

اثر شاخص اسکاندیناوی بر بارش و رطوبت نسبی نقاط مختلف کشور ایران

چکیده

در این پژوهش نقش شاخص دورپیوندی اسکاندیناوی (SCAND) در تغییرپذیری دو مؤلفه اقلیمی بارش و رطوبت نسبی ایران ارزیابی شد؛ داده‌های میانگین سه ماه ۲۱ ایستگاه سینوپتیک از پهنه‌های مختلف کشور طی دوره ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ با تمرکز بر ماه‌های اکتبر تا ژوئن به کار رفت و کنترل کیفیت و یکسان‌سازی واحدها انجام شد. ابتدا همبستگی پیرسون ماه‌به‌ماه بین SCAND و هر مؤلفه برای هر ایستگاه محاسبه و معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ مورد آزمون واقع شد؛ سپس برای سنجش اهمیت نسبی مؤلفه‌ها و استخراج سیگنال مشترک، تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) اجرا و تعداد مؤلفه‌های کاهش یافته بر مبنای مقدار ویژه ($\lambda \geq 1$) در نمودار اسکری پلات تعیین و درصد واریانس تبیین‌شده گزارش شد. نتایج نشان داد بیشترین همبستگی با SCAND در مؤلفه بارش ایستگاه رشت با $r=0/40$ و در مؤلفه رطوبت نسبی ایستگاه کرمان با $r=0/47$ به‌دست آمد (هر دو معنادار)، در حالی که ایستگاه‌های تبریز و یزد در رطوبت نسبی همبستگی معناداری نشان ندادند. از نظر مکانی، اثر SCAND در نیمه شمالی کشور—همزمان با فعالیت رودباد جبهه قطبی و گذر امواج راسبی—قوی‌تر از نیمه جنوبی شناخته شد. در مجموع، شاخص SCAND سهم معناداری در نوسانات بارش و رطوبت نسبی ایران دارد و اثر آن بر بارش در ماه‌های اکتبر تا ژوئن برجسته‌تر است؛ پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی سناریوهای تغییر اقلیم (SSP) و تغییرات دمای سطح دریا برای بهبود برآوردهای آینده لحاظ شوند.

ایستگاه سینوپتیک

آنالیز ترکیبی

متغیر آنومالی

جزایر اسکاندیناوی

واژگان کلیدی

Abstract

This study interrogates the influence of the Scandinavian teleconnection (SCAND) on hydroclimatic variability across Iran by jointly examining monthly precipitation and relative humidity at 21 synoptic stations over 1990–2020, with emphasis on the cool-season window from October through June. After rigorous quality control and unit harmonization, we quantified month-specific Pearson correlations between SCAND and each variable at each station (two-tailed tests, $\alpha=0/05$), and then applied principal component analysis (PCA) to the multi-station matrices to isolate the shared signal and appraise the relative salience of precipitation versus humidity. Component retention followed classical criteria—eigen value $\lambda > 1$ rule and inspection of the scree elbow—with cumulative explained variance reported. The strongest observed association with SCAND emerged for precipitation at Rasht ($r=0/40$) and for relative humidity at Kerman ($r=0/47$), both statistically significant, whereas stations at Tabriz and Yazd exhibited non-significant SCAND–humidity relationships. Spatially, the imprint of SCAND is more conspicuous over northern Iran, consistent with enhanced modulation by the polar-front jet and attendant Rossby wave trains, and comparatively muted over the southern tier. Consequently, the results indicate that SCAND exerts a meaningful and seasonally coherent control on Iranian hydroclimate—most notably on precipitation during October–June. Future research should embed SCAND diagnostics within scenario-based assessments (e.g., CMIP/SSP pathways) and explicitly account for sea-surface temperature variability, given its central role in teleconnection dynamics under ongoing global warming.

Keywords

Scandinavian Islands, Variable, Anomaly, Components Analysis, Synoptic Stations

Extended Abstract

Assessing the Influence of the Scandinavian Teleconnection Pattern on Precipitation and Relative Humidity Across Climatically Diverse Regions of Iran

Introduction

The Earth's climate system is a complex interplay among various geospheres—including the atmosphere, lithosphere, biosphere, hydrosphere, and cryosphere—each contributing significantly to the manifestation of climatic phenomena such as precipitation, snowfall, drought, pluvial conditions, and extreme weather events. Among the most consequential modulators of these dynamics are teleconnection patterns, which reflect large-scale atmospheric oscillations and circulation anomalies that shape regional to hemispheric weather conditions. One such prominent pattern is the Scandinavian Index (SCAND), a semi-permanent wave-train structure that exerts profound influences on synoptic-scale weather regimes, particularly across Eurasia, Europe, and parts of the Middle East.

The present study was designed to investigate the relationship between the SCAND teleconnection pattern and two critical climate parameters—precipitation and relative humidity—across ۲۱ synoptic meteorological stations distributed across Iran's diverse climatic regions. Specifically, the aim was to determine whether the SCAND index could significantly explain temporal variability in these parameters and to what extent these effects are spatially heterogeneous. This inquiry aligns with broader

theoretical frameworks concerning atmospheric blocking, mid-latitude circulation variability, and moisture transport mechanisms. The findings have practical implications for seasonal forecasting, hydrological risk management, and climate impact assessments.

Methodology

A mixed-methods research design was employed, integrating quantitative statistical analysis with interpretive climatological inference. The study utilized time-series climate data derived from synoptic weather stations across Iran in conjunction with the SCAND index values over a defined temporal window. Principal Component Analysis (PCA) was applied to discern dominant variance structures and identify the relative sensitivity of precipitation and relative humidity to the SCAND index. Pearson correlation analysis was used to determine the degree and directionality of relationships.

This approach enables both the statistical isolation of significant patterns and the interpretive linkage to underlying atmospheric dynamics, including the propagation of Rossby waves and the modulation of polar jet streams. The study also incorporated qualitative climatological synthesis to interpret the mechanistic role of upper-level circulation in mediating the teleconnection's surface-level impacts.

Sampling Procedures

The selected 21 synoptic stations span diverse geographical and climatic zones of Iran, ensuring comprehensive spatial representation. Sampling was based on climatological zoning and data continuity. The temporal scope included multiple cold-season periods to capture the seasonal prominence of SCAND-related blocking events. Data collection adhered to standard meteorological protocols, and all datasets were quality-controlled using internationally accepted procedures for climatological research. Ethical considerations were not directly applicable due to the non-human subject nature of the data. However, institutional standards for data integrity, source attribution, and methodological transparency were strictly followed.

Results

The results revealed spatially and temporally variable correlations between SCAND index phases and climatic parameters across Iran. The Rasht station exhibited the highest positive correlation with SCAND in terms of precipitation ($r = 0.40$), indicating a significant enhancement of moisture flux and convergence under positive SCAND phases. In contrast, the Kerman station demonstrated a relatively high correlation in relative humidity ($r = 0.47$), reflecting regional sensitivity to upper-tropospheric anticyclonic anomalies.

Interestingly, stations such as Tabriz and Yazd showed no statistically significant correlations between SCAND and relative humidity, suggesting either shielding from upper-level wave propagation or dominance of local-scale climatic controls. Moreover, the influence of polar front jet streams, modulated by SCAND-induced Rossby wave propagation, was markedly stronger across the northern synoptic stations. This asymmetry underlines the geographical specificity of SCAND's climatic imprint.

Conclusion

The findings substantiate the role of the Scandinavian teleconnection pattern as a significant driver of precipitation and humidity variability across Iran, particularly during the cold season. The implications extend to the realms of seasonal climate forecasting and long-range hydrometeorological modeling. The study underscores the necessity of integrating teleconnection indices such as SCAND into predictive climate models, especially in the context of global warming, which is poised to alter the frequency and intensity of blocking patterns and wave dynamics. Future research should adopt a scenario-based modeling framework to assess the evolution of SCAND-climate relationships under projected warming trajectories. Given the central role of sea surface temperature anomalies in modulating teleconnection strength, the integration of coupled ocean-atmosphere models is recommended. The value of a mixed-methods approach is highlighted by the capacity to triangulate statistical relationships with synoptic-scale process understanding, thereby yielding richer insights than either approach alone.

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.

Acknowledgements

The research was supported by the University of Tehran. The author would like to express their special thanks to the vice chancellor for research affairs. This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Ethical considerations

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

Conflict of interest

All authors declare that they have no conflict of interest.

فیلتر استنادی نشده

زیست‌سپهر، جو، یخ‌سپهر، سنگ‌سپهر و آب‌سپهر به‌عنوان اجزای اصلی سامانه‌ی زمین، در تعامل دائم با یکدیگر سبب وقوع پدیده‌های متعددی نظیر بارش، برف، سیل، تگرگ، رانش زمین، امواج گرمایی و سایر رویدادهای حدی اقلیمی می‌شوند. یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در این تعاملات، شاخص‌های دورپیوندی هستند که نقشی اساسی در تنظیم الگوهای گردش جو و ناهنجاری‌های اقلیمی ایفا می‌کنند. در این میان، شاخص اسکاندیناوی (Scandinavian Pattern) به‌عنوان یکی از شاخص‌های مهم در نیم‌کره شمالی، نقش برجسته‌ای در توزیع فشار سطحی و جریان‌های جوی در منطقه اوراسیا و اروپا دارد (رضیئی و همکاران، ۱۳۹۲؛ Ghanghermeh et al., 2015).

مطالعات مختلف در ایران و سایر مناطق نیم‌کره شمالی نشان داده‌اند که نوسانات شاخص اسکاندیناوی می‌تواند بر مؤلفه‌هایی نظیر بارش، دما، رطوبت نسبی و حتی خشکسالی اثرگذار باشد. در ایران، این اثرگذاری در فصول سرد سال و به‌ویژه زمستان مشهودتر است و با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)¹ و چرخش واریماکس، همبستگی بالایی بین این شاخص و بارش روزانه شناسایی شده است (فاطمی، ۱۳۹۵؛ Roustae et al., 2018). افزون بر این، شاخص‌هایی مانند نوسان اطلس شمالی (NAO)²، الگوی شرق اطلس³ (EA)، نوسان قطبی (AO)⁴ و الگوی اوراسیا-قطب شمال (PE)⁵ نیز در تعامل با شاخص اسکاندیناوی، در شکل‌گیری الگوهای اقلیمی نقش دارند (Craig et al., 2022؛ Beghin et al., 2015).

در مناطق مختلف اروپا نیز اثرات شاخص اسکاندیناوی بر متغیرهایی همچون یخ قطبی، دمای سطح زمین، و تبخیر و ترقق به اثبات رسیده است (Comas-Bru et al., 2018؛ Drobyshchev et al., 2016). به‌عنوان نمونه، در کشورهای حوزه بالتیک مانند لتونی و لیتوانی، ارتباط مستقیم بین امواج راسبی ناشی از این الگو و نوسانات دمایی شناسایی شده است. این شاخص همچنین از طریق برهم‌کنش با ENSO

و آنومالی دمای سطح اقیانوس اطلس، بر فنولوژی گیاهان، رشد جنگل‌ها و بارش‌های زمستانه در نواحی مختلف نیم‌کره شمالی تأثیر می‌گذارد (Jaagus et al., 2010؛ Zvereva et al., 2010).

با توجه به نقش مؤثر شاخص‌های دورپیوندی در تغییرپذیری اقلیمی، به‌ویژه در بازه‌های بلندمدت، ضرورت دارد اثر آن‌ها بر مولفه‌های اقلیمی کلیدی نظیر بارش و رطوبت نسبی، در مقیاس ملی و منطقه‌ای مورد بررسی قرار گیرد. به‌ویژه در کشوری مانند ایران که اقلیم آن عمدتاً تحت تأثیر الگوهای جوی برون حاره قرار دارد و منابع آبی آن به شدت وابسته به بارش‌های فصلی است، شناخت این ارتباط‌ها اهمیت بالایی دارد. از سوی دیگر، تغییرات اقلیمی و افزایش گازهای گلخانه‌ای ممکن است شدت و فراوانی این نوسانات را دستخوش تغییر سازند و اثر آن‌ها را بر متغیرهای اقلیمی دوچندان کنند (Skjelvåg, 1998؛ Salinger et al., 2000). در این پژوهش، اثر شاخص اسکاندیناوی بر دو مؤلفه اقلیمی بارش و رطوبت نسبی در بازه‌ی زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ مورد بررسی قرار گرفته است. داده‌های ۲۱ ایستگاه سینوپتیک از مناطق مختلف ایران، از شمال تا جنوب و غرب تا شرق کشور انتخاب شده‌اند. داده‌ها به‌صورت میانگین‌های سه‌ماهه از اکتبر تا ژوئن (به‌عنوان فصل بارشی در ایران) تجزیه و تحلیل شده‌اند. برای تعیین میزان تأثیرگذاری شاخص مذکور از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) استفاده شده تا مشخص شود کدام بار عاملی دارای همبستگی معنادار با دورپیوندی‌هاست. یافته‌های مقدماتی نشان می‌دهد که شاخص اسکاندیناوی یکی از مؤثرترین شاخص‌ها در تبیین تغییرپذیری مکانی و زمانی بارش و رطوبت نسبی در ایران است.

معرفی شاخص اسکاندیناوی (Scandinavian Index)

1. Principal Components Analysis
2. North Atlantic Oscillation
3. East Atlantic
4. Arctic Oscillation
5. Polar Eurasia

شاخص اسکاندیناوی (Scandinavian Pattern) یا (SCAND)، یکی از الگوهای اصلی دورپیوندی نیم کره شمالی است که بر مبنای تغییرات فشار تراز سطح دریا و ترازهای فوقانی جو در منطقه اسکاندیناوی و نواحی اطراف آن تعریف می‌شود. این شاخص به عنوان یک الگوی موجی بلوکی با ساختار نیمه پایدار، تأثیرات قابل توجهی بر گردش عمومی جو و شرایط اقلیمی اوراسیا، اروپا و بخش‌هایی از خاورمیانه از جمله ایران دارد. (Fereday et al., 2020; Tuel & Eltahir, 2022).

شاخص اسکاندیناوی معمولاً به صورت فاز مثبت و منفی شناخته می‌شود. در فاز مثبت، وجود یک واپرخند (Anticyclone) پایدار بر روی منطقه اسکاندیناوی موجب اختلال در مسیر جریانات غربی و انحراف آن‌ها به سمت مناطق جنوبی‌تر می‌شود؛ در حالی که در فاز منفی، این الگو تضعیف شده یا جای خود را به الگوهای چرخندی می‌دهد که شرایط ناپایدار و سردتر را در نواحی شرقی و شمالی اوراسیا رقم می‌زنند (Nagy et al., 2021). این تغییرات، از طریق تأثیر بر جابجایی موج‌های راسبی و تنظیم موقعیت پرفشارها و کم‌فشارهای نیم کره شمالی، نقش فعالی در نوسانات بارش، دما، و رطوبت در عرض‌های میانی ایفا می‌کنند (Kang et al., 2019).

مطالعات متعددی رابطه‌ی بین شاخص اسکاندیناوی و مؤلفه‌های اقلیمی همچون بارش، دمای سطح زمین و حتی پوشش یخ قطبی را اثبات کرده‌اند. برای مثال، در شمال اروپا، فاز مثبت این شاخص با افزایش دما و کاهش بارش در برخی نواحی، و در عین حال افزایش بارش در مناطق جنوب شرقی اروپا همراه است (van der Wiel & Bintanja, 2021). همچنین، اثر این شاخص در تنظیم شدت و زمان وقوع پدیده‌های حدی نظیر امواج سرمای، خشکسالی و بارش‌های شدید نیز به اثبات رسیده است (Lee et al., 2018).

در ایران نیز برخی مطالعات حاکی از آن هستند که شاخص اسکاندیناوی، به ویژه در فصول سرد سال، با بارش‌های سنگین در نواحی شمال، شمال غرب و حتی بخش‌هایی از مرکز کشور همبستگی دارد. بر اساس تحلیل‌های انجام شده با داده‌های بازتحلیل (Reanalysis) و ایستگاه‌های سینوپتیک، مشخص شده است که پیک‌های مثبت SCAND در برخی سال‌ها با افزایش فراوانی بارش زمستانه در نواحی شمال غربی و نیمه شمالی کشور همراه بوده‌اند (Alijani et al., 2023).

یکی دیگر از ویژگی‌های قابل توجه شاخص اسکاندیناوی، برهم‌کنش آن با سایر شاخص‌های دورپیوندی نظیر نوسان اطلس شمالی (NAO)، نوسان قطبی (AO)، الگوی شرق اطلس (EA) و حتی ENSO است که می‌تواند به تقویت یا تضعیف اثرات آن منجر شود. (Pavlova et al., 2022; Maher et al., 2020). این برهم‌کنش‌ها باعث بروز پاسخ‌های غیرخطی اقلیمی می‌شوند که تحلیل دقیق آن‌ها در مطالعات پیش‌بینی اقلیم و مدل‌سازی تغییرات بلندمدت اهمیت فراوانی دارد.

در مجموع، شاخص اسکاندیناوی به عنوان یک عامل کلیدی در تغییرپذیری اقلیمی ناحیه‌ای و فرامنطقه‌ای شناخته می‌شود که در تحلیل‌های هم‌مدی، مدل‌سازی اقلیم، و پیش‌بینی بلندمدت پدیده‌های اقلیمی، به ویژه در نیم کره شمالی، نقشی برجسته دارد.

مواد و روشها

جمع آوری داده‌ها

مقادیر شاخص اسکاندیناوی Scandinavian Index به صورت میانگین سه ماهه اکتبر تا ژوئن در بازه زمانی ۱۹۹۰-۲۰۲۰ میلادی از سایت اداره ملی و جوی- اقیانوسی ایالات متحده (<https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/Scand>) و داده‌های دما و بارش ایستگاه‌های سینوپتیک کشور نیز به صورت میانگین‌های سه ماهه در بازه زمانی اکتبر تا ژوئن و بین سالهای ۱۹۹۰-۲۰۲۰ از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. فرمول محاسبه آن در رابطه ۱ نمایش و توضیح داده شده است. مشخصات و خصوصیات اقلیمی ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین مناطق مورد مطالعه و ارتفاع آنها در شکل ۱ نمایش داده شده است.

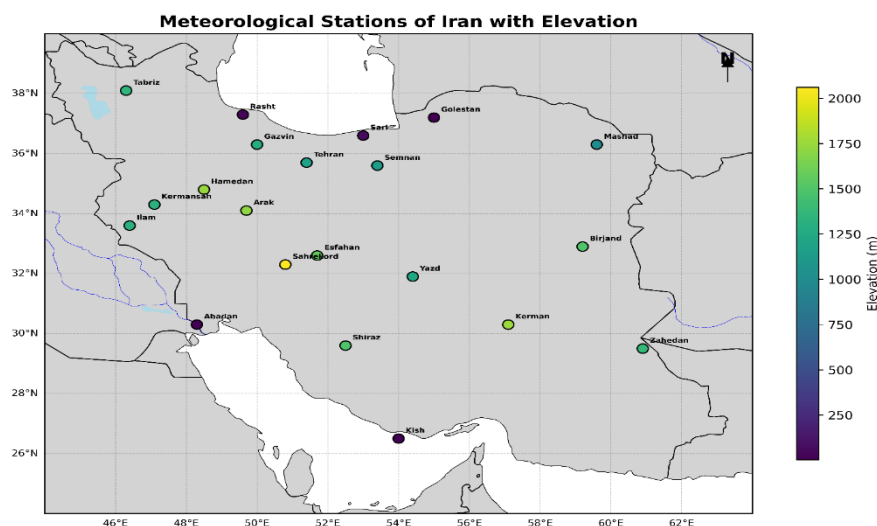
محاسبه شاخص اسکاند به شرح ذیل است :

$$a = (ETWE) - 1ETWz$$

اگر z و T بردار ناهنجاریهای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال یا همان تراز میانی باشد، $E = [e_1, \dots, e_K]$ ماتریس الگوهای بارگذاری برای همان ماه است. W ماتریس وزنی دهی مساحت معادل $w_i = \cos \varphi_i$ باشد آنگاه بردار a از حل کمترین مربعات وزن دار بدست خواهد آمد. جزء متناظر با شاخص اسکاند در بردار a همان شاخص اسکاندیناوی است که برای آن ماه محاسبه خواهد شد. این شاخص برای هر ماه به طور مستقل با دوره اقلیمی پایه ۱۹۹۰-۲۰۲۰ محاسبه خواهد شد. نکته مهم در این نوع تحلیل ها برای برابری مساحت معمولاً داده ها با $\sqrt{\cos \varphi}$ یا $\cos \varphi$ وزن دهی خواهند شد که به این روش رسمی در فرمول نویسی ماتریسی اطلاق می شود (اداره ملی و جوی و اقیانوسی ایالات متحده).

جدول ۱: مشخصات ایستگاه های مورد مطالعه

Name. Station	Lat	Lon	Elevation(m)	Type-Climate	Average Precipitation (mm/yr.)
Ilam	۳۳/۵۸	۴۶/۳۹	۱۳۳۷	Mediterranean	۳۰۰
Esfahan	۳۲/۵۱	۵۱/۷۰	۱۵۵۰/۴	Arid-Semi arid	۱۵۰
Share Kord	۳۲/۲۹	۵۰/۸۴	۲۰۴۸/۹	Cold-semi cold	۴۸۵
Hamedan	۳۴/۸۵	۴۸/۵۳	۱۷۴۰/۸	Cold-humid	۳۱۰
Tehran	۳۵/۶۹	۵۱/۳۰	۱۱۹۱	Temperate-semiarid	۲۴۰
Qazvin	۳۶/۲۴	۵۰/۰۴	۱۲۷۹/۱	Temperate-semi cold	۲۵۴
Semnan	۳۵/۵۸	۵۳/۴۲	۱۱۲۷	Cold and mountainous	۱۶۰
Kish-Island	۲۶/۵۲	۵۳/۹۸	۳۰	Warm-humid	۸۵
Kerman	۳۰/۲۵	۵۶/۹۶	۱۷۵۹	Arid-warm	۹۰
Brigand	۳۲/۹	۵۹/۲۵	۱۴۹۱	Cold and arid	۱۲۵
Golestan	۳۶/۹۰	۵۴/۴۱	.	Mediterranean-Sub	۳۷۰
Tabriz	۳۸/۱۲	۴۶/۲۳	۱۳۶۱	Mediterranean Cold and humid	۲۹۵
Zahedan	۲۹/۴۷	۶۰/۹	۱۳۷۰	Warm-Arid	۱۰۰
Arak	۳۴/۲۸	۴۹/۷۹	۱۷۰۰	Cold -sub humid	۲۸۰
Abadan	۳۱/۲۴	۴۸/۸۳	۳	Mediterranean	۲۰۰
Kermanshah	۳۴/۶۲	۴۶/۵۸	۱۴۱۰	Mediterranean	۳۴۵
Mashad	۳۵/۵۳	۶۰/۱۴	۱۱۰۰	Cold-Arid	۲۵۳
Shiraz	۳۰/۲۵	۳۷/۲۹	۱۵۹۰	Sub mediterranean	۲۷۰
Yazd	۳۳/۳۰	۵۲/۴۵	۱۲۴۳	Desertic	۵۰
Sari	۳۶/۵۳	۵۲/۹۹	۲۳	Mediterranean-sub-	۵۵۰
Rasht	۳۷/۱۶	۴۹/۳۶	-۷	Mediterranean-sub-Mediterranean	۱۲۰۰



شکل ۱: مناطق مورد مطالعه

ضریب همبستگی اسپیرمن

با استفاده از ضریب همبستگی اسپیرمن میزان همبستگی پارامترهای بارش و دما با شاخص دورپیوندی SCAND محاسبه شده است. استفاده از این ضریب با توجه به اینکه توزیع آماری در آن آزاد است برای چنین پژوهش های مناسب تر است. فرمول ضریب همبستگی اسپیرمن به شرح ذیل است (Yang, et al., 2022)

$R_s = \text{Pr}(X), R(Y) = \frac{\text{cov}(R(X), R(Y))}{\sigma R(X) \sigma R(Y)}$	رابطه ۲)
---	----------

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

آزمون ناپارامتریک Mann-Kendall

آزمون ناپارامتریک Mann-Kendall برای تحلیل روند سری زمانی داده ها استفاده می شود. آزمون توسط Mann در سال ۱۹۴۵ و Kendall در سال ۱۹۶۲ معرفی و ارائه شد. در این پژوهش از آزمون -روند Monotonic سری زمانی که خطی یا غیر خطی بودن روند را مشخص می کند استفاده شده است. برای تحلیل های آماری و رسم نمودار از نرم افزار MATLAB, Python استفاده شده است. اماره آزمون با فرض نرمال بودن S به شرح ذیل است:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(X_j - X_i)$$

$$\text{sgn}(\theta) = \{+1, 0, -1\} \{ \theta > 0, \theta = 0, \theta < 0 \}$$

$$Z = \frac{s-1}{\sigma} \text{ if } s > 0, Z = 0 \text{ if } s = 0, Z = \frac{s+1}{\sigma} \text{ if } s < 0$$

$$\sigma^2 = \frac{n(n+1)(2n+5)}{18}$$

رابطه 3)

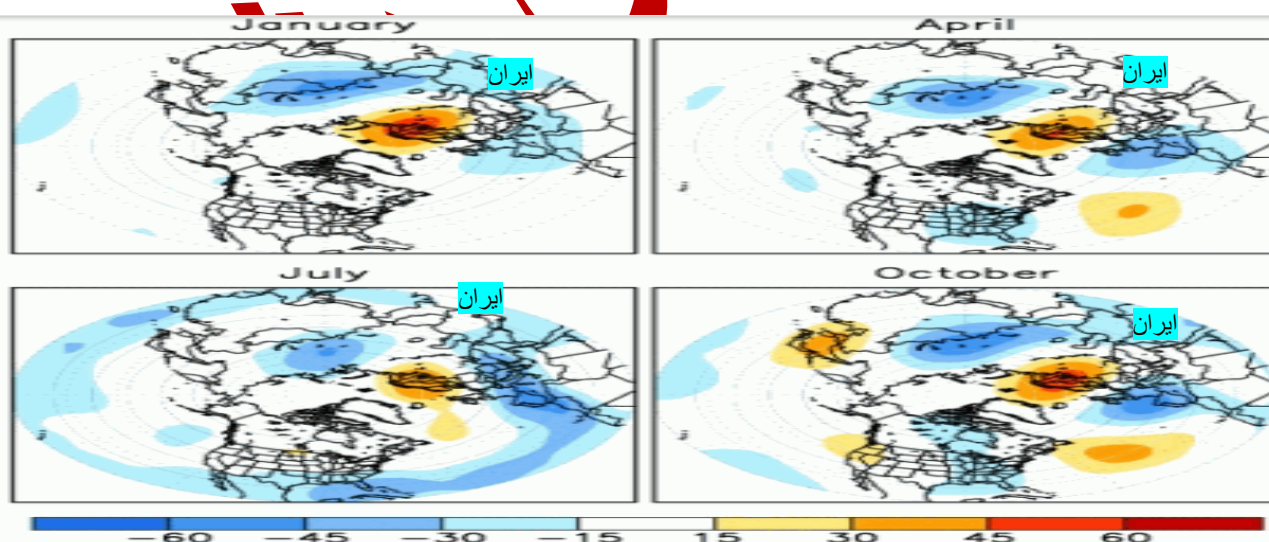
که در آن n تعداد داده‌ها، S فرض نرمال بودن داده‌ها، σ انحراف معیار داده‌ها و $\text{sgn}(\theta)$ و X_i, X_j نیز ردیف داده‌ها هستند. در مطالعاتی که از شاخص دورپیوندی و چند متغیر استفاده می‌شود از آزمون‌های ناپارمتریک چون Pettit، Run Test، Mann-Whitney Test مرسوم می‌باشد (Cai, et al., 2021; Nazemosadat, et al., 2006; Zhang, et al., 2005).

بحث و نتایج :

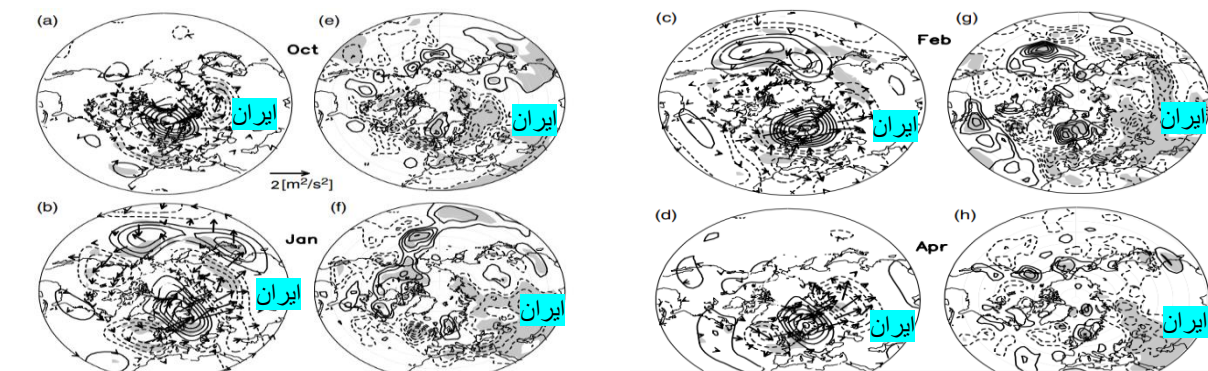
در خصوص الگوی اسکاندیناوی بایستی بیان گردد که فاز مثبت این الگو با افزایش ارتفاع و برخی اوقات با شکل گیری آنتی سیکلون بر منطقه اسکاندیناوی و غرب روسیه همراه است (شکل ۲)، که این مسئله برای بارش و دمای ایران کاملاً حائز اهمیت است و سبب کاهش ارتفاع در منطقه خاورمانه و ایران شده و در صورت همراهی شاخص‌های دیگر سبب افزایش بارش در این منطقه خواهد شد. از هر ماه از فصل سال یکی به صورت تصادفی انتخاب و نمایش داده شده است. برعکس در فاز منفی شاخص وجود آنومالی منفی ارتفاع در نواحی ذکر شده است که این الگو در اثر برهمکنش با شاخص‌های دیگر می‌تواند سبب کاهش شدید بارش در ایران و افزایش دما گردد. در ادامه بیشتر به آن خواهیم پرداخت (شکل ۳). بایستی بیان گردد الگوی تراز فوقانی بر الگوهای تراز میانی اثر خواهد گذاشت و به همین علت تراز ۳۰۰ هکتو پاسکال را در ماه‌های اکتبر، ژانویه، فوریه و آوریل که بیشترین اثر پذیری را در این ماه‌ها شاخص مورد نظر دارد، مورد تجزیه و تحلیل قرار داده‌ایم. وجود آنومالی مثبت ارتفاع کاملاً مشخص است و با توجه به مقدار رگرسیون کاملاً واضح است که فاز منفی شاخص سبب استقرار جریان‌ات و اچرخندی در تراز میانی خواهد شد و این مسئله در جنوب غرب آسیا و ایران نمود بیشتری نسبت به سایر مناطق واقع در نیمکره شمالی دارد و با توجه به نزول دینامیکی در جو منطقه و در پی آن کاهش شدید بارش و جو فشارورد (جو خشک) به چشم می‌خورد که در شکل ۳ نشان داده شده است. در شکل a که مربوط به ماه اکتبر است که در مقابل آن شکل c که رگرسیون اثرات الگوی فاز منفی شاخص است (اسکاند) را نمایش داده است. وجود آنومالی مثبت ارتفاع در سرتاسر جنوب غرب آسیا و شبه جزیره عربستان کاملاً مشهود است. در شکل b مرکز کم ارتفاع قطبی در اروپای مرکزی و شرقی واقع شده است و همین امر سبب شده است شدت آنومالی مثبت ارتفاع در شمال دریای کاسپین (خزر) تا غرب آسیا و ایران کشیده شده است. همین امر موجب شده است راه عبور چرخنده‌های مدیترانه به طرف ایران مسدود شود و کاهش شدید بارش به چشم می‌خورد (Irannezhad, et al., 2014). در اشکال c, d نیز الگوی مشابهی حکمفرماست و نشان می‌دهد که شاخص اسکاند یک شاخص بزرگ مقیاس با دامنه عمل بسیار بالا در نیمکره شمالی است (Bueh, et al 2007). فاز مثبت الگوی اسکاندیناوی با میانگین دمایی کمتر از نرمال در مرکز روسیه و اروپای غربی همراه هست، نکته جالب توجه افزایش دما در نواحی شمالی، غربی و جنوبی ایران است در حالی که فلات مرکزی و نیمه شرقی کشور ایران آنومالی منفی دمایی را تجربه

می‌کنند. درحالی که به لحاظ بارشی تفاوت وجود دارد، به شکلی که بارش بالای نرمال (در فاز مثبت شاخص) در مرکز و جنوب اروپا رخ خواهد داد که این مسئله در ادامه با توجه به جریانات بارشی در انتها الیه شرق مدیترانه به غرب آسیا و ایران خواهد رسید و آن مناطق را تحت تاثیر قرار خواهد داد. همچنین بارشهای کمتر از نرمال بلندمدت در سرتاسر منطقه اسکاندیناوی در فاز مثبت شاخص قابل انتظار است (https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/scand_map.shtml). این موارد در شکل ۴ الف و ب نمایش داده شده است.

در شکل ۵ مقدار نوسان شاخص اسکاندیناوی نمایش داده شده است. بازه زمانی انتخاب شده کل دوره ثبت شاخص یعنی از سال ۱۹۵۰ الی ۲۰۲۵ میلادی است. شرایط بازه اماری پژوهش مورد نظر و فازهای مختلف شاخص مذکور مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. سال‌های «مثبت» (میانگین سالانه $>0/1$): ۸ سال — ۱۹۹۳، ۱۹۹۶، ۲۰۰۰، ۲۰۰۲، ۲۰۰۶، ۲۰۱۰، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۸ بوده است که در اکثر این سالها با توجه به برهمکنش شاخصهای دیگر شاهد سال نرمال یا فراتر از نرمال به لحاظ بارشی بوده ایم. سالهایی منفی عبارتند از: (میانگین سالانه $<-0/1$): ۱۱ سال — ۱۹۹۰، ۱۹۹۱، ۱۹۹۵، ۱۹۹۷، ۱۹۹۸، ۲۰۰۴، ۲۰۰۷، ۲۰۱۵، ۲۰۱۶، ۲۰۱۷، ۲۰۲۰ و ۲۰۲۱ که در اکثر این سالها شاهد شرایط نرمال تا زیر نرمال به لحاظ بارشی بر طبق بولتن سازمان هواشناسی کشور قرار داشته است. در شرایط منفی شاخص به عنوان مثال شاهد شکسته شدن رکوردهای دمایی در ایستگاههای سینوپتیک کشور ایران از جمله آبادان، اهواز، شبانکاره بوشهر، یزد، اصفهان، شیراز، تهران، البرز، مرکزی، زنجان، زابل، زاهدان و بسیاری دیگر از ایستگاههای واقع در غرب و شمال شرق کشور ایران نیز رکورد دمایی چه در بیشینه و کمینه را بوده ایم. (بولتن سازمان هواشناسی کشور در بازه زمانی ذکر شده). و در ۵ سال اخیر به لحاظ شدت گرفتن گرمایش جهانی بر طبق گزارش هیئت بین الدول تغییر اقلیم در شرایط مثبت شاخص رکورد سنی در میزان بارش ۲۴ ساعته در ایران و منطقه جنوب غرب آسیا از جمله ثبت ۲۵۸ میلی متر بارش در ایستگاه فرودگاه دبی در بهار ۲۰۲۴، همچنین ثبت ۱۱۸ میلی متر بارش در طی ۲۴ ساعت از ایستگاه فرودگاه رشت در بهار ۲۰۲۴، همچنین وقوع ۵۳ میلی متر بارش در ایستگاه یزد در سال ۲۰۲۲ میلادی و آنهم در فصل تابستان بدلیل بالاتر از حد آمدن کمربند حاره‌ی و جریانات قویتر از نرمال موسمی هند و وقوع سیل و رانش زمین در منطقه امام زاده داوود تهران و بسیاری دیگر از رخدادهای فرین یا حدی را می‌توان نام برد (سازمان جهانی هواشناسی WMO). در نمودار واضح است که سه بار مقدار منفی ۲ و بیشتر در ژانویه ۲۰۲۰، ۲۰۲۲ و ۲۰۲۳ تکرار شده است که این مقدار اختصاص به شاخص اسکاندیناوی دارد.



شکل ۲: الگوی فاز مثبت شاخص اسکاند در فصول مختلف در تراز ۵۰۰ هکتو پاسکال (NOAA)

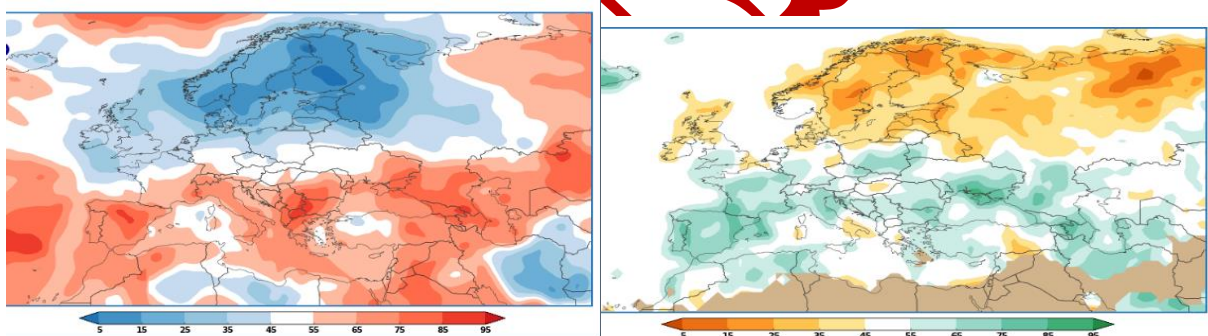


شکل ۳: جزء افقی ۳۰۰ مگابایت شار فعالیت موج (فلش) مرتبط با الگوی SCA برای (a) اکتبر، (b) ژانویه،

(c) فوریه و (d) آوریل. مقیاس پندی) واحد ($m^2 s^{-2}$): برای فلش بین (a) و (b) داده شده است. الگوهای رگرسیون ناهنجاری های ارتفاع در شکل ۱ برای ماه های مربوطه روی هم قرار گرفته اند. سایه زنی مناطقی را مشخص می کند که واگرایی افقی شار بیش از آن است. $5.0 \times 10^{-7} m^2 s^{-2}$ مانند (h) - (a)، اما برای تمایل ماهانه غیرعادی Z300 به دلیل وادار کردن فیدبک توسط گردابی گذرا و گرما ناهنجاری های شار خطوط برای هر ۱ (متر در روز) ترسیم می شوند و سایه به همان روشی که در شکل ۱ انجام می شود اعمال می شود.

(الف)

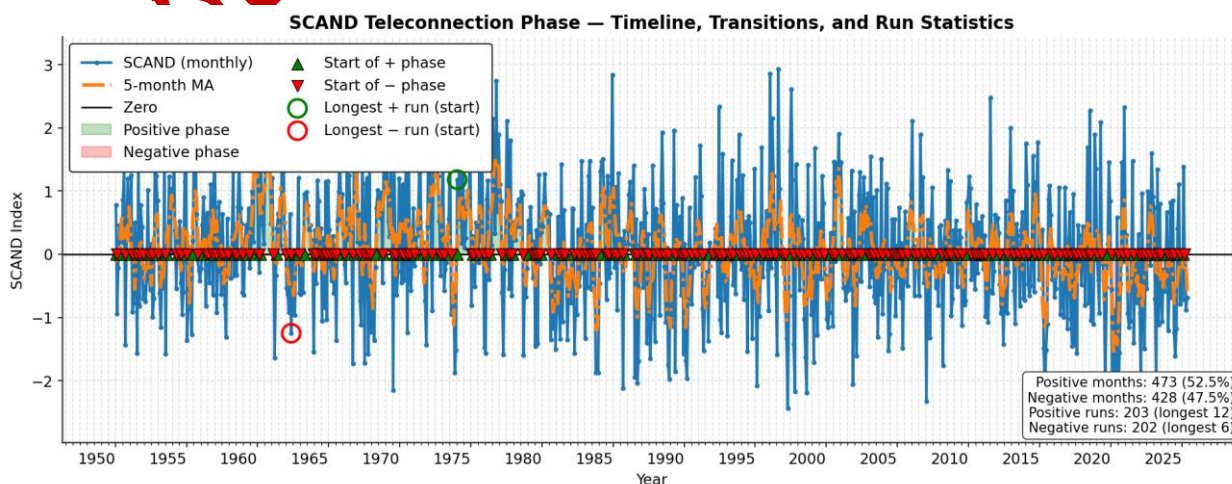
(ب)



شکل ۴ الف: سمت چپ آنومالی دمایی میانگین سه ماهه زمستان اروپا و خاورمیانه و ایران (ژانویه، فوریه و مارچ) بازه زمانی ۲۰۲۰-۱۹۹۰ (واحد سلسیوس) (World Climate Service)

شکل ۴ ب: سمت راست آنومالی بارش میانگین سه ماهه زمستان اروپا و خاورمیانه و ایران

(ژانویه، فوریه و مارچ) بازه زمانی ۲۰۲۰-۱۹۹۰ (واحد میلی متر) (World Climate Service)

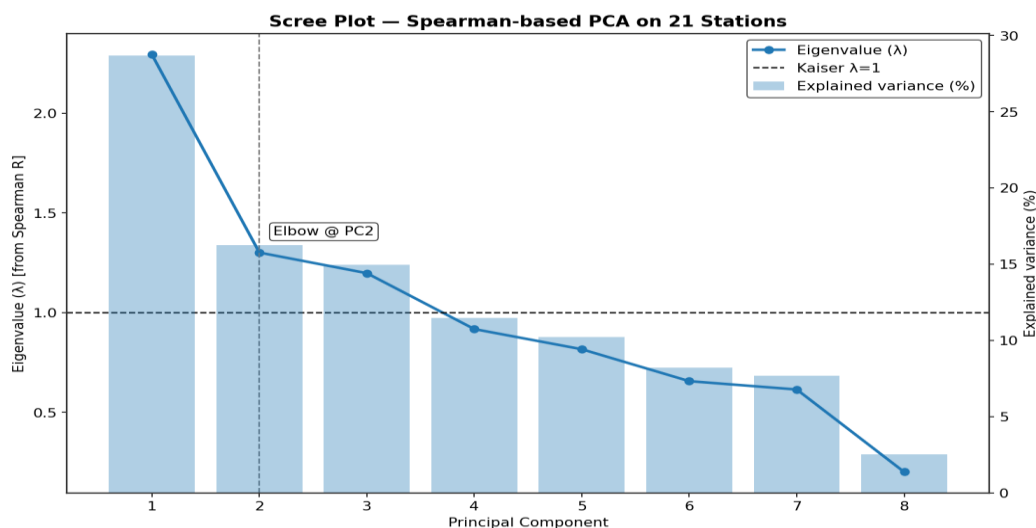


شکل ۵: نمودار شاخص منطقه اسکاندیناوی در بازه زمانی ۷۵ سال اخیر ۲۰۲۵-۱۹۵۰ (NOAA).

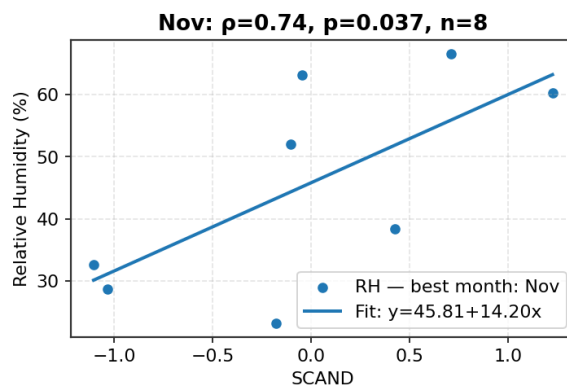
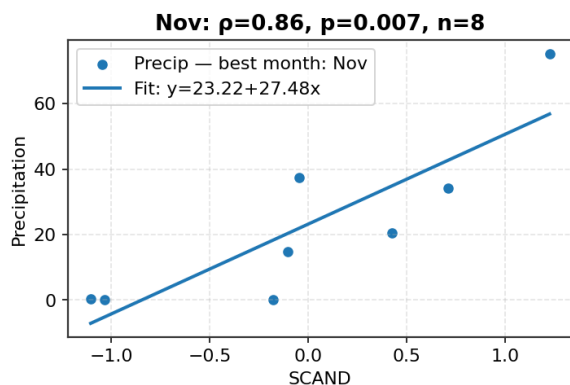
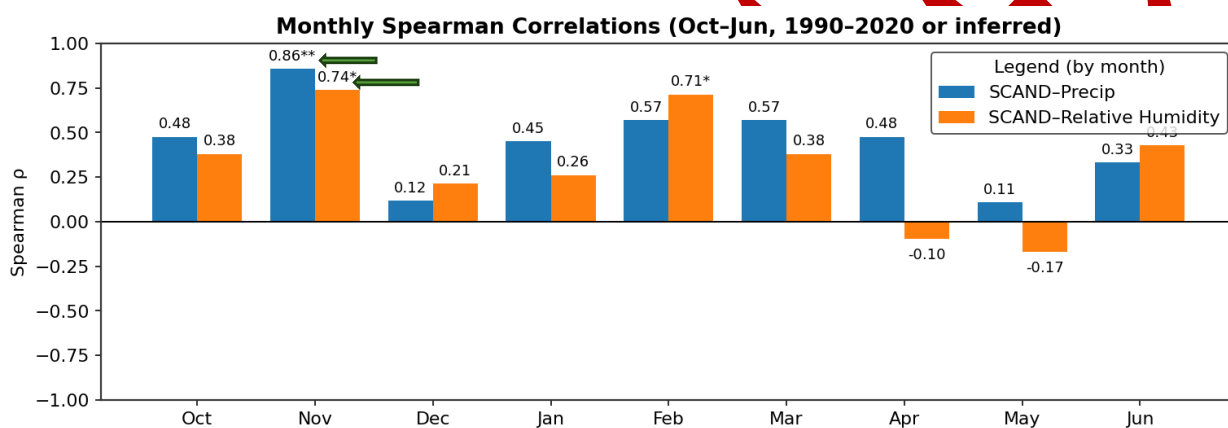
جدول ۲: آنالیز آماری مولفه‌های هواشناسی با شاخص اسکاند با استفاده از روش P.C.A

Ns=nonsense*

Station	Correlation with Index	SD	Explained Variance	RMSE	P-value
Abadan (Hum)	-۰/۳۹	۱۶/۳۷	-۰/۶۸	۴/۱۲	-۰/۰۳۴
Abadan (Rain)	-۰/۳۳	۱۳/۵۲	-۰/۶۸	۵/۲۲	-۰/۰۳۴
Arak (Hum)	-۰/۳۴	۱۷/۷۸	-۰/۵۵	۴/۲۳	-۰/۰۰۰
Arak (Rain)	-۰/۲۰	۱۲/۴۲	-۰/۵۵	۳/۸۸	-۰/۰۰۰
Birjand (Hum)	-۰/۰۷	۱/۰۰	-۰/۶۲	۴/۸۶	-۰/۵۰۰
Birjand (Rain)	-۰/۲۲	۱/۰۰	-۰/۶۲	۵/۱۲	-۰/۵۰۰
Esfahan (Hum)	-۰/۰۲	-۰/۹۵	-۰/۵۲	۴/۳۵	-۰/۴۳۶
Esfahan (Rain)	-۰/۱۰	-۰/۹۷	-۰/۵۲	۳/۹۹	-۰/۴۳۶
Gazvin (Hum)	-۰/۲۹	۱/۰۰	-۰/۶۷	۴/۲۱	-۰/۵۰۰
Gazvin (Rain)	-۰/۳۷	۱/۰۰	-۰/۶۷	۵/۱۹	-۰/۵۰۰
Golestan (Hum)	-۰/۲۲	۱/۰۰	-۰/۵۰	۴/۶۶	-۰/۵۰۰
Golestan (Rain)	-۰/۱۹	۱/۰۰	-۰/۵۰	۵/۵۵	-۰/۵۰۰
Hamedan (Rain)	-۰/۳۷	۱/۰۰	-۰/۵۷	۵/۵	-۰/۴۹۹
Hamedan (Hum)	-۰/۲۸	-۰/۵۵	-۰/۵۷	۴/۱۶	-۰/۴۹۹
Ilam (Hum)	-۰/۱۹	۱/۰۰	-۰/۶۲	۴/۸۵	-۰/۵۰۰
Ilam (Rain)	-۰/۲۶	۱/۰۰	-۰/۶۲	۳/۷۷	-۰/۵۰۰
Kermanshah (Hum)	-۰/۳۲	۱/۰۰	-۰/۶۱	۴/۲۲	-۰/۵۰۰
Kermanshah (Rain)	-۰/۲۲	۱/۰۰	-۰/۶۱	۵/۱۶	-۰/۵۰۰
Kerman (Hum)	-۰/۴۷	۱/۰۰	-۰/۶۸	۴/۱۲	-۰/۵۰۰
Kerman (Rain)	-۰/۳۹	۱/۰۰	-۰/۶۸	۴/۵۵	-۰/۵۰۰
Kish (Hum)	-۰/۲۷	۱/۰۰	-۰/۴۷	۵/۰۱	-۰/۵۰۰
Kish (Rain)	-۰/۰۳	۱/۰۰	-۰/۴۷	۴/۶۶	-۰/۵۰۰
Mashad (Hum)	-۰/۰۴	۱/۰۰	-۰/۵۵	۳/۹۸	-۰/۵۰۰
Mashad (Rain)	-۰/۲۸	۱/۰۰	-۰/۵۵	۴/۰۲	-۰/۵۰۰
Rasht (Hum)	-۰/۳۸	۶/۵	-۰/۶۷	۳/۹۹	-۰/۰۰۰
Rasht (Rain)	-۰/۴۰	۳/۶	-۰/۶۷	۵/۶۵	-۰/۰۰۰
Sari (Hum)	-۰/۳۱	۱/۰۰	-۰/۶۱	۴/۵۵	-۰/۵۰۰
Sari (Rain)	-۰/۲۶	۱/۰۰	-۰/۶۱	۴/۳۵	-۰/۵۰۰
Sharekord (Hum)	-۰/۰۱	-۰/۹۹	-۰/۵۷	۴/۶۵	-۰/۴۵۹
Sharekord (Rain)	-۰/۱۱	-۰/۹۸	-۰/۵۷	۳/۹۵	-۰/۴۵۹
Shiraz (Hum)	-۰/۱۶	۱/۰۰	-۰/۶۷	۵/۱۵	-۰/۵۰۰
Shiraz (Rain)	-۰/۳۱	۱/۰۰	-۰/۶۷	۴/۴۴	-۰/۵۰۰
Tabriz (Hum)	Ns*	1/00	-۰/۴۰	۴/۵۵	-۰/۵۰۰
Tabriz (Rain)	0/25	1/00	-۰/۴۰	۵/۴۷	-۰/۵۰۰
Tehran (Hum)	-۰/۳۵	۱/۰۰	-۰/۶۳	۳/۸۵	-۰/۵۰۰
Tehran (Rain)	-۰/۲۶	۱/۰۰	-۰/۶۳	۵/۱۲	-۰/۵۰۰
Semnan (Hum)	-۰/۱۳	۱/۰۰	-۰/۵۷	۴/۱۳	-۰/۵۰۰
Semnan (Rain)	-۰/۳۴	۱/۰۰	-۰/۵۷	۳/۷۷	-۰/۵۰۰
Yazd (Hum)	Ns*	۱/۰۰	-۰/۵۸	۴/۰۸	-۰/۵۰۰
Yazd (Rain)	-۰/۲۷	۱/۰۰	-۰/۵۸	۳/۶۶	-۰/۵۰۰
Zahedan (Hum)	-۰/۱۷	۱/۰۰	-۰/۶۲	۴/۳۵	-۰/۵۰۰
Zahedan (Rain)	-۰/۳۰	۱/۰۰	-۰/۶۲	۵/۳۳	-۰/۵۰۰



شکل ۶: نمودار اسکری پلات آنالیز مولفه اصلی

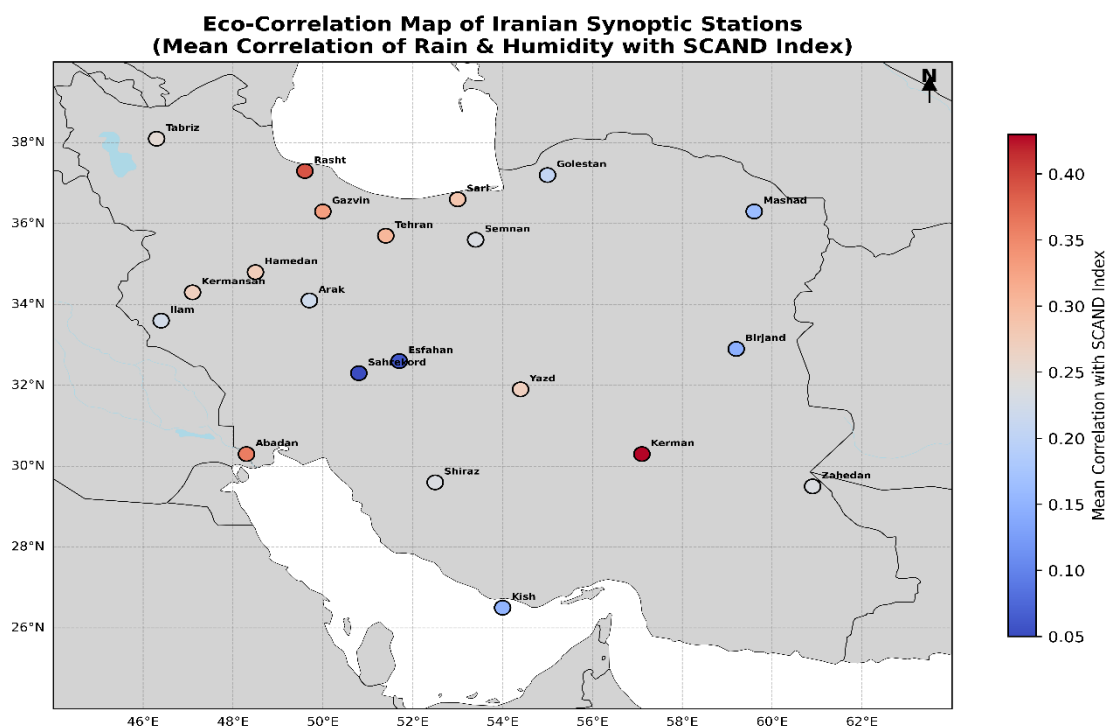


شکل ۷: نمودار بیشترین درصد همبستگی در بازه آماری پژوهش (۱۹۹۰-۲۰۲۰)

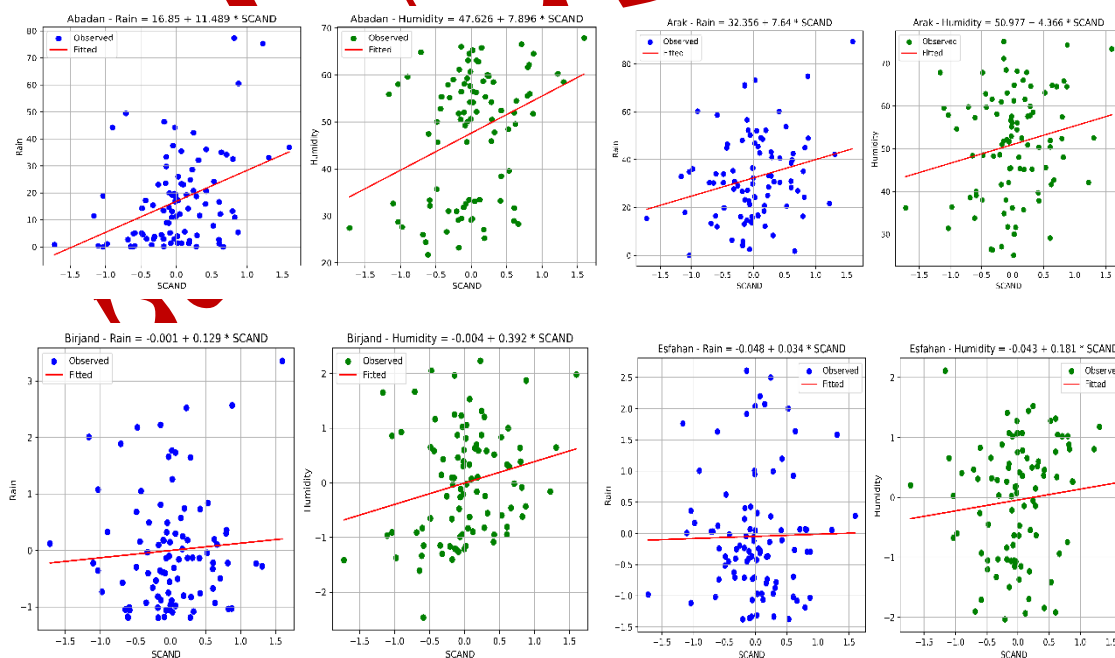
در شکل ۶ نمودار اسکری پلات آنالیز مولفه اصلی با میران همبستگی اسپیرمن نشان داده شده است. «PCA بر ماتریس همبستگی اسپیرمن ۲۱ ایستگاه انجام شد. اسکری پلات کاهش تند از PC1 به PC2 را نشان داده است نقطه اوج در PC2 است. بر اساس قاعده کایزر (مقدار ویژه بزرگتر از یک) سه مؤلفه نخست نگه داشته شدند. برای ارزیابی معناداری، Parallel Analysis با ۱۰۰۰ تکرار و $\alpha = 0/05$ انجام شد. در شکل ۷ روش: ضریب اسپیرمن (ρ) برای هر ماه محاسبه شده (غیرپارامتریک و مقاوم به ناهنجاری‌ها). علامت‌ها معمولاً به صورت ** ($p < 0/01$) و * ($p < 0/05$) معنی دارند. بررسی همبستگی‌های ماهانه اسپیرمن بین شاخص اسکاندیناوی (SCAND) و بارش/رطوبت نسبی نشان داد که نوامبر ماه شاخص از نظر هر دو متغیر است. همبستگی شاخص برابر ۰/۸۶ در سطح معنی داری است. ($\alpha = 0/01$). در رطوبت نسبی در همین سطح معناداری این عدد ۰/۷۴ است. بنابراین در

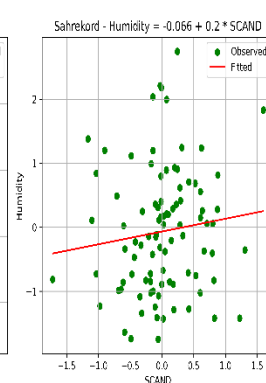
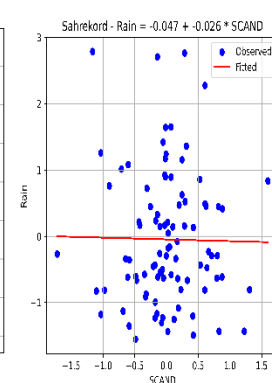
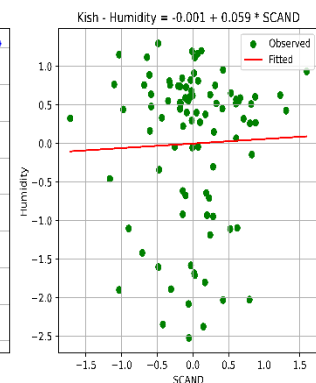
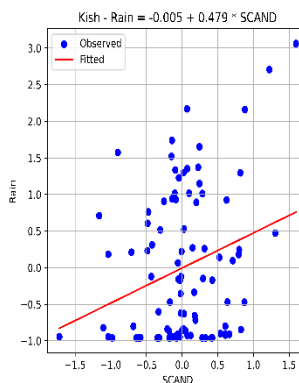
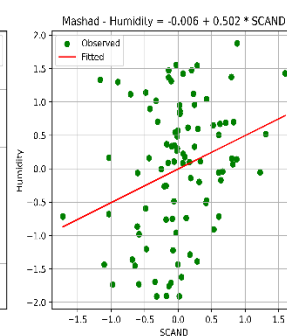
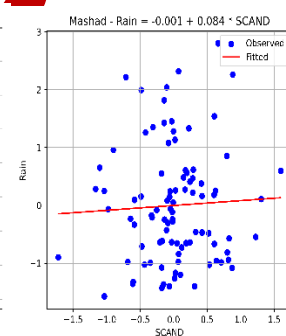
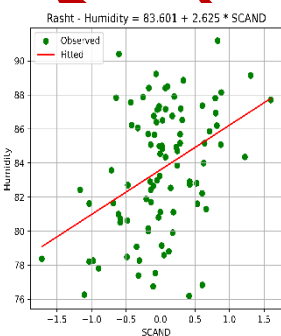
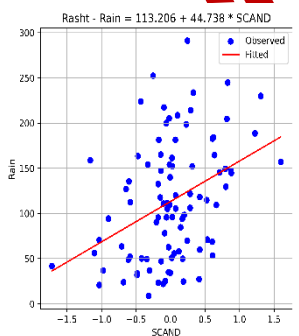
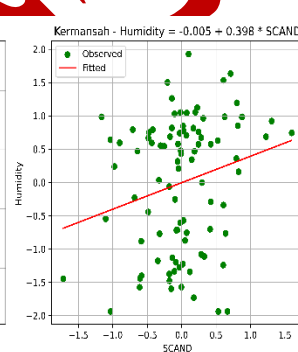
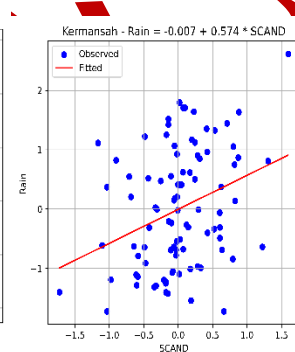
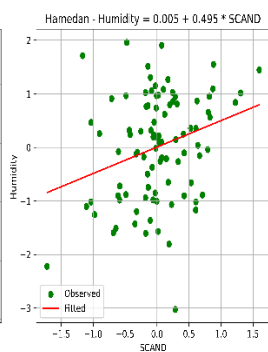
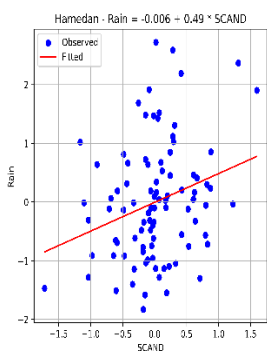
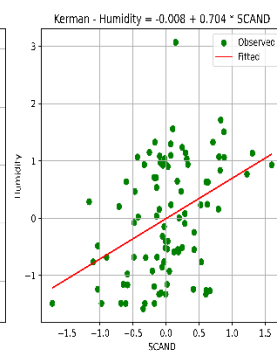
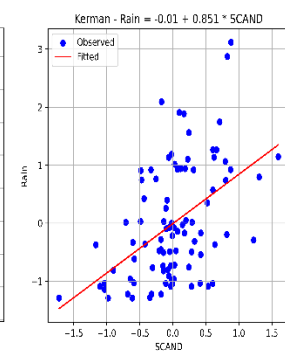
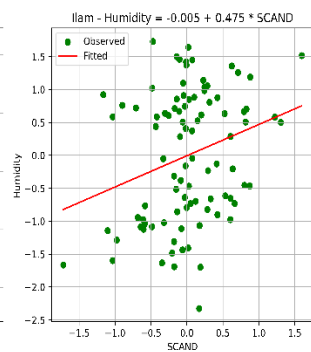
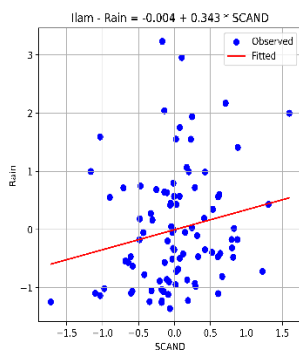
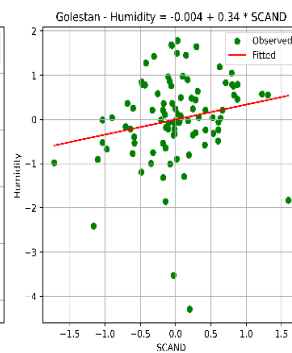
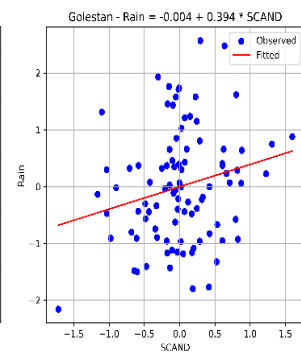
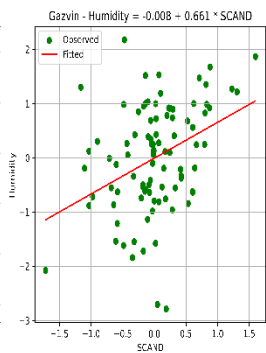
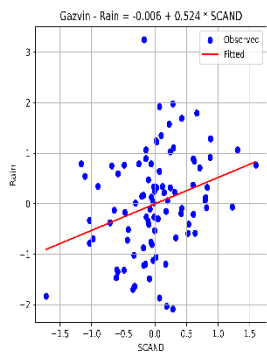
نوامبر فاز مثبت به عنوان فاز مرطوب‌تر و پربارش شناخته می‌شود. الگوی SCAND+ (بلوکینگ/پشته فشار روی اسکاندیناوی) می‌تواند مسیرهای رطوبتی و گردش مداری را طوری تغییر دهد که در فصل گذار پاییز—به‌ویژه نوامبر—همبستگی قوی‌تری با بارش و RH در ناحیه مورد مطالعه پژوهش ایجاد کند. ضعف ارتباط در ماه می نشان می‌دهد که اثر دور پیوندی در بهار کاهش می‌یابد. بارش و رطوبت نسبی از عوامل حیاتی و تاثیر گذار در زندگی بشر و گیاهان است. در این میان نقش دورپیوندی‌ها انکار ناپذیر است (خدادادی و همکاران، ۱۳۹۲؛ Mahmoudi, et al., 2021). در جدول ۲ آنالیز آماری مولفه‌های هواشناسی با شاخص اسکاندیناوی نمایش داده شده است. نتایج نشان می‌دهد ایستگاه‌هایی مانند کرمان، همدان و مشهد دارای بالاترین همبستگی مثبت هستند. این الگو نشانگر نقش برجسته جریانات جبهه غربی (westerlies) و افزایش نفوذ رطوبت دریای مدیترانه در دوره‌هایی است که شاخص اسکاندیناوی (SCA) و شاخص شمال آتلانتیک (NAO) در فاز مثبت قرار گیرند (Zou, et al., 2021). در این شرایط، موج سینوپتیکی از طریق ایران حرکت کرده و بارش و رطوبت را تقویت می‌کند (Sabziparvar et al., 2024; Dehghani et al., 2020). همچنین در شکل ۸ نمودار همبستگی شاخص اسکاند با ایستگاه‌های مورد مطالعه نمایش داده شده است. ملاحظه می‌شود بیشتر ایستگاه‌های نیمه شمالی درصد همبستگی بالاتری با شاخص تا ایستگاه‌های مرکزی و جنوبی دارند. آزمون در سطح معنی داری $\alpha=0/05$ انجام شده است. مطالعات نشان می‌دهد افزون بر شاخص منطقه اسکاندیناوی، الگوی نوسان اطلس شمالی در کنار شاخص منطقه نینو (ONI)، و نوسان شمالگان (AO) بر روی بارش و دمای ایران نقش بسزایی دارند که فاز مثبت شاخص در برهمکنش با پدیده النینو در ناحیه روز گردان (Line of Date) می‌تواند الگوهای بارشی حدی را در منطقه جنوب غرب آسیا و ایران به ارمغان بیاورد (Adnan, et al., 2023). با این حال، در ایستگاه‌هایی مانند تبریز و یزد، به دلیل موقعیت کوهساری پیچیده شامل کوهستان‌های مرتفع و فلات‌های خشک، همبستگی معناداری در سطح معنی داری ذکر شده با الگوهای دورپیوندی مشاهده نشد (ns). این موضوع نشان می‌دهد که عوامل محلی و توپوگرافی خاص منطقه‌ای تأثیر بیشتری نسبت به الگوهای دورپیوندی جهانی در این مناطق دارند (Mofidi, 2022). افزون بر این، گرمایش جهانی باعث تشدید تبخیر از سطح خاک و بروز الگوهای نامنظم در توزیع بارش‌ها شده است. هرچند دوره‌های مثبت الگوی اسکاندیناوی (+SCA) همچنان در شکل‌گیری بارش‌های گسترده نقش دارند، اما افزایش دمای سطح زمین و افزایش بسامد رویدادهای شدید آب‌وهوایی، نظم پیشین این الگوها را تحت تأثیر قرار داده‌اند که در شرق اروپا نیز این مهم نمود بارز دارد (Vyshkvarkova, E., 2022). تحلیل توزیع همبستگی نشان می‌دهد که پیچیدگی تعاملات جو در حوضه هواشناسی ایران بیشتر است، چرا که قرار گیری در عرض ۳۰ درجه (عرض جنب حاره) موقعیت کشور ایران و منطقه خاورمیانه را متمایز با برخی نقاط کرده است. تغییرات در موج‌های راسبی باعث تغییر در موقعیت و شدت رودها می‌گردد، همین امر سبب خواهد شد نیمه شمالی ایران نسبت به نیمه جنوبی بیشتر تحت تأثیر موج‌های راسبی بین منطقه‌ای قرار گیرند (Stankūnavičius, et al., 2017). مطالعات اخیر نشان داده است که سرعت بالاتر در رودباد ۳۰۰ هکتو پاسکال در تسریع تقارب رطوبتی و ناپایداری‌های دینامیکی موثر نقش بسزایی دارد. در مورد تشکیل ناوه و پشته (Ridge, trough) و تاثیر جریانات موجی، چینش جریانات نصف النهاری (جریاناتی که سبب ایجاد بارش در هر ناحیه‌ی بر روی فلات ایران مستقر خواهد شد و امکان صعود هوای گرم و مرطوب را در فلات ایران فراهم خواهد کرد). به این ترتیب با توجه به قرار گیری در جانب راست امواج راسبی که فرصت نفوذ به منطقه را پیدا خواهند کرد ایستگاه‌های واقع در نیمه‌شمالی کشور مثل رشت، رامسر، قزوین، تهران، تبریز و مشهد در معرض بیشتری نسبت به ایستگاه‌های همچون اصفهان، یزد، سمنان، ایلام، کیش و زاهدان قرار می‌گیرند و به همین دلیل تاثیر این موج‌ها در آن مناطق بیشتر از سایر نقاط است هر چند استثنائاتی هم وجود دارد از جمله در آبادان و کرمان که می‌تواند دلایلی از قبیل کوهساری، فشار سطحی و بازخوردهای رطوبتی سطح زمین در فصل زمستان را ذکر کرد. برهمکنش با الگوهای منطقه نیز از دیگر دلایل می‌توان نام برد. هم‌فازی SCAND با الگوهایی مانند EA/WR، NAO، پرفشار سیبری یا تقویت ناوه در مدیترانه، اثر ترکیبی می‌سازد. وقتی ضمن فاز مثبت نوسان چند دهه‌ی آرام (Pacific Decadal Oscillation) در کنار فاز گرم ENSO همراه با فاز مثبت اسکاندیناوی سبب تقویت جبهه آلوسین در منطقه گرینلند خواهد شد و سبب می‌شود جت استریم یا همان جریانات بارشی ضمن تضعیف رودباد جنب حاره سبب تقویت رود باد جبهه قطبی شود و این منجر به افزایش ناپایداری بیشتر در نیمه شمالی نسبت

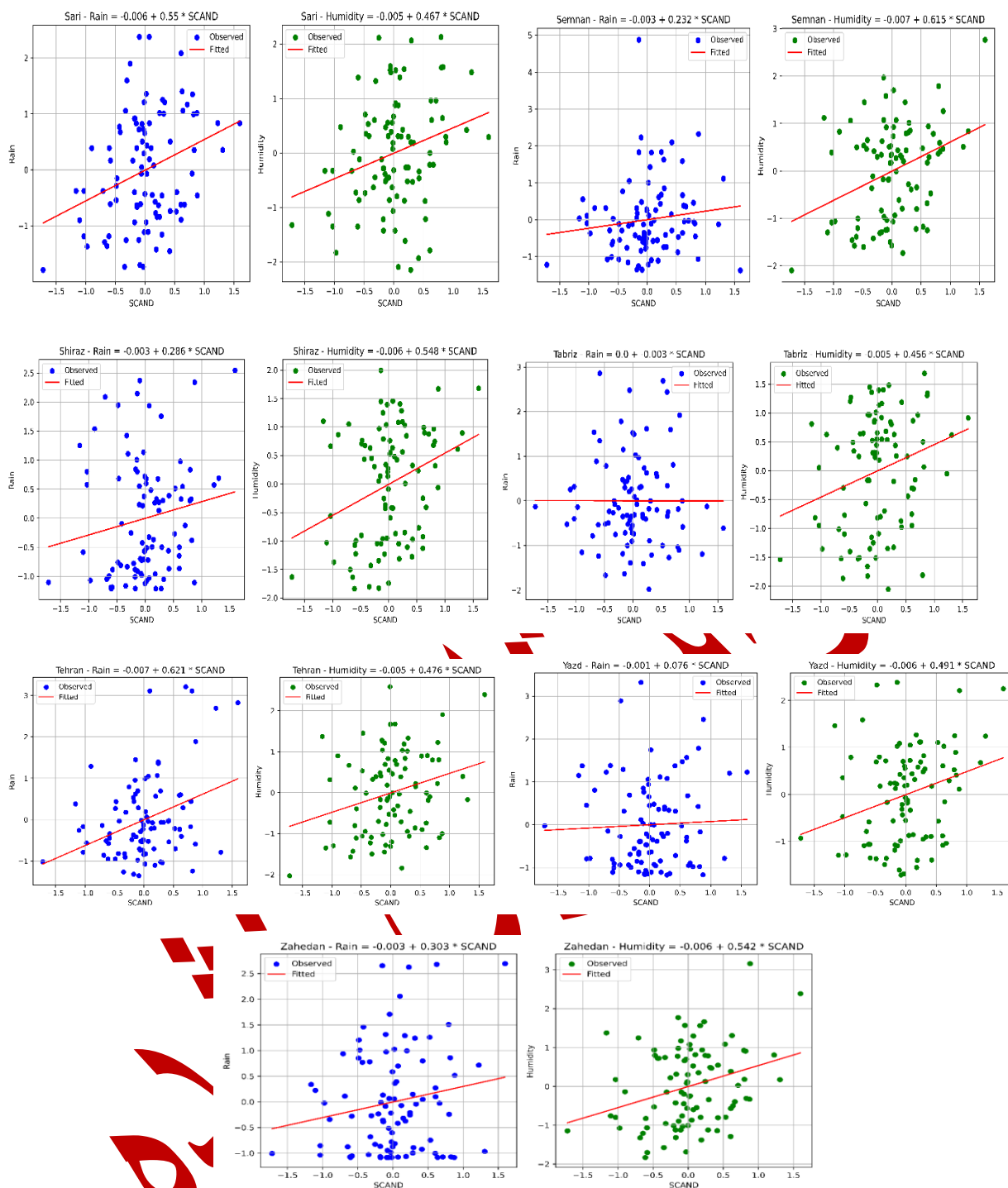
به نیمه جنوبی خواهد شد. البته استقرار پرفشار آזור و هم پیوندی آن با پر ارتفاع القابی نیز مزید بر علت خواهد بود تا تأثیرات این برهمکنش بر روی نیمه شمالی نسبت به نیمه جنوبی بیشتر باشد. رطوبت منتهی الیه شرق مدیترانه و دریای سیاه در این سازو کار نقش بارزی دارد که به طور مثال در ایستگاه سینوپتیک رشت میزان همبستگی شاخص با مولفه بارش ۰/۴۰ است که خود گواه این مدعاست که در جدول ۲ و شکل ۷ نمایش داده شده است (Neyestani, et al., 2022). در شکل ۸ نمودارهای رگرسیونی هر ایستگاه با شاخص اسکاندیناوی و دو مولفه هواشناسی پس از آنالیز مولفه‌های اصلی نمایش داده شده است.



شکل ۸: میانگین همبستگی شاخص اسکاندیناوی با ایستگاه.







شکل 8: نمودار رگرسیون مولفه‌های هواشناسی با شاخص اسکاندیناوی پس از آنالیز p.c.a

در شکل ۸ آنالیز رگرسیونی متغیرهای هواشناسی با شاخص اسکاند پس از آنالیز مولفه‌های اصلی نمایش داده شده است. در ایستگاه زاهدان که همبستگی ۰/۳۰ را با متغیر بارش داشته و با رطوبت ۰/۱۷ نشان می‌دهد (جدول ۲)، الگوی اسکاند در برخی موارد به شرط محیا بودن شرایط می‌تواند تا مناطق جنوب شرقی ایران نیز نفوذ کند. برهمکنش و تعاملات با دورپیوندیهای اطلس شمالی، شاخص شمالگان، شاخص زیر فصلی مادن-جولیان، دوقطبی اقیانوس هند نقش مضاعف را در نفوذ و تقویت رطوبت توسط شاخص اسکاند ایفا می‌کنند. این منطقه دارای رژیم بارشی مدیترانه‌ای است و در برخی از سالها که مانسون هند فراتر از حدنرمال است می‌تواند تاثیر بسزایی را داشته باشد، خصوصا در سال‌هایی که شاخص کلان مقیاس چند دهه‌ی اطلس (AMO) در فاز مثبت فرین باشد به این امر

کمک شایانی خواهد کرد. در ایستگاه قزوین واقع در دامنه‌های البرز غربی شیب مثبت در متغیر رطوبت نسبی بیشتر از بارش است و نشان دهنده آن است که همبستگی مثبت داشته و جریانات و امواج راسبی در این منطقه تاثیر بسزایی دارند. در گلستان نیز مقدار شیب در بارش بیشتر از رطوبت نسبی است. این عدد در نمودار $+0/394$ است که نشان دهنده همبستگی مثبت با شاخص را دارد و عکس قضیه نیز صادق است. از نتایج جالب توجه در استان کرمان رقم خورده است شیب خط در مولفه بارش $+0/851$ و در مولفه رطوبت نسبی $+0/704$ است، این منطقه دارای تنوع آب و هوایی بسیار جالبی است، شمال منطقه آب و هوای کوهستانی دارد و جنوب آن آب و هوای مانسونی است در شرق آب و هوای بیابانی حکمفرماست و غرب استان نیز آب و هوای مدیترانه‌ای دارد، اما مشاهده می‌شود که تاثیر شاخص اسکاند در این منطقه بالاست، که نیازمند تعاملات بسیاری دیگر از دورپیوندی‌های مهم از جمله PDO و نوسان اطلس شمالی و انسو و شاخص‌های اقیانوس هند است تا بتواند امواج راسبی حاصل از تغییرات فاز مثبت اسکاند به این ناحیه نفوذ کند و رطوبت و بارش را برای منطقه به ارمغان بیاورد. در کرمانشاه شیب خط در بارش بیشتر از رطوبت نسبی است و همبستگی مثبت به چشم می‌خورد، تعامل فاز مثبت اسکاند با نوسان اطلس شمالی از موثرترین فازهای دو شاخص در افزایش نقش بارش در این منطقه است. در مشهد نیز شیب خط در رطوبت نسبی بیانگر تاثیر فاز مثبت شاخص اسکاندیناوی در افزایش مقدار رطوبت نسبی در این منطقه است. ساری نیز در هر دو مولفه شیب خط مثبت است و همبستگی مثبت را با شاخص مذکور دارد سایر نتایج در شکل ۸ نشان داده شده است.

نتیجه گیری و پیشنهادات

با توجه به تغییر اقلیم و یکی از جلوه‌های آن گرمایش جهانی بررسی اثرات شاخص‌های دور پیوندی بر روی متغیرهای هواشناسی در کشور ایران بیش از پیش حائز اهمیت می‌باشد. در این پژوهش ۲۱ ایستگاه سینوپتیک کشور از نقاط مختلف کشور ایران با تنوع آب و هوایی مختلف انتخاب و اثرات شاخص کلان مقیاس منطقه اسکاندیناوی بر روی بارش و رطوبت نسبی مناطق انتخاب شده مورد بحث و بررسی قرار گرفت. بیشترین درصد همبستگی از ایستگاه‌های نیمه شمالی مشاهده شد. در مؤلفه بارش ایستگاه رشت با $r=0/40$ و در مؤلفه رطوبت نسبی ایستگاه کرمان با $r=0/47$ بیشترین همبستگی را با شاخص منطقه اسکاندیناوی نشان دادند. (هر دو معنادار $\alpha=0/05$)، از علت‌های مختلف آن من جمله نحوه قرار گیری رودباد جنب حاره و رودباد جبهه قطبی و چینش الگوهای فشاری و تعاملات دیگر شاخص‌های بزرگ مقیاس در نیمکره شمالی را می‌توان نام برد. از نتایج جالب توجه در استان کرمان رقم خورده است، شیب خط در مولفه بارش $+0/851$ و در مولفه رطوبت نسبی $+0/704$ است، این منطقه دارای تنوع آب و هوایی بسیار جالبی است، شمال منطقه آب و هوای کوهستانی دارد و جنوب آن آب و هوای مانسونی است در شرق آب و هوای بیابانی حکمفرماست و غرب استان نیز آب و هوای مدیترانه‌ای دارد، اما مشاهده می‌شود که تاثیر شاخص اسکاند در این منطقه بالاست، که نیازمند تعاملات بسیاری دیگر از دورپیوندی‌های دیگر از جمله شاخص کلان مقیاس چند دهه‌ای اطلس، الگوی نوسان شمالگان، ماندن و جولیان و سایر دورپیوندی‌های مهم است. شرایط و الگوهای بارش و رطوبت در مجموع برای مناطق واقع در نیمه شمالی بهتر از نیمه جنوبی کشور بوده است، هر چند در ایستگاه یزد نیز عکس این موضوع در پژوهش اثبات شده است. از دلایل آن می‌توان کوهساری، تقویت باروکلینیکی (فشارناورد) و هم‌نشینی نفوذ سرد با شار رطوبتی گرم و همچنین، یزد در پشت به باد زاگرس است؛ عبور سامانه‌ها اگر کمی شرقی‌تر/جنوبی‌تر شود، بارش‌های حدی را در مرکز فلات ممکن می‌کند. به همین دلیل جابجایی کوچک در مسیر سامانه که با SCAND رابطه دارد، می‌تواند اثر نسبتاً بزرگی در یزد ایجاد کند. کویری بودن منطقه با توجه به اهمیت این شاخص کلان مقیاس و تاثیر آن بر الگوهای آب و هوایی نیز مزید بر علت است. برای مناطق نیمکره شمالی و از جمله دو سوم شمالی کشور ایران پیشنهاد می‌شود در پیش بینی‌های فصلی و بلند مدت سازمان هواشناسی کشور برهمکنش شاخص‌های اسکاندیناوی با نوسان اطلس شمالی و انسو مد نظر قرار گیرد، همچنین در مدیریت منابع آب برای مناطق کرمان و اصفهان برنامه ریزی منابع آب منطقه‌ای توصیه می‌گردد. با توجه به اهمیت موضوع تعیین دوره‌های بارش سنگین و یا خشکسالی‌های متوسط تا شدید با برهمکنش $ENSO+$ و $NAO-$ (فاز مثبت و منفی هر دو شاخص، معمولاً ترکیب فاز مثبت دو

شاخص سبب ترسالی و عکس قضیه نیز صادق است)، بهتر است این دوره‌ها برای کاهش خسارت به محصولات کشاورزی مشخص گردند. با توجه به قرارگیری ایران در عرض ۳۰ درجه (عرض جنب حاره)، رصد الگوهای آب و هوایی کلان مقیاس اهمیت خاصی دارد که در پیش بینهای میان مدت و بلند مدت بایستی این موضوع جایگاه ویژه‌ای داشته باشد.

منابع فارسی

- خدادادی، محمد مهدی، آزادی، مجید، و قائمی، هوشنگ. (۱۳۹۲). نقش سیستم های همدیدی گذرا در انتقال رطوبت فصلی در ایران مجله تحقیقات آب و هوا، ۱۳۹۲ (۱۵)، ۴۷-۶۲.
- رضیعی، طیب، ایزابلا بوردی، ژائو آ سانتوس و عباس مفیدی (۱۳۹۲). «انواع گردش جوی و بارش‌های روزانه زمستانی در ایران». مجله بین المللی اقلیم شناسی ۳۳، شماره ۹.
- 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، پ. ۴ (۲۰۱۶): ۴۹-۶۱.

References

- Adnan Abid, M., Kucharski, F., Molteni, F., & Almazroui, M. (2023). Predictability of Indian Ocean precipitation... *Nj Climate and Atmospheric Science*, 6, 17. <https://doi.org/10.1039/s41612-023-00328-z>
- Alijani, B., Ahmadi, F., & Niazi, Y. (2023). Synoptic analysis of heavy winter precipitation events in northwestern Iran: Role of SCAND pattern. *International Journal of Chmatology*, 43(2), 899–912. <https://doi.org/10.1002/joc.7901>.
- Beghin, P., Charbit, S., Dumas, C., Kageyama, M., & Ritz, C. (2015). How might the North American ice sheet influence the northwestern Eurasian climate. *Climate of the Past*, 11(10), 1467-1490 <https://doi.org/10.5194/cp-11-1467-2015>.
- Bueh, C., & Nakamura, H. (2007). Scandinavian pattern and its climatic impact. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society: A journal of the atmospheric sciences, applied meteorology and physical oceanography*, 133(629), 2117-2131. <https://doi.org/10.1002/qj.173>
- Cai, W., Santoso, A., Collins, M., Dewitte, B., Karamperidou, C., Kug, J. S., ... & Zhong, W. (2021). Changing El Niño–Southern oscillation in a warming climate. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2(9), 628-644. <https://doi.org/10.1038/s43017-021-00199-z>.
- an
- Comas-Bru, L., & Hernández, A. (2018). Reconciling North Atlantic climate models: revised monthly indices for the East Atlantic and the Scandinavian patterns beyond the 20th century. *Earth System Science Data*, 10(4), 2329-2344 <https://doi.org/10.5194/essd-10-2329-2018>.
- De Beurs, K. M., Henebry, G. M., Owsley, B. C., & Sokolik, I. N. (2018). Large scale climate oscillation impacts on temperature, precipitation and land surface phenology in Central Asia. *Environmental Research Letters*, 13(6), 065018 <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aac4d0>.

- Dehghani, M., Salehi, S., Mosavi, A., Nabipour, N., & Shamshirband, S. (2020). Spatial analysis of seasonal precipitation... *arXiv:2001.09757*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2001.09757>
- Drobyshev, I., Bergeron, Y., De Vernal, A., Moberg, A., Ali, A. A., & Niklasson, M. (2016). Atlantic SSTs control regime shifts in forest fire activity of Northern Scandinavia. *Sci Rep* 6: 22532. <https://doi.org/10.1038/srep22532>
- Fatemi, Mehran. (2016). Spatial analysis and investigation of tele-connection patterns with drought in central Iran. *Earth and Space Physics*, 42(4), 49-61(In Persian).
- Fereday, D. R., Knight, J. R., Scaife, A. A., & Arribas, A. (2020). Atmospheric circulation patterns associated with regional climate extremes. *Climate Dynamics*, 55(1), 187–205. <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05226-1>
- Ghanghermeh, A., Roshan, G., & Al-Yahyai, S. (2015). The influence of Atlantic-Eurasian teleconnection patterns on temperature regimes in South Caspian Sea coastal areas: a study of Golestan Province, North Iran. *Pollution*, 1(1), 67-83
- https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/scand_map.shtml.
- Irannezhad, M., Marttila, H., & Kløve, B. (2014). Long-term variations and trends in precipitation in Finland. *International Journal of Climatology*, 34(10), 3139-3153. <https://doi.org/10.1002/joc.3902/>.
- Jaagus, J., Briede, A., Rimkus, E., & Remm, K. (2010). Precipitation pattern in the Baltic countries under the influence of large-scale atmospheric circulation and local landscape factors. *INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY*. 30: 705-720 (2010). <https://doi.org/10.1002/joc.1929>.
- Khodadi, Azadi, & Ghaemi. (2013). The role of transient synoptic systems in seasonal moisture transport over Iran. *Climatology Research*, 1392(15), 47-62(In Persian).
- Kang, W., Yang, S., & Lin, Z. (2019). Contribution of large-scale circulation anomalies to Eurasian climate variability. *Climate Dynamics*, 52(3-4), 1943–1961. <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4261-2>
- Lee, S., Park, T., & Kug, J. S. (2018). Impact of teleconnection patterns on wintertime extreme events over Eurasia. *Environmental Research Letters*, 13(12), 124023. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaed34>
- Maher, N., Lehner, F., & Marotzke, J (2020) Quantifying the role of internal variability in the temperature we expect to observe in the coming decades. *Environmental Research Letters*, 155 054014. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab7d02>
- Mahmoudi, P., Ghaemi, A., Rigi, A., & Amir Jahanshahi, S. M. (۲۰۲۱). Retracted article: recommendations for modifying the standardized precipitation index (SPI) for drought monitoring in arid and semi-arid regions. *Water resources management*, ۳۵(۱۰), ۳۲۷۵-۳۲۵۳. <https://doi.org/10.1007/s11269-021-02891-7>.
- Mofidi, A. (2022). The analysis of summertime atmospheric circulation over Iran... *arXiv:2208.05965*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2208.05965>
- Nazemosadat, M. J., Samani, N., Barry, D. A., & Molaii Niko, M. (2006). ENSO forcing on climate change in Iran: precipitation analysis. *Iranian Journal of Science and Technology, Transaction B: Engineering*, 30(ARTICLE), 555-565
- Neyestani, A., Karami, K., & Gholami, S. (2022). Exploring the possible linkage between the precipitation and temperature over Iran and their association with the large-scale circulations: Cumulative spectral power and wavelet coherence approaches. *Atmospheric Research*, 274, 106187. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2022.106187>.
- Nagy, T., Pongrácz, R., & Bartholy, J. (2021). Evaluation of atmospheric blocking over Europe and its impact on temperature extremes. *Theoretical and Applied Climatology*, 145(1), 401–414. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03600-3>.
- Pavlova, T., Demina, I., & Polyakova, I. (2022). Nonlinear interaction between Arctic and mid-latitude teleconnections in wintertime Eurasia. *Atmospheric Research*, 278, 106360 <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2022.106360>
- Raziei, T., Bordi, I., Santos, J. A., & Mofidi, A. (2013). Atmospheric circulation types and winter daily precipitation in Iran. *International Journal of Climatology*, 33(9). <https://doi.org/10.1002/joc.3596> (In Persian).

Rousta, I., Javadizadeh, F., Dargahian, F., Olafsson, H., Shiri-Karimvandi, A., Vahedinejad, S. H., ... & Asadolahi, A. (2018). Investigation of vorticity during prevalent winter precipitation in Iran. *Advances in Meteorology*, 2018(1), 6941501. <https://doi.org/10.1155/2018/6941501>.

Sabziparvar, A. A., Norouzi, A., & Ghasemian, S. (2024). Influence of the Scandinavian Pattern on winter precipitation in Iran... *Adv. Atmos. Sci.* <https://doi.org/10.1007/s00376-024-3112-3>.

Salinger, M. J., Stigter, C. J., & Das, H. P. (2000). Agrometeorological adaptation strategies to increasing climate variability and climate change. *Agricultural and Forest Meteorology*, 103(1-2), 167-184. [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(00\)00110-6](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(00)00110-6)

Skjelvåg, A. O. (1998). Climatic conditions for crop production in Nordic countries. *Agricultural and Food Science*, 7(2), 149-160.

Stankūnavičius, G., Basharin, D., Skorupskas, R., & Vivaldo, G. (2017). Euro-Atlantic blocking events and their impact on surface air temperature and precipitation over the European region in the 20th century. *Climate Research*, 71(3), 203-218. <https://doi.org/10.3354/cr01438>.

Tuel, A., & Eltahir, E. A. B. (2022). Large-scale climate controls on drought in the Middle East. *Journal of Climate*, 35(1), 215–232. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-21-0315.1>.

van der Wiel, K., & Bintanja, R. (2021). Future north European precipitation extremes linked to Scandinavian atmospheric patterns. *Environmental Research Letters*, 16(8), 084034. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac11a2>.

Vyshkvarkova, E., & Sukhonos, O. (2022). Compound Extremes of Air Temperature and Precipitation in Eastern Europe. *Climate*, 10, 133.

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>

Zou, L., Cao, S., Zhu, Z., & Sanchez-Azofeifa, A. (2021). Assessment of the response of tropical dry forests to El Niño southern oscillation. *Ecological Indicators*, 133, 108390. <https://doi.org/10.5555/20220447799>.

Zveryaev, I. I., & Allan, R. P. (2010). Summertime precipitation variability over Europe and its links to atmospheric dynamics and evaporation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 115(D12) <https://doi.org/10.1029/2008JD011213>.

Zhang, X., Aguilar, E., Sensoy, S., Melkonyan, H., Tagiyeva, U., Ahmed, N., ... & Wallis, T. (2005). Trends in Middle East climate extreme indices from 1950 to 2003. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 110(D22). <https://doi.org/10.1029/2005JD006181>.