی جت جنب‌حاره و تغییر کثرت نفوذهای مدیترانه‌ای/غربی همخوان است؛ اثر بارشی در مقیاس سالانه تضعیف می‌شود و بیشتر فصلی/حدی بروز می‌کند. یافته ما با پژوهش‌های تازه جنوب غرب آسیا که ال‌نینو بارش‌های حدی را تقویت می‌کند سازگار است — از نمونه‌های رویدادهای حدی و نقش فزاینده فرین انسو (النینو) می‌توان به سیل ایلام در سال ۱۳۹۴ به میزان ۵۹۴ میلیمتر بارش طی دوروز، سیل گلستان، گمیشان و مقادیر بارش حدی گرگان (ایستگاه فرودگاه) که طی ۲۴ ساعت بارش، مقدار ۱۱۸ میلیمتر بارش به ثبت رسید و باعث رخدادهای مخاطره آمیز در مناطق ذکرشده گردید و یا سیل پلدختر و معمولان در استان لرستان در فروردین ۹۸ و ثبت مقادیر بارش ۵۰ میلی‌متری در همان سال (۱۳۹۸) در ایستگاه مورد مطالعه پژوهش اشاره کرد. تفاوت «سالانه/حدی» توجیه‌کننده همبستگی ضعیف بارش سالانه در ساوه است. روند گرمایش شدید MENA و افزایش هم‌زمانی موج‌گرما/بارش حدی نیز توضیح می‌دهد چرا سیگنال‌های دورپیوندی روی Tmin/Tmax قوی‌تر از بارش سالانه ظاهر می‌شوند. در شکل ۳ بخش الف نمودار اسکری پلات قایب مشاهده است، ۵ مولفه مقدار ویژه بالای ۱ را به ثبت رسانده‌اند. سایر مولفه‌ها مقادیر کمتر از یک را کسب کرده‌اند. در بخش ب نمودار چرخش و ریمکس در بررسی اثر سالانه نشان داده است که شاخص‌های منطقه اطلس در RPC1 و EP-NP و نیز ONI در RPC2 قرار گرفته‌اند (Alizadeh, O., & Mousavizadeh, M., 2025; (Hoell, et al., 2024; Najafi, M. S., 2023; Asakereh, et al., 2023; Afsari, et al., 2024 & Al Senafi, et al., 2024

جدول ۳: تحلیل آماری اثر سالانه دورپیوندی‌ها بر متغیرهای دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش

مقدار P-value	واریانس	انحراف از معیار	ضریب تبیین	قویترین همبستگی با متغیر هواشناسی	شاخص غالب	مولفه	متغیر وابسته
۰/۰۰۹	۱۰/۰۲	۰/۶۶	۰/۷۶	۰/۷۹-	EP-NP, ONI	RPC2,4	دمای حداقل
۰/۱۲۵	۹/۲۵	۰/۸۸	۰/۶۹	۰/۱۷-	MEI, SOI, PDO, TSA, TNA, AMO, PNA	RPC1,2,4	دمای حداکثر
۰/۱۸۹	۱۱	۱۵/۰۱	۰/۱۳	۰/۲۳-	AO, AMM	RPC3	بارش



(الف)



(ب)

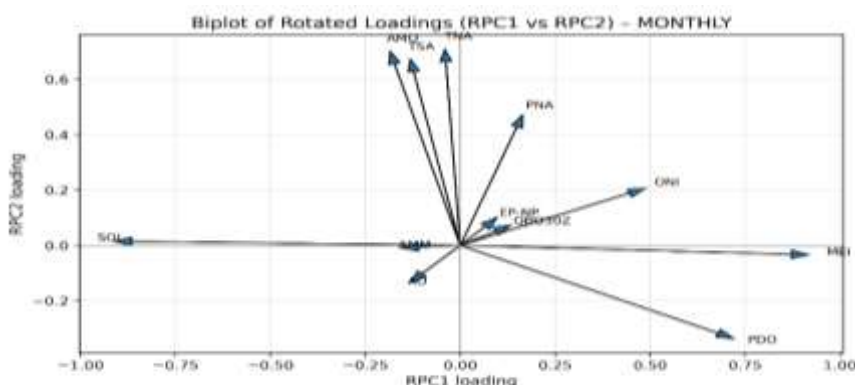
شکل ۲: نمودار اسکری پلات بررسی اثر سالانه دورپیوندی بر متغیرهای هواشناسی (شکل الف)، نمودار چرخش وریمکس (شکل ب)

در جدول ۴ و شکل ۳ (بخش الف و ب) به بررسی اثر ماهانه دورپیوندی‌ها بر متغیرهای هواشناسی پرداخته شده است. در بررسی اثر ماهانه نیز نتایج متفاوتی بدست آمده است که نشان‌دهنده این موضوع است، نقش دورپیوندی و پیچیدگی‌های جو از سال به ماه و حتی فصل متفاوت است. دردمای حداقل بالاترین درصد همبستگی با شاخص EP-NP بدست آمد و تاثیر این شاخص در این متغیر در جدول ۴ مشهود است. مقدار همبستگی مثبت و عدد ۰/۴۴ محاسبه شده است، همچنین مقدار P-value ۰/۳۱۱ محاسبه شده است. بنابراین به عنوان قوی‌ترین کنترل‌کننده دما محسوب می‌شود. این شاخص با تغییر مسیر موج‌های عرض‌های میانه و انتقال پشته در آرام شمالی می‌تواند دمای ماهانه فلات مرکزی ایران از جمله ساوه را افزایش دهد. در متغیر بارش دورپیوندی‌های اطلس (TNA, TSA, AMO) با همبستگی منفی و عدد ۰/۱۲- درافت بارش ماهانه منطقه مورد مطالعه پژوهش نقش دارند. با توجه به نتایج حاصل شده در تحلیل ماهانه ترکیب شاخص شرق آرام-شمال آرام و شاخص‌های اطلس که در بالا ذکر شد برای پیش‌بینی‌های ماهانه کاربرد بهتری در ایستگاه سینوپتیک ساوه دارد. در دمای حداکثر نیز اثرات معناداری در شاخص‌ها بر روی متغیر مورد نظر مشاهده نشد که در جدول (۴) دو شاخص نوسان شمالگان و شاخص نصف‌النهاری اطلس همبستگی بسیار ضعیف و عدد ۰/۰۷- را نشان دادند. در شکل ۳ بخش الف نمودار چرخش وریمکس مولفه‌ها با شاخص‌ها قابل مشاهده است. دورپیوندی‌های اطلس در یک گروه و در RPC2 قرار دارند، EP-NP, ONI در RPC1 قرار دارند. در شکل ۳ بخش ب نمودار اسکری پلات قابل مشاهده است، تقریباً ۶ مولفه عدد بالای ۱ را نشان داده‌اند که با یافته‌های پژوهش کاملاً همخوانی دارد. مقدار ویژه در تحلیل مولفه‌های اصلی بسیار حائز اهمیت است بدلیل اینکه آن مولفه حداقل به اندازه یک متغیر استاندارد شده واریانس را تبیین می‌کند. بنابراین برای تحلیل نگه‌داشته می‌شود (Tzyrkalli, et al., 2024; Saharwardi, et al., 2023& (Poorkarim, et al., 2024).

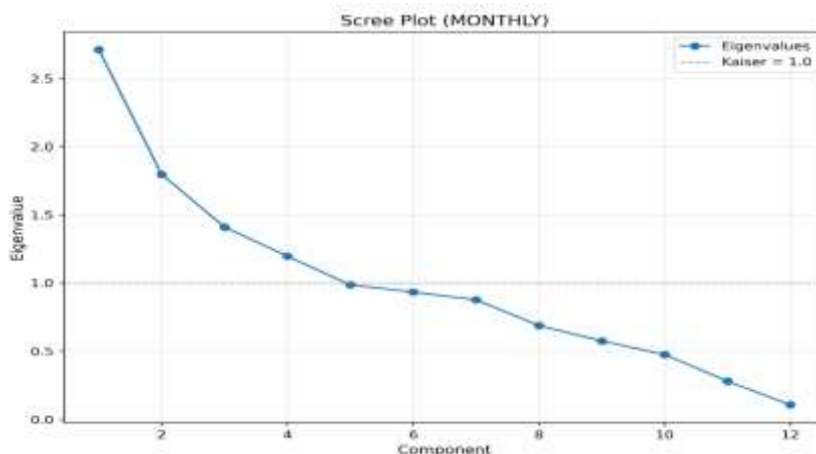


جدول ۴: تحلیل آماری اثر ماهانه دورپیوندی‌ها بر متغیرهای دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش

مقدار P-value	واریانس	انحراف از معیار	ضریب تبیین	قویترین همبستگی با متغیر هواشناسی	شاخص غالب	مولفه	متغیر وابسته
۰/۳۱۱	۲۲/۵	۸/۴۵	۰/۲۲	۰/۴۴	MEI, SOL, PDO, EP-NP	RPC1,4	دمای حداقل
۰/۱۲۰	۹/۵	۱/۰۲	۰/۲۲	-۰/۰۷	AMM, AO	RPC3	دمای حداکثر
۰/۰۱۴	۱۵	۲/۰۳	۰/۰۵	-۰/۱۲	TNA, AMO, TSA	RPC2	بارش



(الف)



(ب)

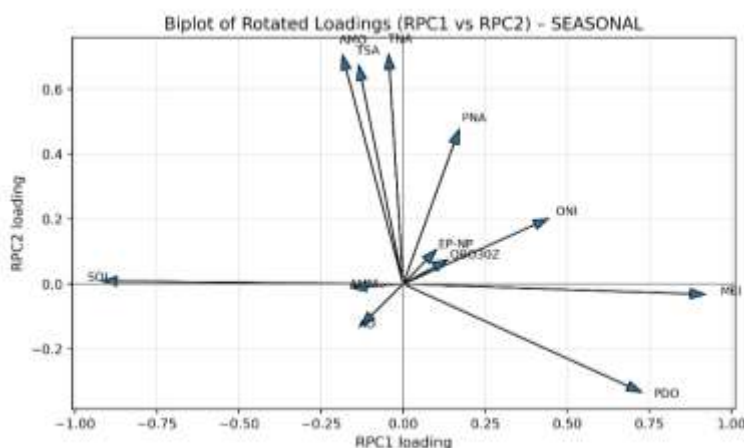
شکل ۳: نمودار اسکری پلات بررسی اثر ماهانه دورپیوندی بر متغیرهای هواشناسی (شکل الف)، نمودار چرخش وریمکس (شکل ب)

در جدول ۵ و شکل ۴ بخش الف و ب بررسی اثر فصلی دورپیوندی‌ها بر متغیرهای هواشناسی بحث و بررسی شده است. در بررسی اثر فصلی دورپیوندی‌ها بر روی متغیرهای بارش، دمای حداقل و حداکثر باز هم نقش شاخص EP-NP در دمای حداقل بیشترین همبستگی را نشان داده است. عدد همبستگی طبق جدول ۵، ۰/۵۰ با مقدار واریانس ۱۰ و انحراف معیار ۲/۰۵ محاسبه شده است. مقدار P-value ۰/۶۰۹ محاسبه شده است. این الگوها با شواهد پیش‌بینی‌پذیری بارش زمستانی در جنوب غرب آسیا که نقش توأمان برهم‌کنش‌های گرمسیری (ارتباط غیرمستقیم ENSO از طریق اقیانوس هند) و نوسان‌های برون‌حاره‌ای را برجسته می‌کند، همخوان است. بر اساس برآوردهای انجام شده قابل‌پیش‌بینی بودن بارش فصلی در آسیای مرکزی (شامل ایران) در زمستان و بهار افزایش می‌یابد؛ بنابراین استفاده از شاخص‌های دورپیوندی برای پیش‌آگاهی فصلی در ساوه توجیه‌پذیر است. تغییرات الگوهای جوی و جت‌ها در شبه‌جزیره عربستان نیز در سال‌های اخیر گزارش شده و با افزایش دما و جابه‌جایی گردش‌های بزرگ‌مقیاس سازگار است؛ نتیجه تحقیقات با این روند همسو است.

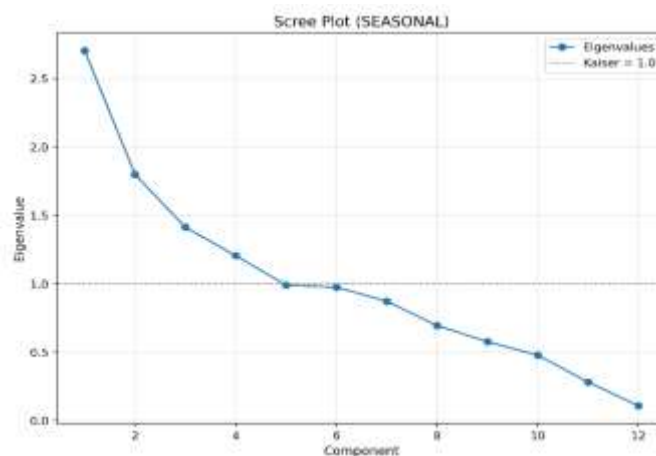
برای اقلیم منطقه، ENSO در فصلی بیش از «سالانه» از طریق مسیرهای غیرمستقیم اثر می‌گذارد و همین اختلاف مقیاس، شدت اثر روی بارش ساوه را تشریح می‌کند. به‌طور کاربردی: برای پیش‌آگاهی دما، پایش EP-NP حیاتی است؛ برای بارش فصلی، ترکیب EP-NP + TNA/AMO/TSA توصیه می‌شود. در شکل ۴ بخش الف نمودار چرخش وریمکس نشان داده شده است. شاخصهای منطقه اطلس در یک گروه و در RPC2 قرار دارند، EP-NP, ONI نیز در RPC1 قرار دارند. سایر نتایج در شکل قابل مشاهده است. در بخش ب نیز نمودار اسکری پلات نمایش داده شده است. ۵ مولفه نمره بالای ۱ را کسب کرده‌اند که با یافته‌های پژوهش همخوانی دارد و آرنج در RPC2 قرار دارد که با نتایج مطابقت دارد (Francis, D., & Fonseca, R, 2024; Horan, et al., 2024; LeP.V.V, 2023; Nuroozi, H., 2025 & Radwan, (N., 2025).

جدول ۵: تحلیل آماری اثر فصلی دورپیوندی‌ها بر متغیرهای دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش

مقدار P-value	واریانس	انحراف از معیار	ضریب تبیین	قویترین همبستگی با متغیر هواشناسی	شاخص غالب	مولفه	متغیر وابسته
۰/۶۰۹	۱۰	۲/۰۵	۰/۲۹	۰/۵۰	EP-NP	RPC4	دمای حداقل
۰/۲۱۱	۱۱/۷	۵/۵	۰/۲۷	۰/۰۹	AMM, AO	RPC3	دمای حداکثر
۰/۰۴۱	۱۴/۹	۱۰/۲۳	۰/۱۱	۰/۱۱	AMO, TNA, TSA	RPC2	بارش



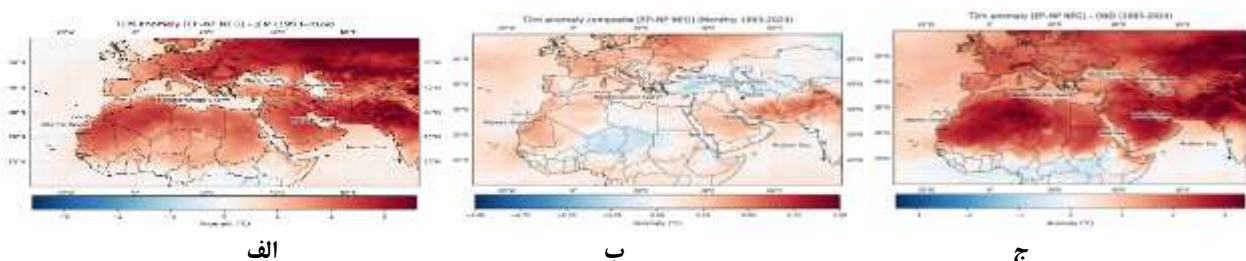
(الف)

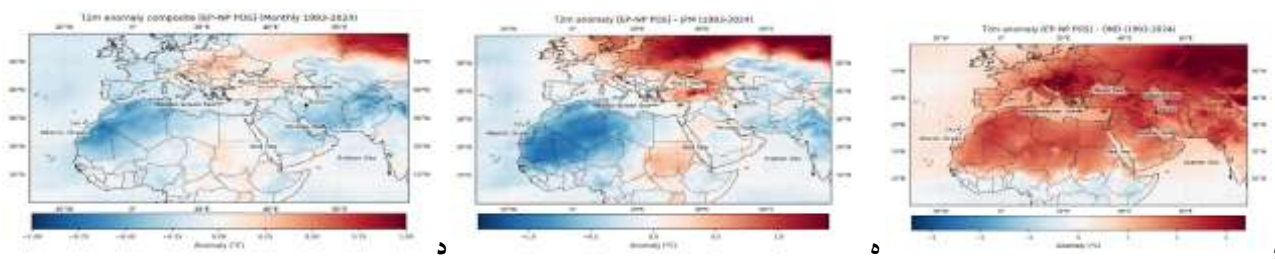


(ب)

شکل ۴: نمودار اسکری پلات بررسی اثر فصلی دورپیوندی بر متغیرهای هواشناسی (شکل الف)، نمودار چرخش وریمکس (شکل ب) در ادامه به بررسی ترکیب (Composite) اثر شاخص‌های دورپیوندی اثرگذار بر روی بارش و دما در مقیاس ماهانه و فصلی خواهیم پرداخت. لازم به ذکر است با توجه به گستردگی کار روند اثرگذاری در ماه‌های حساس بارشی و دمایی بررسی خواهد شد. پس از تحلیل

Rock-PCA بیشترین اثر دورپیوندی بر متغیر دما شاخص EP-NP در ایستگاه سینوپتیک ساوه شناخته شد. در شکل ۵ اشکال الف تا ه بررسی اثر این شاخص به صورت آنومالی دمای دو متری سطح زمین نمایش داده شده است. شکل الف اثر شاخص در سه ماهه دی تا ۱۱ فروردین (ژانویه تا انتهای مارچ) بازه زمانی ۱۹۹۳-۲۰۲۴ نشان داده شده است. بی‌هنجاری مثبت دمایی در فاز منفی شاخص در منطقه مورد مطالعه کاملاً مشهود است. در بازه زمانی آنومالی +۳ تا ۲/۵ درجه سلسیوس دلالت بر زمستان گرمتر از نرمال دارد زمانی که روند دمایی افزایشی باشد بارش‌ها بیشتر به شکل مایع (باران) ریزش پیدا خواهد کرد و پوشش برف کمتر از نرمال بلندمدت خود خواهد بود. در تحلیل سینوپتیکی مسئله بایستی بیان گردد که در این فاز (منفی) تقویت پشته در اقیانوس اطلس شرقی در تراز میانی (۵۰۰ هکتوپاسکال) سبب فرارفت‌های گرم بیشتر به صحاری افریقا در تراز زیرین (سطح زمین ۸۵۰ هکتوپاسکال) شده که با حرکت شرق‌سوی جریانات به شبه جزیره عربستان و جنوب غرب آسیا و فلات مرکزی ایران از جمله ایستگاه ساوه نیز خواهد رسید که سبب رخداد بی‌هنجاری‌های مثبت دما در سه ماهه حساس بارشی و دمایی در منطقه مورد نظر خواهد شد. در فاز منفی شاخص پشته جنب حاره‌ی با هم‌پیوندی با پرارتفاع القایی در تراز میانی سبب تشدید گرما در فلات مرکزی می‌شود که این مهم سبب اثرگذاری آن بر منطقه مورد مطالعه در آنومالی دمای دومتری سطح زمین خواهد شد. در شکل ب مقادیر اثرماهانه شاخص در بازه زمانی ۳۱ سال پژوهش را نشان می‌دهد. فاز منفی اگرچه حاکم است اما اثر تعدیل‌شده‌ی نسبت به اثر فصلی زمستان دارد. بیشینه تاثیر در نیمه جنوبی ایران است و در منطقه ساوه اثر خنثی تا کاهش جزئی دما را نشان داده است که می‌تواند تفاوت اثر دورپیوندی در ماه با فصل را کاملاً مشخص سازد که از علت‌های آن تغییر فصول و گردش عمومی جو و کم‌اثر بودن برخی ماه‌ها نسبت به برخی دیگر و درمقایسه نسبت به برخی فصول مهم من جمله زمستان اشاره کرد. در شکل ج فاز منفی شاخص در سه ماهه ۱۰ مهر تا ۱۰ دیماه (اکتبر تا دسامبر) را نشان داده است. مشاهده می‌شود بی‌هنجاری‌های مثبت دمایی تا ۳ درجه سلسیوس در ساوه مشاهده شده است که پاییز گرمتر از نرمال را رقم زده است. پرارتفاع آزر و واپرخند عربستان در هم‌پیوندی با پرارتفاع القایی عرض‌های شمالی در تراز بالایی جو سبب فرارفت‌های هوای گرم پی در پی شده و پاییز گرمتر از نرمال بلندمدت را برای فلات ایران و جنوب غرب آسیا و همچنین ایستگاه ساوه به ارمغان آورده است. این نتیجه با شواهد اخیر و تقویت گرمایش در خاورمیانه و دریای مدیترانه همسو است، همچنین وابستگی مکانی-فصلی دورپیوندی و عدم ایستایی آن را در مطالعات جدید یادآوری می‌کند. در شکل د بررسی کلی شاخص در میانگین‌های ماهانه در بازه آماری پژوهش (۱۹۹۳-۲۰۲۴) در فاز مثبت بحث و بررسی شده است. به طور کلی مشاهده می‌شود واپرخند در فلات آناتولی و جنوب قاره سبز (اروپا) باعث ریزش هوای سرد از یال شرقی پرارتفاع به سمت شبه جزیره عربستان و فلات ایران شده و سبب آنومالی منفی دمایی در منطقه شده است. بیشینه تاثیر در دامنه‌های زاگرس مرکزی و نیمه جنوبی کشور است و در ایستگاه مورد مطالعه تا ۰/۵- درجه سلسیوس دما کمتر از نرمال بلندمدت در بازه زمانی ذکر شده را نشان داده است. در شکل ه همین سناریو با شدت بیشتر این بار در سه ماهه ۱۱ دی تا ۱۱ فروردین (ژانویه تا مارچ) خودنمایی می‌کند. تفاوتی که مشهود است آنومالی منفی دمایی در افریقا و وجود یه پشته عظیم از شمال گرینلند تا فلات آناتولی است که تا گرجستان و شمال غرب ایران کشیده شده و در آن مناطق سبب آنومالی مثبت دما شده است. این شرایط موجب شده که کم‌فشاری در شرق مغولستان تشکیل شده و با ریزش هوای خنک از منطقه سیبری بیشتر نیمه شرقی و جنوبی ایران آنومالی منفی دمایی ضعیفی را تجربه کنند. ضمناً این شرایط موجب شده است ساوه در مابین این جریانات قرار گیرد و آنومالی خنثی تا کمی مثبت ضعیف در حد ۰/۲+ درجه سلسیوس را داشته باشد. در شکل و فاز مثبت شاخص EP-NP در سه ماهه ۱۰ مهر تا ۱۰ دی (اکتبر تا دسامبر) نمایش داده شده است. با شدت کمتر نسبت به فاز منفی آنومالی مثبت دمایی در منطقه و ایستگاه مورد مطالعه مشاهده شده است. این شرایط سبب شده که پاییز گرمتر از نرمال در منطقه رخ دهد (Cos, et al., 2024; Hochman, A., & Gildor, H., 2025; Lieber, et al., 2022; Malik, et al., 2024; Mezzina, et al., 2023; Sabatani, D., & Gualdi, S., 2025; Stuienvolt-Allen, et al., 2023; Tejedor, et al., 2024 & Rashid, et al., 2024).

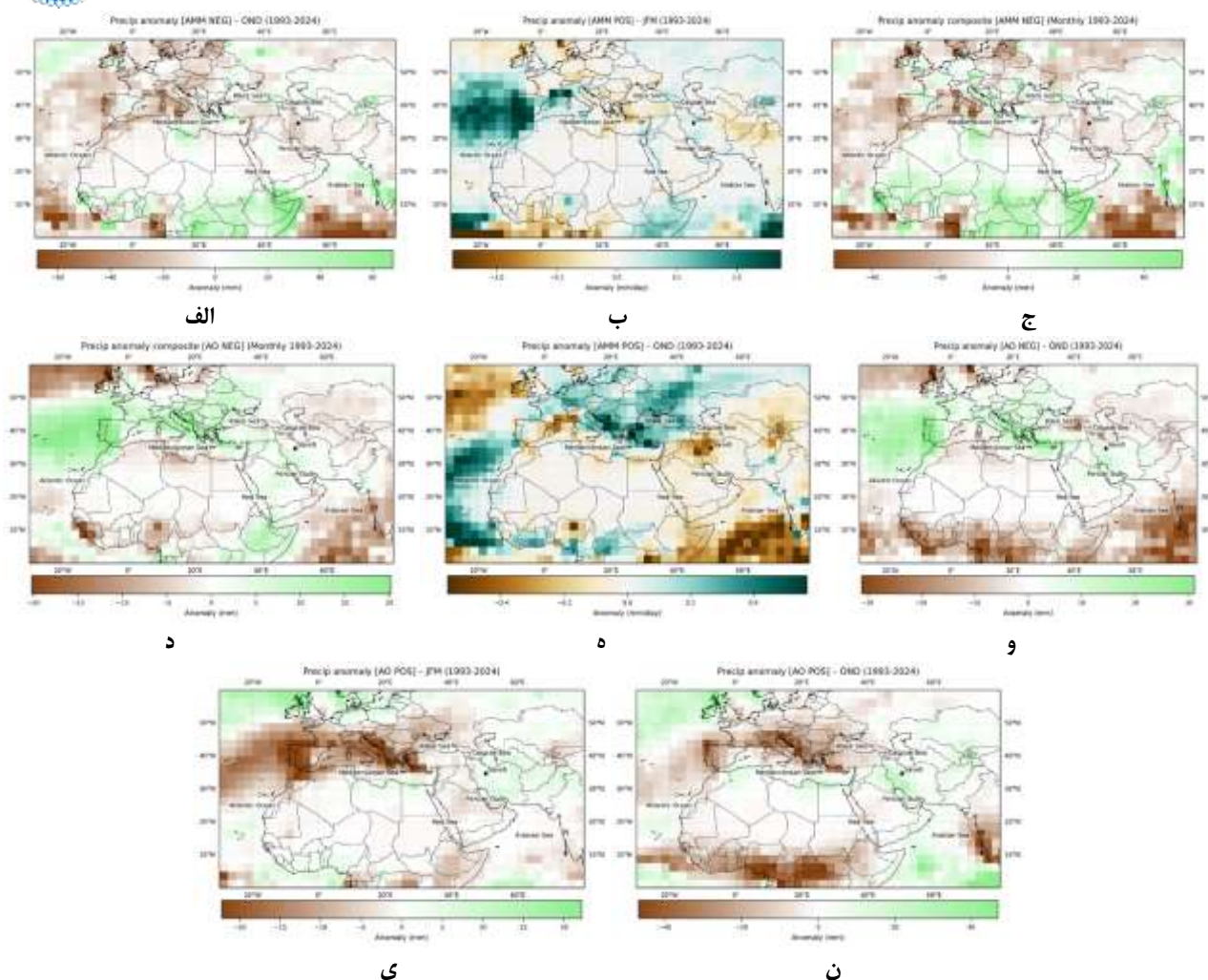




شکل ۵: نقشه ترکیب آنومالی دمایی با فازهای مختلف شاخص EP-NP ایستگاه مورد مطالعه (ساوه) (فصلی و میانگین ماهانه)

در بخش بعدی به آنومالی بارش منطقه و ایستگاه مورد مطالعه پرداخته شده است. شاخص‌های تاثیرگذار در این مورد شاخص نصف النهاری اطلس و شاخص نوسان شمالگان به ترتیب (AO, AMM) پس از تحلیل به روش آماری پیشرفته Rock-PCA شناخته شدند. با توجه به گستردگی کار موارد قابل توجه و تاثیرگذار در ماه‌ها یا فصول حساس بررسی شده است. شکل ۶ دارای هشت بخش است که به ترتیب از الف تا ن نامگذاری شده است. پس از تحلیل روش آماری دوشاخص بیشترین نقش را در اثرگذاری بر روی متغیر بارش ماهانه و فصلی در ساوه نشان دادند که به ترتیب AMM, AO می‌باشند. شکل الف فاز منفی شاخص نصفالنهاری اطلس را در میانگین فصلی ۱۰ مهر تا ۱۰ دی (اکتبر تا دسامبر) بازه زمانی مورد مطالعه پژوهش نشان داده است. پهنه‌ای از بی‌هنجاری منفی بارش حاشیه مدیترانه غربی و مرکز-شمال آفریقا دیده می‌شود و از شرق ترکیه تا فلات ایران نیز عمدتاً ناهنجاری‌های منفی کم‌دامنه مشاهده می‌شود. در ساوه، علامت ناهنجاری ماهانه غالباً منفی ضعیف است (در حدود ۵ میلی‌متر در ماه). در شکل ج در میانگین ماهانه در فاز منفی AMM همین الگو تقویت می‌شود: خشکیدگی در مدیترانه مرکزی-شرقی و شبه‌جزیره عربستان افزایش می‌یابد و در فلات مرکزی ایران از جمله ساوه کاهش بارش ماهانه با بزرگی کوچک تا متوسط ثبت می‌شود. در شکل ب فاز مثبت شاخص اطلس در سه‌ماهه ۱۱ دی تا ۱۱ فروردین (ژانویه تا مارچ) نشان داده شده است. نقطه مقابل شکل ه فاز مثبت شاخص در سه‌ماهه ۱۰ مهر تا ۱۰ دی (اکتبر تا نوامبر) مشاهده می‌شود. در بازه زمانی دی تا فروردین آنومالی مثبت بسیار ضعیف قابل رویت است (در حدود ۰/۲ میلی‌متر در روز). رطوبت‌دهی شرق اطلس تا شبه‌جزیره ایبری در فاز مثبت شاخص کاملاً مشهود است و سبب تقویت رطوبت سامانه‌های عبوری از شرق مدیترانه می‌شود. در همین فاز ولی در سه‌ماهه اکتبر تا دسامبر عکس قضیه صادق است، اگرچه که فاز مثبت شاخص حکمفرماست، اما در نقشه آنومالی بارش کاملاً مشهود است که به دلیل وجود کم‌ارتفاع عمیق بر روی جنوب و مرکز اروپا پشته پراارتفاع در تراز میانی بر روی فلات ایران رانده شده است و بیشینه آنومالی منفی تا بیش از ۰/۴ میلی‌متر در روز بر روی غرب‌کشور و زاگرس شمالی است که اثرات آن در ساوه نیز تا ۰/۲ میلی‌متر در روز اجتناب ناپذیر است. در اشکال د و و فاز منفی نوسان شمالگان در میانگین ماهانه و سه‌ماهه اکتبر تا دسامبر نشان داده شده است. در این فاز عموماً با تقویت ناو‌های عرض میانی و نفوذ فرودها به کمربند دریای مدیترانه افزایش بارش از غرب مدیترانه تا شرق آن مشاهده می‌شود. بیشینه بی‌هنجاری‌های مثبت بارش در غرب کشور مشهود شده است و برای ایستگاه سینوپتیک ساوه در هر دو بازه زمانی مقدار افزایش بارش در حد ۲ تا ۴ میلی‌متر در ماه محاسبه شده است. اشکال ن و ی فاز مثبت شاخص نوسان شمالگان را نمایش داده است. در این فاز جت استریم قطبی میل حرکت به عرض‌های بالاتر را دارد و مسیر بادهای باران‌آور شمالی‌تر می‌شود. آنومالی منفی و کمتر از نرمال بلندمدت در مدیترانه خصوصاً بخش‌های غربی و مرکزی مشهود است، اما در سه‌ماهه اکتبر تا دسامبر (پاییز) منتهالیه جنوب مدیترانه آنومالی مثبت به چشم می‌خورد که مشاهده می‌شود در تراز میانی ناو شبه ایستا (کواسی) بر اثر جو بندالی در آن منطقه شکل گرفته و با توجه به آنومالی نرمال بارش در دریای سرخ و تقویت رطوبت سامانه‌های عبوری از آن منطقه آنومالی مثبت بارشی در جنوب غرب ایران قابل رویت است که با توجه به جهت جریانات جنوب غربی-شمال شرقی سبب آنومالی مثبت بارشی در ساوه و به میزان ۲ تا ۵ میلی‌متر در ماه شده است.

به‌طور کلی فاز منفی شاخص نصف‌النهاری اطلس سبب کاهش بارش در ساوه خواهد شد. در اثر تغییر مسیر شار رطوبت و الگوهای چرخندی-واچرخندی در دریای مدیترانه این مهم رخ خواهد داد. در فاز مثبت نوسان شمالگان اگرچه تاو‌ه‌قطبی در عرض‌های بالاتر خودنمایی خواهد کرد، اما با تشکیل جو بندالی سبب آنومالی مثبت بارش در ساوه خواهد شد (Bellomo, et al., 2023; Kim, et al., 2024; Mohino, et al., 2024; Monerie, et al., 2023; Tatli, H., 2025; Vicente-Serrano, et al., 2025; Zhang, et al., 2024; Sun, et al., 2024 & (Columbu, et al., 2022).



شکل ۶: نقشه ترکیب آنومالی بارش با فازهای مختلف شاخص AMM, AO (ایستگاه مورد مطالعه (ساوه) فصلی و میانگین ماهانه)

نتیجه گیری نهائی

این پژوهش نشان داد که (۱) کنترل دما در ساوه عمدتاً تحت سیگنال‌های برون‌حاره‌ای شرق-شمال اقیانوس آرام (EP-NP) قرار دارد و این نقش در مقیاس‌های ماهانه و فصلی پررنگ‌تر از مقیاس سالانه است؛ (۲) اثر دورپیوندی‌های اقیانوس آرام بر دما قوی‌تر از اثر مستقیم آن‌ها بر بارش سالانه است و برای بارش، شاخص‌های اطلس (AMM, AO) و تا حدی (AMO/TNA/TSA) تعیین‌کننده‌ترند؛ (۳) فاز منفی AMM به کاهش بارش به‌ویژه در پاییز می‌انجامد، در حالی که فاز منفی AO با افزایش نسبی بارش در اکتبر-دسامبر همراه است و فاز مثبت AO غالباً کاهش بارش را القا می‌کند هرچند در ایستگاه مورد مطالعه پژوهش این مهم رخ نداد؛ (۴) وجود تأخیر زمانی ۱ تا ۳ ماهه در پاسخ بارش و دما به فازهای شدید شاخص‌ها، همراه با اثرات مرکب و هم‌رخدادی، ظرفیت پیش‌آگاهی را ارتقا می‌دهد؛ (۵) اختلاف مقیاس «سالانه» با «فصلی/حدی» علت ضعف همبستگی بارش سالانه و در مقابل، تقویت سیگنال‌ها در فصل است. بر این اساس، پایش منظم EP-NP برای پیش‌بینی دما و استفاده از ترکیب EP-NP با شاخص‌های اطلس (AMM/AMO/TNA/TSA) برای راهبردهای پیش‌آگاهی بارش در ساوه توصیه می‌شود. توسعه مدل‌های یادگیری ماشین با ورود متغیرهای دورپیوندی انتخاب‌شده، و لحاظ کردن نایستایی مکانی-زمانی، مسیر پژوهش‌های آتی است.

هیچگونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد.

منابع

راضیعی، طیب، ایزابلا بوردی، ژائو آ سانتوس و عباس مفیدی (۱۳۹۲). «انواع گردش جوی و بارش‌های روزانه زمستانی در ایران». *مجله بین‌المللی اقلیم‌شناسی* ۳۳، شماره ۹.

خجسته غلامی، وحید، صلاحی، برومند، محمدی، غلام حسن (۱۴۰۱). تحلیل رخداد هم‌زمان فازهای نوسان اطلس شمالی و نوسان شمالگان با فازهای انسو و تأثیر آن بر دمای زمستانه ایران. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*, ۵۴(۳), ۳۴۷-۳۶۴.

فاطمی، مهران، امیدوار، کمال، مسگری، ابراهیم و مهدی نارنگی فرد (۱۳۹۵). "تحلیل فضایی و بررسی الگوهای ارتباط از راه دور با خشکسالی در مرکز ایران." *فیزیک زمین و فضا* ۴۲، ب. ۴ (۲۰۱۶): ۴۹-۶۱

محبوبی، عماد، بخشش رباط، سلمان، و حسین‌پور، مسعود (۱۴۰۰). مروری بر برخی مطالعات پیرامون تأثیر دورپیوندها بر بارش ایران در بازه سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۷. *نیوار*, ۴۵(۱۱۲-۱۱۳), ۲۹-۴۵.

REFERENCES

- Afsari, R., Nazari-Sharabian, M., Hosseini, A., & Karakouzian, M. (2024). Projected climate change impacts on very heavy precipitation and dry days in Iran's metropolises. *Water*, 16(16), 2226. <https://doi.org/10.3390/w16162226>
- Ahmadi, M., Kamangar, M., Salimi, S., Hosseini, S. A., Khamoushian, Y., Heidari, S., ... & Yarmoradi, Z. (2022). A new approach in evaluation impacts of teleconnection indices on temperature and precipitation in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 150(1), 15-33. <https://doi.org/10.1007/s00704-022-04138-w>.
- Akhtar-Danesh, N. (2023). Impact of factor rotation on Q-methodology analysis. *PLOS ONE*, 18(8), e0286587. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0286587>
- Alizadeh, O., & Mousavizadeh, M. (2025). Impact of ENSO on extreme precipitation in Southwest Asia. *Global and Planetary Change*, 244, 104645. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2024.104645>
- Al Senafi, F., Ramadan, E., & Al-Said, T. (2024). Climate variability of air temperature and its warming over the Persian Gulf and Arabian Peninsula. *Earth Systems and Environment*, 8, 665-684. <https://doi.org/10.1007/s41748-024-00395-z>
- Amini, M., Ghadami, M., Fathian, F., & Modarres, R. (2020). Teleconnections between oceanic-atmospheric indices and drought over Iran using quantile regressions. *Hydrological Sciences Journal*, 65(13), 2286-2295. <https://doi.org/10.1080/02626667.2020.1802029>.
- Asakereh, H., Abolhosseini, S. A., & Faghil, A. (2023). An investigation into trends in frequency and proportion of extreme precipitation in Iran. *Meteorological Applications*, 30(3), e2117. <https://doi.org/10.1002/met.2117>
- Azad, M., & Karimi, K. (2020). Spatiotemporal analysis of drought and its relationship with teleconnection indices in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 140, 1039-1052. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03156-6>.
- Baldwin, M. P., Gray, L. J., Dunkerton, T. J., Hamilton, K., Haynes, P. H., Randel, W. J., ... & Takahashi, M. (2001). The Quasi-Biennial Oscillation. *Reviews of Geophysics*, 39(2), 179-229. <https://doi.org/10.1029/1999RG000073>.
- Baldwin, M. P., Gray, L. J., Dunkerton, T. J., Hamilton, K., Haynes, P. H. (2021). The Quasi-Biennial Oscillation. *Reviews of Geophysics*, 59(2), e2020RG000702. <https://doi.org/10.1029/2020RG000702>.
- Barnston, A. G., & Livezey, R. E. (1987). Classification, Seasonality and Persistence of Low-Frequency Atmospheric Circulation Patterns. *Monthly Weather Review*, 115(6), 1083-1126. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1987\)115<1083>](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1987)115<1083>)
- Bellomo, K., Clement, A. C., Murphy, L. N., & Polvani, L. M. (2023). Impacts of a weakened AMOC on precipitation over the Northern Hemisphere. *Climate Dynamics*, 61, 3121-3138. <https://doi.org/10.1007/s00382-023-06754-2>
- Bohrium study. (2021). Evaluating the predictability of atmospheric-oceanic signals affecting Iran's droughts employing intelligence-based and stochastic methods. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151521>.
- Bueso, D., Piles, M., & Camps-Valls, G. (2022). Let's consider more general nonlinear approaches to study teleconnections of climate variables. *arXiv preprint*, arXiv:2212.07635. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2212.07635>
- Cape, J. (2024). On varimax asymptotic in network models and spectral methods. *arXiv preprint*, arXiv:2403.05461. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2403.05461>
- Chen, D., Tian, Y., & Zhang, T. (2019). Impacts of teleconnection patterns on precipitation and temperature variability in Iran. *Climate Dynamics*, 53, 6151-6167. <https://doi.org/10.1007/s00382-019-04920-x>.
- Chen, H., Sun, J., & Li, L. (2019). Influence of North Atlantic Oscillation on winter precipitation in Iran. *Atmospheric Research*, 227, 147-156. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.05.002>.
- Chiang, J. C. H., & Vimont, D. J. (2004). Analogous Pacific and Atlantic Meridional Modes of Tropical Atmosphere-Ocean Variability. *Journal of Climate*, 17(12), 2417-2427. <https://doi.org/10.1175/1520-0442>



- Columbu, A., Spötl, C., De Waele, J. (2022). Central Mediterranean rainfall varied with high Northern Hemisphere temperatures. *Communications Earth & Environment*, 3, 509. <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00509-3>
- Cos, P., Marcos-Matamoros, R., Donat, M. G., Mahmood, R., & Doblas-Reyes, F. J. (2024). Near-term Mediterranean summer temperature climate projections: A comparison of constraining methods. *Journal of Climate*, 37*(17), 4367–4388. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-23-0494.1>
- Dai, A., Tan, Y., & Hu, J. (2020). Decadal variability of teleconnection influences on regional precipitation and temperature. *Climate Dynamics*, 55(1), 101-118. <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05209-y>.
- Dehghani, M., Salehi, S., Mosavi, A., et al. (2020). Spatial Analysis of Seasonal Precipitation over Iran: Co-Variation with Climate Indices. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.*, 9(2), 73. <https://doi.org/10.3390/ijgi9020073>.
- Dmitry Iudin .(2021). Lightning as an asymmetric branching network. Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences (IAP RAS), ۴۶ Ul'yanov Street, Nizhny Novgorod ۶۰۳۹۵۰, Russia <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105560>.
- Enfield, D. B., & Mayer, D. A. (1997). Tropical Atlantic Sea surface temperature variability and its relation to El Niño–Southern Oscillation. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 102(C1), 929–945. <https://doi.org/10.1029/96JC03296>
- Enfield, D. B., Mestas-Núñez, A. M., & Trimble, P. J. (2001). The Atlantic Multidecadal Oscillation and its relation to rainfall and river flows in the continental U.S. *Geophysical Research Letters*, 28(10), 2077–2080. <https://doi.org/10.1029/2000GL012745>.
- Enfield, D. B., & Mayer, D. A. (2020). Atlantic Multidecadal Oscillation and its Impacts. *Journal of Climate*, 33, 2933–2951. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0202.1>.
- Fang, K., Tao, Q., Lv, K., He, M., Huang, X., & Yang, J. (2024). Kernel PCA for out-of-distribution detection. *NeurIPS 2024 Proceedings, Proc. 38th NeurIPS*.
- Fatemi, Mehran, Omidvar, Kamal, Mesgari, Ebrahim and Mehdi Narangi Fard (2015). "Spatial analysis and investigation of remote communication patterns with drought in central Iran." *Earth and Space Physics* 42, p. 4 (2016): 49-61. <https://doi.org/10.22059/jesphys.2016.58915>. (In Persian).
- Francis, D., & Fonseca, R. (2024). Recent and projected changes in climate patterns in the Middle East and North Africa (MENA) region. *Scientific Reports*, 14, 10279. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-60976-w>
- Helali, J., Ghaleni, M. M., Hosseini, S. A., Siraei, A. L., Saeidi, V., Safarpour, F., ... & Lotfi, M. (2022). Assessment of machine learning model performance for seasonal precipitation simulation based on teleconnection indices in Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(15), 1343. <https://doi.org/10.1007/s12517-022-10640-2>.
- Hochman, A., & Gildor, H. (2025). Synergistic effects of El Niño–Southern Oscillation and the Indian Ocean Dipole on Middle Eastern subseasonal precipitation variability and predictability. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 151*, e4903. <https://doi.org/10.1002/qj.4903>
- Hoell, A., Robinson, R., Agel, L., Barlow, M., Breeden, M. L., Eischeid, J. K., ... Quan, X.-W. (2024). Changes to Middle East and Southwest Asia compound drought and heat since 1999. *Journal of Climate*, 37(1), 269–287. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-23-0194.1>
- Horan, M. F., Mariotti, A., Schubert, S. D., Molod, A., & Pegion, P. (2024). Winter precipitation predictability in Central Southwest Asia and its representation in seasonal forecast systems. *npj Climate and Atmospheric Science*, 7, 94. <https://doi.org/10.1038/s41612-024-00594-5>
- Huang, G., Liu, Y., & Huang, R. (2011). The interannual variability of summer rainfall in the arid and semiarid regions of northern China and its association with the Northern Hemisphere circumglobally teleconnection. *Advances in Atmospheric Sciences*, 28(2), 257-268 <https://doi.org/10.1007/s00376-010-9225-x>.
- Javorskyj, I., Yuzefovych, R., Lychak, O., & Matsko, I. (2024). Hilbert transform for covariance analysis of periodically nonstationary random signals with high-frequency modulation. *ISA Transactions*, 144, 452–481. <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2023.10.025>
- Kim, S.-K., Timmermans, M.-L., Yang, Q., et al. (2024). The summer North Atlantic Oscillation, Arctic Sea ice, and hemispheric teleconnections. *Science Advances*, 10, eadk6693. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adk6693>
- Khojaste Gholami, Vahid, Salahi, Broumand, Mohammadi, & Gholam Hassan. (2022). Analysis of the simultaneous occurrence of North Atlantic Oscillation and Arctic Oscillation phases with Enso phases

- and its effect on Iran's winter temperature. *Natural Geography Research*, 54(3), 347-364. <http://doi.org/10.22059/jphgr.2022.340146.1007686>. (In Persian)
- Le, P. V. V. (2023). Climate-driven changes in the predictability of seasonal precipitation. *Nature Communications*, 14, 4029. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-39463-9>
- Lieber, R., King, A., Brown, J., Ashcroft, L., Freund, M., & McMichael, C. (2022). ENSO teleconnections more uncertain in regions of lower socioeconomic development. **Geophysical Research Letters*, 49*, e2022GL100553. <https://doi.org/10.1029/2022GL100553>
- Li, L., Zhang, J., & Wang, S. (2019). Teleconnection indices and seasonal climate prediction over Asia. *Theoretical and Applied Climatology*, 137, 885-901. <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2639-9>.
- Lim, E. P., Hendon, H. H., & Thompson, D. W. (2018). Seasonal evolution of stratosphere-troposphere coupling in the Southern Hemisphere and implications for the predictability of surface climate. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123(21), 12-002. <https://doi.org/10.1002/qj.3078>.
- Lu, M., Huang, B., Li, Z., Yang, S., & Wang, Z. (2019). Role of Atlantic air-sea interaction in modulating the effect of Tibetan Plateau heating on the upstream climate over Afro-Eurasia-Atlantic regions. *Climate Book*, 53(1), 509.
- Mahjoubi, Emad, Bakshesh Rabat, Salman, & Hosseinpour. (2021). An overview of some studies on the effect of the links on the rainfall in Iran between 1383 and 1397. *Newar*, 45(112-113), 29-45. <https://doi.org/2021.246857.1167NIVAR10.3046>. (In Persian).
- Malaekheh, S., Safaie, A., Shiva, L., & Tabari, H. (2022). Spatio-temporal variation of hydro-climatic variables and extreme indices over Iran based on reanalysis data. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 36(11). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-12904-7>.
- Malik, A., Stenchikov, G., Mostamandi, S., Parajuli, S., Lelieveld, J., Zittis, G., Ahsan, M. S., Atique, L., & Usman, M. (2024). Accelerated historical and future warming in the Middle East and North Africa. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 129*(22), e2024JD041625. <https://doi.org/10.1029/2024JD041625>
- Mantua, N. J., Hare, S. R., Zhang, Y., Wallace, J. M., & Francis, R. C. (1997). A Pacific Interdecadal Climate Oscillation with Impacts on Salmon Production. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78(6), 1069-1079. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1997\)078<1069: APICOW>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1997)078<1069: APICOW>2.0.CO;2).
- Marukatat, S. (2023). Tutorial on PCA and approximate kernel PCA. *Artificial Intelligence Review*, 56, 5445-5477. <https://doi.org/10.1007/s10462-022-10297-z>
- Matsuki, A., Kori, H., & Kobayashi, R. (2023). An extended Hilbert transform method for reconstructing the phase from an oscillatory signal. *Scientific Reports*, 13, 3535. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-30405-5>
- Mezzina, B., García-Serrano, J., Ambrizzi, T., Matei, D., Manzini, E., & Bladé, I. (2023). Tropospheric pathways of the late-winter ENSO teleconnection to Europe. **Climate Dynamics*, 60*, 3307-3317. <https://doi.org/10.1007/s00382-022-06508-6>
- Mohino, E., Gervais, M., Lopez-Parages, J., & Rodríguez-Fonseca, B. (2024). Impact of Atlantic multidecadal variability on rainfall intensity over the Sahel. *Earth System Dynamics*, 15, 15-28. <https://doi.org/10.5194/esd-15-15-2024>
- Monerie, P.-A., Biasutti, M., Mignot, J., Mohino, E., Pohl, B., & Zappa, G. (2023). Storylines of Sahel precipitation change: Roles of the North Atlantic and Euro-Mediterranean temperature. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 128, e2023JD038712. <https://doi.org/10.1029/2023JD038712>
- Najafi, M. S. (2023). Climate zones in Iran. *Meteorological Applications*, 30(6), e2147. <https://doi.org/10.1002/met.2147>
- NOAA Climate Prediction Center. (2018). ENSO: Recent Evolution, Current Status and Predictions. <https://doi.org/10.25923/ytkx-qn91>.
- Noorisameleh, Z., Gough, W. A., & Mirza, M. M. Q. (2021). Persistence and spatial-temporal variability of drought severity in Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(35), 48808-48822. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14100-4>.
- Nuroozi, H. (2025). The relationship between moisture in the low level of the atmosphere and seasonal precipitation over Iran. *Meteorological Applications*, 32(4), e70033. <https://doi.org/10.1002/met.70033>
- Polo, I., Lazar, A., Rodríguez-Fonseca, B., & Mignot, J. (2018). Oceanic control of the interannual variability of the Tropical South Atlantic (TSA). *Climate Dynamics*, 51, 3539-3555. <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4084-3>.
- Poorkarim, Reza, Asakereh, Hossein, & Martín-Vide, Javier. (2024). Maximum daily precipitation in Iran (1979-2018). *Atmósfera*, 38, 675-686. <https://doi.org/10.20937/ATM.53326>
- Radwan, N. (2025). Seasonal precipitation and anomaly analysis in Middle Eastern countries based on satellite



- rainfall data (2000–2023). *Water*, 17(10), 1475. <https://doi.org/10.3390/w17101475>
- Rashid, I. U., Abid, M. A., Osman, M., Kucharski, F., Ashfaq, M., Weisheimer, A., Almazroui, M., Torres-Alavez, J. A., & Afzaal, M. (2024). Predictability of the early summer surface air temperature over western South Asia and the role of ENSO. *Climate Dynamics*, 62*(9), 9361–9375. <https://doi.org/10.1007/s00382-024-07399-5>
- Rezaei, A., Karami, K., Tilmes, S., & Moore, J. C. (2023). Changes in global teleconnection patterns under global warming and stratospheric aerosol intervention scenarios. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 23(10), 5835–5850. <https://doi.org/10.5194/equsphere-2022-974>
- Raziei, Tayeb, Isabella Bordi, Joao Santos and Abbas Mofidi (2012). "Types of atmospheric circulation and daily winter rainfall in Iran". *International Journal of Climatology* 33, no. 9. <https://doi.org/10.1002/joc.3596> (In Persian).
- Rezaeian, J., Araghinejad, S., & Massah Bavani, A. (2022). Quantification of lagged effects of teleconnections on drought in Iran. *International Journal of Climatology*, 42, 5133–5148. <https://doi.org/10.1002/joc.7513>
- Rohe, K., & Zeng, M. (2023). Vintage factor analysis with Varimax performs statistical inference. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology)*, 85(4), 1037–1066. <https://doi.org/10.1093/jrsssb/qkad029>
- Roshan, A., Sedghi, H., Sharifan, R. A., & Porhemmat, J. (2019). Climate change impacts on intensity duration frequency curves of precipitation: A case study of Shiraz synoptic station, Iran. *Journal of Agrometeorology*, 21(2), 159–165. <https://doi.org/10.54386/jam.v21i2.226>
- Sabatani, D., & Gualdi, S. (2025). ENSO teleconnections with the North Atlantic–European sector during November. *npj Climate and Atmospheric Science*, 8*, 1064. <https://doi.org/10.1038/s41612-025-01064-2>
- Sabziparvar, A. A., Mirmasoudi, S. H., Tabari, H., Nazemosadat, M. J., & Maryanaji, Z. (2011). ENSO teleconnection impacts on reference evapotranspiration variability in some warm climates of Iran. *International Journal of Climatology*, 31(11), 1710–1723. <https://doi.org/10.3390/w10111550>
- Saharwardi, Md Saquib, Dasari, Hari Prasad, Aggarwal, Vaneet, Ashok, Karumuri, & Hoteit, Ibrahim. (2023). Long-Term Variability in the Arabian Peninsula Droughts Driven by the Atlantic Multidecadal Oscillation. *Earth's Future*, 11(11), e2023EF003549. <https://doi.org/10.1029/2023EF003549>
- Stuivenvolt-Allen, J., Wang, S.-Y. S., Chikamoto, Y., Meyer, J. D. D., Johnson, Z. F., & Deng, L. (2023). Growing Pacific linkage with western North Atlantic explosive cyclogenesis. *Journal of Climate*, 36*(20), 7073–7090. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-22-0784.1>
- Sun, Q., Zhang, W., & Chen, S. (2024). Strengthened combined impact of the Pacific and Atlantic meridional modes on Northern Hemisphere climate. *Journal of Climate*, 37(12), 4021–4037. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-23-0582.1>
- Tath, H. (2025). Spatial and multifractal features of Mediterranean–Middle East precipitation: Insights from ERA5 (1940–2024). *Environmental Earth Sciences*, 84, 12412. <https://doi.org/10.1007/s12665-025-12412-z>
- Tejedor, E., Benito, G., Serrano-Notivoli, R., González-Rouco, J. F., Esper, J., & Büntgen, U. (2024). Recent heatwaves as a prelude to climate extremes in the western Mediterranean region. *npj Climate and Atmospheric Science*, 7*, 218. <https://doi.org/10.1038/s41612-024-00771-6>
- Thompson, D. W. J., & Wallace, J. M. (1998). The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields. *Geophysical Research Letters*, 25(9), 1297–1300. <https://doi.org/10.1029/98GL00950>
- Trenberth, K. E. (1984). Signal versus Noise in the Southern Oscillation. *Monthly Weather Review*, 112(2), 326–332. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1984\)112<0326](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1984)112<0326)
- Tzyrkalli, Anna, Economou, Theo, Lazoglou, Georgia, Constantinidou, Katiana, Hadjinicolaou, Panos, & Lelieveld, Johannes. (2024). Urban Heat Island Trends in the Middle East and North Africa: A statistical approach. *International Journal of Climatology*, 44(11), 3998–4008. <https://doi.org/10.1002/joc.8563>
- Vicente-Serrano, S. M., Peña-Gallardo, M., El Kenawy, A. (2025). High temporal variability, not monotonic trends, dominates Mediterranean precipitation. *Nature*, 637, 123–129. <https://doi.org/10.1038/s41586-024-08576-6>
- Wallace, J. M., & Gutzler, D. S. (1981). Teleconnections in the Geopotential Height Field during the Northern Hemisphere Winter. *Monthly Weather Review*, 109(4), 784–812. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1981\)109<0784:TITGHF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1981)109<0784:TITGHF>2.0.CO;2)
- Wang, H., Chen, Y., Pan, Y., & Li, W. (2015). Spatial and temporal variability of drought in the arid region of China and its relationships to teleconnection indices. *Journal of hydrology*, 523, 283–296.

<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.01.055>.

Wolter, K., & Timlin, M. S. (2011). El Niño/Southern Oscillation behavior since 1871 as diagnosed in an extended Multivariate ENSO Index (MEI. Ext). *International Journal of Climatology*, 31(7), 1074–1087.

<https://doi.org/10.1002/joc.2336>.

Yang, R., & Xing, B. (2022). Teleconnections of large-scale climate patterns to regional drought in mid-latitudes: A case study in Xinjiang, China. *Atmosphere*, 13(2), 230. <https://doi.org/10.3390/atmos13020230>.

Zhang, Q., Chang, P., Fu, D., Yeager, S. G., Danabasoglu, G., Castruccio, F., & Rosenbloom, N. (2024). Enhanced Atlantic Meridional Mode predictability in a high-resolution prediction system. *Science Advances*, 10, eado6298. <https://doi.org/10.1126/sciadv.ado6298>