



The multiscale relationship between monthly temperature variations in Iraq and the north Atlantic oscillation using MODWT

Khadir Mizhar Sajit¹, Hamid Mirhashemi² , Dairush Yarahmadi³

1. Department of Geographical, Faculty of Literature and Humanities, Lorestan University, Khorramabad, Iran. Email:

khdyrmzhr436@gmail.com

2. Corresponding author, Department of Geographical, Faculty of Literature and Humanities, Lorestan University, Khorramabad, Iran. Email:

mirhashemi.h@lu.ac.ir

3. Department of Geographical, Faculty of Literature and Humanities, Lorestan University, Khorramabad, Iran. Email: d.yarahmadi@gmail.com

ARTICLE INFO

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 13 August 2025;

Received in revised form: 23 August 2025;

Accepted: 13 October 2025

Available online 07

December 2025

Keywords:

Iraq, temperature, composite maps, jet stream, NAO phases.

ABSTRACT

Objective: Teleconnection patterns, such as the North Atlantic Oscillation (NAO), are considered one of the most important teleconnection patterns in the Northern Hemisphere, having widespread effects on atmospheric systems and the climate of various regions. For this purpose, this study examined the relationship between monthly temperature fluctuations at stations in Iraq and the North Atlantic Oscillation (NAO).

Method: For this purpose, Maximum Overlap Discrete Wavelet Transform (MODWT) and Continuous Wavelet Transform were used to discover the multi-scale relationship between these two variables.

Results: The results of this analysis showed that the relationship between the temperature of all studied stations and the NAO is inverse, and the correlation between them is also inverse on monthly and multi-year time scales. Thus, with the occurrence of the negative NAO phase, stations in Iraq experience an increase in monthly temperature, with the strongest relationship between them occurring at the third wavelet frequency, i.e., the multi-seasonal and annual scale. Synoptic analysis of composite maps of 500 hPa geopotential height and the jet stream pattern at 250 hPa showed that atmospheric thickness and temperature increased in the negative phase compared to the positive phase, and during the negative phase, due to the placement of a trough in the eastern Mediterranean and a ridge in western Iran, Iraq is under the influence of warm southwesterly flows, whereas cold westerly flows prevail in the positive phase.

Conclusion: The analyses revealed that the position and intensity of the jet stream undergo significant changes in different NAO phases; thus, concurrent with the negative NAO phase, while the jet stream in the Middle East region is significantly weakened, it is positioned further north compared to the positive phase.

1. Introduction

The North Atlantic Oscillation (NAO) is one of the most influential large-scale modes of atmospheric variability, exerting significant impacts on the climate systems of various regions including Europe, the Middle East, and parts of Asia (Hurrell, 1995; Trigo, Osborn, & Corte-Real, 2002; Wallace & Gutzler, 1981). This teleconnection pattern is

defined by the fluctuations in the difference in sea-level pressure between the Icelandic Low and the Azores High. Depending on whether this pressure gradient is stronger or weaker than normal, the NAO oscillates between two distinct phases—positive and negative—each associated with pronounced and spatially extensive changes in temperature, precipitation, and wind circulation

Cite this article Mizhar Sajit, K., Mirhashemi, H., Yarahmadi, D. (2025). The multiscale relationship between monthly temperature variations in Iraq and the north Atlantic oscillation using MODWT. *Journal of Geographical Studies of Mountainous Areas*, 6 (23), 93-110. <http://doi.org/10.22034/gsma.2025.2068828.1113>



© Author(s) retain the copyright and full publishing rights.

Publisher: Lorestan University.



DOI: <http://doi.org/10.22034/gsma.2025.2068828.1113>

patterns. In its positive phase, the enhanced pressure gradient strengthens the westerlies, directing milder maritime air masses toward northern Europe while diverting storm tracks away from southern regions. Conversely, during its negative phase, a weakened pressure gradient allows cold Arctic air to penetrate further south, while warmer subtropical air may be advected northward. Such large-scale shifts in atmospheric circulation exert substantial control over seasonal to interannual climate variability. Several studies have documented NAO-related temperature and precipitation anomalies in various parts of the world (Cullen, Kaplan, Arkin, & Demenocal, 2002), but relatively few have addressed its influence on the Middle East, particularly over Iraq. This study seeks to fill that gap by examining the temporal relationship between NAO and surface air temperature in Iraq over a 30-year period, applying advanced wavelet-based analysis techniques to capture both time and frequency domain characteristics.

2. Methodology

Three primary datasets were employed: 1. NAO index – monthly values sourced from established climate data repositories. 2. Surface temperature data – monthly maximum temperatures from 16 synoptic meteorological stations distributed across Iraq, covering January 1990 to December 2020. 3. Upper-air data – monthly geopotential height fields and zonal wind speeds at standard pressure levels, used for circulation analysis. To explore the temporal link between NAO and air temperature over Iraq, the Maximum Overlap Discrete Wavelet Transform (MODWT) with the sym3 wavelet filter was applied to both datasets. The decomposition was performed at six resolution levels. Wavelet variance and wavelet coherence were computed to identify shared periodicities, and multiresolution analysis was used to detect dominant temperature patterns across time scales. Additionally, composite maps of the 500 hPa and 250 hPa levels were generated for different NAO phases to examine large-scale circulation features.

3. Results

The correlation between NAO and maximum temperature across the 16 Iraqi stations was consistently negative, ranging from -0.29 in Mosul to -0.35 in Kirkuk. The most pronounced correlations occurred at the 8–16-month time scale (level 3 of the wavelet decomposition), corresponding to annual and sub-annual variability. This scale accounted for over 70% of the total variance in temperature, indicating its climatic dominance. The reconstructed MRA

components at this scale exhibited strong, regular oscillations that closely mirrored the NAO signal. Positive NAO phases were generally associated with lower-than-average maximum temperatures in Iraq, a result of strengthened westerly flow patterns bringing cooler maritime air and reducing the frequency of warm air intrusions from the southwest. In contrast, negative NAO phases were linked to higher temperatures, attributable to a weakened westerly circulation and a greater incidence of warm southwesterly advection. Composite analysis further supported these findings. During negative NAO phases, the 250 hPa jet stream was displaced southward and eastward over Iraq, altering wind intensity and facilitating the interaction of cold westerlies with warm subtropical flows. This configuration enhanced horizontal temperature gradients and contributed to regional warming. At the 500 hPa level, anomalies were consistent with those at 250 hPa, indicating that changes in upper-level circulation propagate downward, influencing near-surface temperature conditions.

4. Discussion

The observed inverse relationship between NAO and temperature in Iraq aligns with prior studies conducted in the broader Middle East region (Hassan & Al-Asadi, 2023; Khidher & Pilesjö, 2015). The dominance of the annual to sub-annual band in explaining temperature variance suggests that NAO's primary influence occurs on timescales from seasonal to yearly scales. This has important implications for seasonal forecasting, as NAO phase predictions could be used as indicators for temperature anomalies in Iraq. The results also highlight the role of jet stream dynamics in mediating NAO's influence, with shifts in jet stream latitude, intensity, and curvature during different NAO phases altering large-scale thermal advection patterns, storm track positions, and vertical motion fields. These mechanisms are consistent with the findings of Parker et al. (2019) and Hall et al. (2014), which emphasize the importance of upper-level circulation anomalies in explaining surface climate variability.

5. Conclusion

This study confirms that NAO is a key driver of temperature variability in Iraq, with its strongest impact observed at the annual to sub-annual scale. The inverse relationship between NAO and maximum temperature, combined with the high proportion of variance explained at this frequency band, underscores the potential for incorporating NAO indices into regional climate prediction frameworks. The linkage between NAO phase and

jet stream dynamics provides a physical basis for understanding these temperature anomalies.

Author Contributions

In the preparation and writing of this article, all author has contributed equally and jointly. All stages of the research, from study design and data collection to analysis of results and final writing of the article, are the result of collaboration and collective agreement of all authors.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgments.

The present research is the result of the scientific

Ethical Considerations

All authors affirm that this research was conducted in accordance with ethical standards, with no data fabrication, falsification, or plagiarism.

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Conflict of Interest

The author declare no conflict of interest





مطالعات جغرافیایی مناطق کوهستانی

<http://www.gsma.lu.ac.ir>

شاپای الکترونیکی: ۲۷۱۷-۲۳۲۵



رابطه چند مقیاسی بین نوسان‌های ماهانه دمای عراق و نوسان اطللس شمالی (NAO) با کاربرد MODWT

خضیر مزهرساجت^۱، حمید میرهاشمی^۲، داریوش یاراحمدی^۳

۱. گروه جغرافیه، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. رایانامه. khdyrmzhr436@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، گروه جغرافیه، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. رایانامه. mirhashemi.h@lu.ac.ir

۳. گروه جغرافیه، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. رایانامه. d.yarahmadi@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

دریافت مقاله:

۱۴۰۴/۰۵/۲۲

تاریخ تجدیدنظر:

۱۴۰۴/۰۷/۰۱

پذیرش نهایی:

۱۴۰۴/۰۷/۲۱

تاریخ انتشار:

۱۴۰۴/۰۹/۱۶

واژگان کلیدی:

دما، عراق، نقشه ترکیبی،

رودباد.

چکیده

هدف: الگوهای پیوند از دور، همچون نوسان اطللس شمالی (NAO) به عنوان یکی از مهم‌ترین الگوهای پیوند از دور در نیم کره شمالی به شمار می‌رود که اثرات گسترده‌ای بر سامانه‌های جوی و اقلیم مناطق مختلف دارد. بدین منظور در این مطالعه ارتباط بین نوسان‌های دمای ماهانه ایستگاه‌های کشور عراق با نوسان اطللس شمالی (NAO) بررسی شد.

روش: بدین منظور از آنالیز موجک گسسته با پیشینه همپوشانی (MODWT) و آنالیز موجک پیوسته جهت کشف رابطه چند مقیاسی این دو متغیر استفاده شد.

نتایج: نتایج حاصل از این تحلیل نشان داد که رابطه بین دمای تمامی ایستگاه‌های تحت بررسی با NAO به صورت معکوس بوده و ارتباط بین آن‌ها در مقیاس زمانی ماهانه و چند ساله نیز معکوس است. بدین ترتیب که با رخداد فاز منفی NAO، ایستگاه‌های عراق افزایش دمای ماهانه را تجربه می‌کنند در این خصوص بیشترین رابطه بین آن‌ها در سومین فرکانس موجکی یعنی مقیاس چند فصلی و سالانه اتفاق می‌افتد. تحلیل سینوپنیک نقشه‌های ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکل و الگوی رودباد برای تراز ۲۵۰ هکتوپاسکل نشان داد که ضخامت و دمای جو در فاز منفی نسبت به فاز مثبت افزایش داشته و در فاز منفی به سبب قرار گیری ناوه در شرق مدیترانه و پشته در غرب ایران، کشور عراق تحت تاثیر جریان‌های گرم جنوب غربی قرار دارد در صورتی که جریان سرد غربی در فاز مثبت غلبه دارند.

نتیجه‌گیری: تحلیل‌ها نشان داد که موقعیت و شدت رودباد در فازهای متفاوت NAO دستخوش تغییر شدیدی شده‌اند بدین ترتیب مقارن با فاز منفی NAO ضمن اینکه رودباد در منطقه خاورمیانه به شدت ضعیف شده در موقعیت شمالی تری نسبت به فاز مثبت قرار دارد.

۱. مقدمه

آب و هوا تنها تابع هواکره نیست، بلکه واکنشی به ارتباط و جفت‌شدگی بین هواکره، آب‌کره، یخ‌کره، زیست‌کره و سنگ‌کره است. هر یک از این زیرسیستم‌ها ضمن ارتباط

پیچیده‌ای که با همدیگر دارند، دارای حوضه نفوذی در سیستم آب و هوا هستند. چنانکه تغییر در هر کدام از آنها منجر به تغییر در دیگری می‌شود (Bridgman & Oliver, 2014). بنابراین این زیرسیستم‌ها از یک ارتباط درونی و برونی برخوردارند که اندرکنش آنها منتهی به سیستم بزرگ آب و هوا می‌شود. چنانکه

استناد: مزهرساجت، خضیر؛ میرهاشمی، حمید؛ و یاراحمدی، داریوش (۱۴۰۴). رابطه چندمقیاسی بین نوسان‌های ماهانه دمای عراق و نوسان اطللس شمالی

(NAO) با کاربرد MODWT. *مطالعات جغرافیایی مناطق کوهستانی*، ۶ (۲۳)، ۹۳-۱۱۰. <http://doi.org/10.22034/gsma.2025.2068828.1113>

DOI: <http://doi.org/10.22034/gsma.2025.2068828.1113>



DOI: <http://doi.org/10.22034/gsma.2025.2068828.1113>



© نویسنده‌گان.

ناشر: دانشگاه لرستان.

مطالعات مختلف نشان داده‌اند که این الگو می‌تواند به صورت دوره‌ای باعث تغییرات قابل توجهی در دما و سایر عناصر اقلیمی در مناطق مختلف شود (Cullen et al, 2002).

در فاز مثبت NAO، معمولاً جریان‌های غربی در عرض‌های میانی تقویت می‌شوند که منجر به انتقال هوای گرم‌تر و مرطوب‌تر به شمال غرب اروپا و هوای سردتر و خشک‌تر به نواحی مدیترانه‌ای و خاورمیانه می‌شود. در فاز منفی با تضعیف این جریان‌ها و تغییر مسیر آنها، باعث گسترش سرما در مناطق شمالی و افزایش دما و بارش در مناطق جنوبی می‌شود (Hurrell & Deser, 2010; Trigo et al., 2002). مطالعه‌های متعددی به بررسی اثر NAO بر الگوهای دما در مناطق مختلف جهان پرداخته‌اند. برای نمونه، پژوهش‌ها نشان داده‌اند که در فاز منفی NAO، دمای هوا در مناطق جنوب غرب آسیا و مدیترانه شرقی افزایش می‌یابد، در حالی که در فاز مثبت، این مناطق معمولاً شاهد کاهش دما هستند (Cullen et al., 1997; Rodóet al., 2002). همچنین، مشخص شده است که NAO می‌تواند بر شدت و فراوانی امواج سرمایی، دوره‌های خشکسالی و نوسانات دمایی در مقیاس فصلی و بین‌سالانه تأثیرگذار باشد (Jones et al 2003; Trigo et al., 2002). به طور کلی این الگوی نوسانی نه تنها بر شرایط زمستانی اروپا تأثیرگذار است، بلکه آثار آن تا شرق مدیترانه، خاورمیانه و حتی آسیای مرکزی نیز گسترش می‌یابد (Cullen et al., 2002).

تحقیقات متعددی بر اساس تحلیل‌های همبستگی خطی و روش‌های آماری کلاسیک، رابطه بین NAO و تغییرات دما را در مناطق مختلف بررسی کرده‌اند. با این حال، ویژگی‌های ناپایستایی پیچیده دستگاه اقلیم و ماهیت چندمقیاسی داده‌های اقلیمی و به ویژه روابط زمانی - مقیاسی که بین شاخص‌های پیوند از دور و عناصر اقلیمی وجود دارد باعث شده که روش‌های سنتی، توانایی کافی برای آشکارسازی روابط پویا و پیچیده بین متغیرها را نداشته باشند (Labat, 2008). زیرا رابطه بین NAO و متغیرهای اقلیمی ایستا و خطی نبوده بلکه وابسته به مقیاس‌های زمانی و شرایط پس‌زمینه اقلیمی هستند. در این راستا، تحلیل موجک^۳ به‌ویژه موجک گسسته با بیشینه همپوشانی (MODWT)، به عنوان روشی نوین و قدرتمند معرفی شده‌اند که امکان بررسی هم‌زمان روابط زمانی و مقیاسی میان متغیرها را فراهم می‌سازد که امکان شناسایی

نوسانات اقلیمی در مقیاس‌های زمانی مختلف به عنوان پیامد تعاملات پیچیده بین این اجزای مختلف سیستم اقلیم محسوب می‌شوند (Jüling et al, 2020; Stocker, 1996). ازسویی، هوا کره به دلیل خاصیت سیال و پیوسته بودن، افزون بر این که همانند سایر دستگاه‌ها از تغییر دستگاه‌های دیگر متأثر می‌شود بلکه تغییر در بخش کوچکی از آن، از لحاظ مکانی تا فواصل بسیار دور از آن نیز انتقال می‌یابد. همچنین به دلیل خاصیت آشوبناک بودن ممکن است تغییر کوچکی در بخشی از آن منجر به تغییر بزرگی در بخش دیگری از آن شود. به این ترتیب، موضوع پیوند از دور، پاسخی به تشخیص و شناسایی تأثیرات نوسان‌ها در بخشی از هوا به قسمت دیگری از آن است. بدین معنا پیوند از دور جزء جداناپذیری از مطالعه اندرکنش هوا - دریا و فرایندهای آب و هوای کره زمین است. به طور کلی پیوند از دور، نوسانات متغیرهای جوی را مرتبط با نوسانات مراکز عمده فشار می‌داند. بنابراین عبارت پیوند از دور، ارتباط مستقیم یا غیرمستقیم الگوهای گردش جو در فواصل بزرگ بین مناطق ناهم‌جوار را تشریح می‌کند تغییرات گردش‌های جو باعث پیدایش الگوهای هوا و اشکالی از جریان‌های جوی می‌شوند که در مقیاس‌های زمانی متفاوت رخ می‌دهند (Bridgman & Oliver, 2014). به عبارتی الگوی پیوند از دور معرف تغییرات کلانی هستند که در الگوی امواج جوی و رودبادهای رخ می‌دهند و بر الگوی دما، بارش مسیر رگبارها و موقعیت و شدت رودبادهای در قلمروهای وسیع اثر می‌گذارند (Akbari & Masoudian, 2007).

الگوهای پیوند از دور، همچون نوسان اطلس شمالی (NAO)^۱ به عنوان یکی از مهم‌ترین الگوهای پیوند از دور در نیم کره شمالی به شمار می‌رود که اثرات گسترده‌ای بر سامانه‌های جوی و اقلیم مناطق مختلف از جمله اروپا، خاورمیانه، شمال آفریقا و بخش‌هایی از آمریکای شمالی دارد (Hurrell, 1995; Trigo, Osborn, & Corte-Real, 2002; Wallace & Gutzler, 1981). همچنین این الگو به عنوان یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های مؤثر بر تغییرات اقلیمی در مقیاس‌های بین‌سالانه و بین‌دهه‌ای محسوب می‌شود. این الگو بر اساس اختلاف فشار سطح دریا میان کم‌فشار ایسلند و پرفشار آزور تعریف شده و در دو فاز مثبت و منفی ظاهر می‌شود که هر یک با پیامدهای اقلیمی ویژه‌ای همراه هستند.

۳ Wavelet Transform

۱ North Atlantic Oscillation

2 Teleconnection patterns

در این پژوهش از سه دسته داده به شرح ذیل استفاده شد. ۱- داده‌های ماهانه بیشینه دمای سطحی در بازه زمانی ژانویه ۱۹۹۰ تا دسامبر ۲۰۲۰ مربوط به ۱۶ ایستگاه سینوپتیک واقع در کشور عراق ۲- داده‌های ماهانه شاخص NAO از پایگاه داده مرکز ملی اطلاعات محیطی آمریکا (NOAA) یا Climate Prediction Center. ۳- داده‌های ماهانه ارتفاع ژئوتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و سرعت باد مداری و نصف‌النهاری تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال با ۲/۵ درجه قوسی از NCEP/NCAR.

در ادامه، به منظور بررسی رابطه زمانی - مقیاسی بین NAO و دمای سطحی در کشور عراق، از نسخه اصلاح‌شده تبدیلات موجک گسسته (DWT) تحت عنوان تبدیل موجک گسسته با بیشینه همپوشانی (MODWT) استفاده شد. زیرا یکی از محدودیت‌های تبدیل موجک گسسته آن است که تعداد مشاهدات باید مضربی از ۲ باشد. همچنین، تابع تبدیل موجک گسسته نسبت به نقطه شروع سری زمانی حساس است (Lark & Webster, 2001). بر خلاف تبدیل موجک گسسته معمول (DWT)، روش MODWT به دلیل ساختار همپوشانی و حفظ تعداد نمونه‌ها در هر مقیاس، توانایی بیشتری در تحلیل دقیق‌تر سیگنال‌های اقلیمی، به‌ویژه در مقیاس‌های پایین‌فرکانس، دارد. این ویژگی‌ها MODWT را برای تحلیل همبستگی بین NAO و دمای سطحی، به‌ویژه در دوره‌های بلندمدت و غیرایستا و امکان تحلیل بهتر لبه‌ها و مقیاس‌های بزرگ‌تر. بسیار مناسب ساخته است (Kumar & Foufoula, 1997).

از سویی، تبدیل موجک با بیشینه همپوشانی، نسخه اصلاح‌شده تبدیل موجک گسسته است که می‌تواند در مورد سری‌های زمانی با هر تعداد مشاهده بکار می‌رود. برخلاف تبدیل موجک گسسته که پس از هر مرحله از انجام الگوریتم، سری زمانی اصلی به دو سری با طول نصف سری مرحله قبل تقسیم می‌شود، در این تبدیل در هر مرحله اندازه سری جزئیات و سری کلیات برابر با سری اصلی است. این رویکرد اجازه می‌دهد تا داده‌های تجزیه‌شده در مقیاس‌های مختلف اعم از روند و جزئیات سری زمانی با همدیگر و سری زمانی اصلی به صورت هم‌تراز استخراج شوند. همچنین MODWT نسبت به جابجایی در زمان به صورت دوار سری زمانی حساس نیست و تخمین‌گر واریانس در این موجک کارا تر از

همبستگی‌های گذرا و وابسته به دوره زمانی میان NAO و دما ایجاد می‌شود (Grinsted et al, 2004; Percival & Walden, 1998; Torrence & Compo, 2000). این روش امکان شناسایی همبستگی‌های پنهان، تغییرات زمانی در شدت همبستگی و وابستگی مقیاسی میان دو متغیر را فراهم می‌آورد. کشور عراق، با موقعیت جغرافیایی خاص در منطقه خشک و نیمه‌خشک، از نظر اقلیمی به شدت تحت تأثیر نوسانات مداری و فرامداری مانند NAO قرار دارد. مطالعات منطقه‌ای نشان داده‌اند که فازهای مختلف NAO می‌توانند نقش مهمی در تغییرات دما، شدت خشکسالی، و توزیع بارش در این کشور ایفا کنند. به طور خاص، در فاز منفی NAO، افزایش دما در زمستان‌ها و کاهش بارندگی مشاهده شده است، در حالی که در فاز مثبت، به‌ویژه در سال‌های قوی، کاهش دما و افزایش ناپایداری‌های جوی بیشتر گزارش شده است (Hassan & Al-Asadi, 2023).

با توجه به نقش تعیین‌کننده NAO در تنظیم گردش عمومی جو (Hurrell & Deser, 2010) و تبادل انرژی بین عرض‌های جغرافیایی و اثرات متفاوتی که فازهای مثبت و منفی آن بر الگوهای دمایی دارند (Hurrell, 1995) بررسی ارتباط بین نوسانات آن و تغییرات دمایی در مناطق مختلف، می‌تواند در درک بهتر سازوکارهای اقلیمی و بهبود مدل‌های پیش‌بینی بلندمدت اقلیمی مؤثر باشد. بدین منظور، مهم‌ترین اهداف این پژوهش عبارتند از: ۱- شناسایی مقیاس‌های زمانی غالب در همبستگی دما و NAO و تحلیل پویایی این رابطه در طول زمان است که بدین ترتیب ترتیب الگوهای وابستگی زمانی - مقیاسی میان این دو متغیر مشخص شود، ۲- آشکارسازی نقش فازهای مختلف NAO در تغییرات دمایی ایستگاه‌های عراق، ۳- شناسایی الگوهای فشار ترازمیان جو و الگوی رودباد در فازهای متفاوت NAO و نقشی که این الگوها در وضعیت دمایی ایستگاه‌های مورد مطالعه بر عهده دارند. بنابراین با دستیابی به اهداف یاد شده می‌توان به درک بهتری از رفتار اقلیمی عراق و پاسخ آن به نوسانات جوی بزرگ مقیاس پیدا کرد.

۲. روش تحقیق

و نقشه‌های ترکیبی رودباد تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال برای فازهای متفاوت NAO ترسیم شد.

۱.۲. معرفی محدوده مورد مطالعه

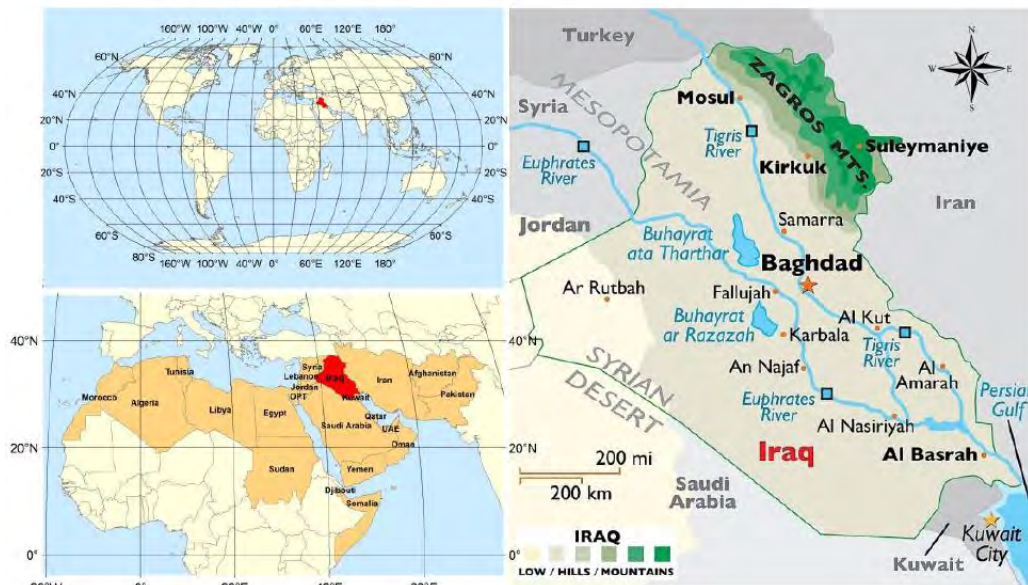
عراق در غرب آسیا به عنوان یکی از کشورهای خاورمیانه محسوب می‌شود که در موقعیت جغرافیایی ۲۹/۹ درجه تا ۳۷/۲۲ درجه شمالی و از ۳۸/۴۵ درجه تا ۴۸/۴۵ درجه شرقی در موقعیت نزدیکی به دریای سرخ و دریای مدیترانه قرار گرفته است (Mutar, Khtan, & George, 2021). عراق با ترکیه در شمال، عربستان سعودی در جنوب، کویت در جنوب شرق، اردن در جنوب غرب، ایران در شرق و سوریه در غرب دارای مرز مشترک است (شکل ۱). عراق به چهار منطقه جغرافیایی شامل: منطقه بیابان سنگی و شنی در غرب، فلات جزیره‌ای در مرکز، مناطق کوهستانی شمال و شمال شرق و دشت‌های آبرفتی در امتداد بین مسیرهای دجله و فرات از مرکز تا جنوب عراق، تقسیم شده است (Frenken, 2009; Malinowski, 2003).

اقلیم عراق با زمستان‌های سرد و تابستان گرم و خشک مشخص شده است. مناطق کوهستانی شمال عراق از اقلیم مدیترانه‌ای برخوردارند و سایر مناطق عراق دارای اقلیم خشک و نیمه خشک جنب حاره‌ای هستند (Khamis D Muslih, 2014). اقلیم عراق در فصل زمستان تحت تاثیر سامانه پرفشار سبیری، رودباد جنب حاره‌ای و سامانه‌های کم فشار سودانی و مدیترانه قرار دارد. در فصل تابستان، سامانه پرفشار هند تاثیر قابل توجهی بر وضعیت اقلیم عراق دارد (Khamis Daham Muslih & Abbas, 2024).

DWT است (Percival & Walden, 2000) به طور کلی MODWT به دلیل ویژگی‌هایی مانند ناوابستگی به انتقال (translation invariance)، حفظ طول سری زمانی در همه مقیاس‌ها، و توانایی تحلیل بهتر نوسانات بلندمدت، گزینه مناسبی برای تحلیل داده‌های اقلیمی غیرایستا محسوب می‌شود (Percival & Walden, 2000). همچنین روش MODWT این امکان را فراهم می‌کند تا بتوان تغییرات همبستگی را نه تنها در طول زمان، بلکه در مقیاس‌های مختلف بررسی کرد. این موضوع به‌ویژه در اقلیم متغیر و ناپایدار عراق، که به نوسانات اقلیمی بزرگ مقیاس بسیار حساس است، اهمیت بسزایی دارد.

تجزیه MODWT به صورت جداگانه برای سری زمانی دمای هوا و NAO با استفاده از فیلتر موجک sym3 در مقیاس‌های مختلف سطح ۱ تا ۶ انجام شد. این سطوح، محدوده‌های فرکانسی مختلف را از نوسانات کوتاه‌مدت (مثلاً ماهانه یا فصلی) تا بلندمدت (چندین ساله) پوشش می‌دهند. سپس واریانس موجکی و همبستگی بین مؤلفه‌های هم‌مقیاس دو سری (wavelet correlation) در هر سطح محاسبه شد تا بدین ترتیب رابطه بین نوسانات NAO و دما را در مقیاس‌های زمانی مختلف بررسی کرد. همچنین به منظور شناسایی الگوهای رفتاری سیگنال دما از تحلیل چندنمایی موجکی برای سطوح ۱ تا ۶ استفاده شد.

در گامی دیگر، از تابع موجک پیوسته مورلت برای ارزیابی رابطه مقیاسی بین دمای عراق و نوسانات NAO استفاده شد. همچنین به منظور شناسایی الگوهای فشار و الگوی رودباد در فازهای متفاوت NAO، نقشه‌های ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی عراق، منبع: (Awadh, 2023)

۳. یافته‌های پژوهش

جغرافیایی به شدت کاهش پیدا می‌کند؛ بنابراین عامل طول جغرافیایی نقش تقویت کننده برای رابطه بین این دو متغیر را برعهده دارد. از سویی، با کنترل ارتفاع، رابطه بین دما و عرض جغرافیایی، معکوس می‌شود. به عبارتی ارتفاع نقش یک متغیر سرکوب‌گر را ایفا می‌کند که نقشی مهم در انحراف جهت واقعی رابطه بین این دو متغیر را دارد. بنابراین با توجه به نقش متضاد طول جغرافیایی و ارتفاع و روشن بودن کاهش دما متناسب با عرض جغرافیایی، بنابراین اثر طول جغرافیایی و ارتفاع به طور همزمان کنترل شد که رابطه بین عرض جغرافیایی و دما به مقدار -0.93 بدست آمد. در نتیجه، مشخص است که نقش طول جغرافیایی و ارتفاع به عنوان عامل‌های مخدوش‌کننده رابطه واقعی بین دما و عرض جغرافیایی به شمار می‌روند. به‌رحال با توجه به شرایط ثابت موقعیت جغرافیایی، نتیجه گرفته می‌شود که نقش عامل طول جغرافیایی در کنترل دمای کشور عراق بیشتر از عامل ارتفاع و عرض جغرافیایی است.

همبستگی بین داده‌های دمای بیشینه ایستگاه‌های سینوپتیک عراق با NAO بین حداقل -0.29 در موصل تا -0.35 در کرکوک دارای نوسان است. این مقدار همبستگی نشان از ارتباط معکوس بین دمای ماهانه عراق با NAO دارد. به عبارتی

میانگین و واریانس بلندمدت ماهانه دمای بیشینه ایستگاه‌های عراق نشان می‌دهد که اختلاف بین مقادیر دما ایستگاه‌ها چندان زیاد نیست (جدول ۱). بدین ترتیب که دامنه تغییرات مکانی دما در بین ایستگاه‌های تحت مطالعه در حدود شش درجه سلسیوس است (بصره با $33/4$ در جه سلسیوس و رطبه با $27/5$ درجه سلسیوس). از سویی ضریب همبستگی درجه صفر بین میانگین ماهانه دما با طول، عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا به ترتیب به مقدار 0.09 ، -0.08 و -0.85 بدست آمد. در این خصوص انجام همبستگی درجه یک بین دما و طول جغرافیایی با کنترل عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا به ترتیب به مقدار 0.91 و 0.78 ، بین دما و ارتفاع با کنترل عرض و طول جغرافیایی به ترتیب به مقدار -0.85 و -0.48 و بین عرض جغرافیایی و دما با کنترل طول جغرافیایی و ارتفاع به مقدار -0.45 و 0.41 حاصل شد. این یافته‌ها نشان می‌دهند که تغییرات عرض جغرافیایی اثر چندانی در رابطه بین دما و طول جغرافیایی ندارد. همچنین تاثیر طول جغرافیایی بر رابطه بین دما و ارتفاع بسیار بیشتر از اثر ارتفاع بر رابطه بین طول جغرافیایی و دما است. از این گذشته، اثر طول جغرافیایی و ارتفاع بر رابطه بین دما و عرض جغرافیایی قابل توجه است. به طوی که با کنترل طول جغرافیایی، مقدار همبستگی بین دما و عرض

در فاز مثبت NAO، مقادیر دمای ماهانه ایستگاه‌های عراق، گرایش به کاهش دارند.

جدول ۱. موقعیت جغرافیایی و خصوصیات آماری سری زمانی دمای بیشینه ایستگاه‌های کشور عراق

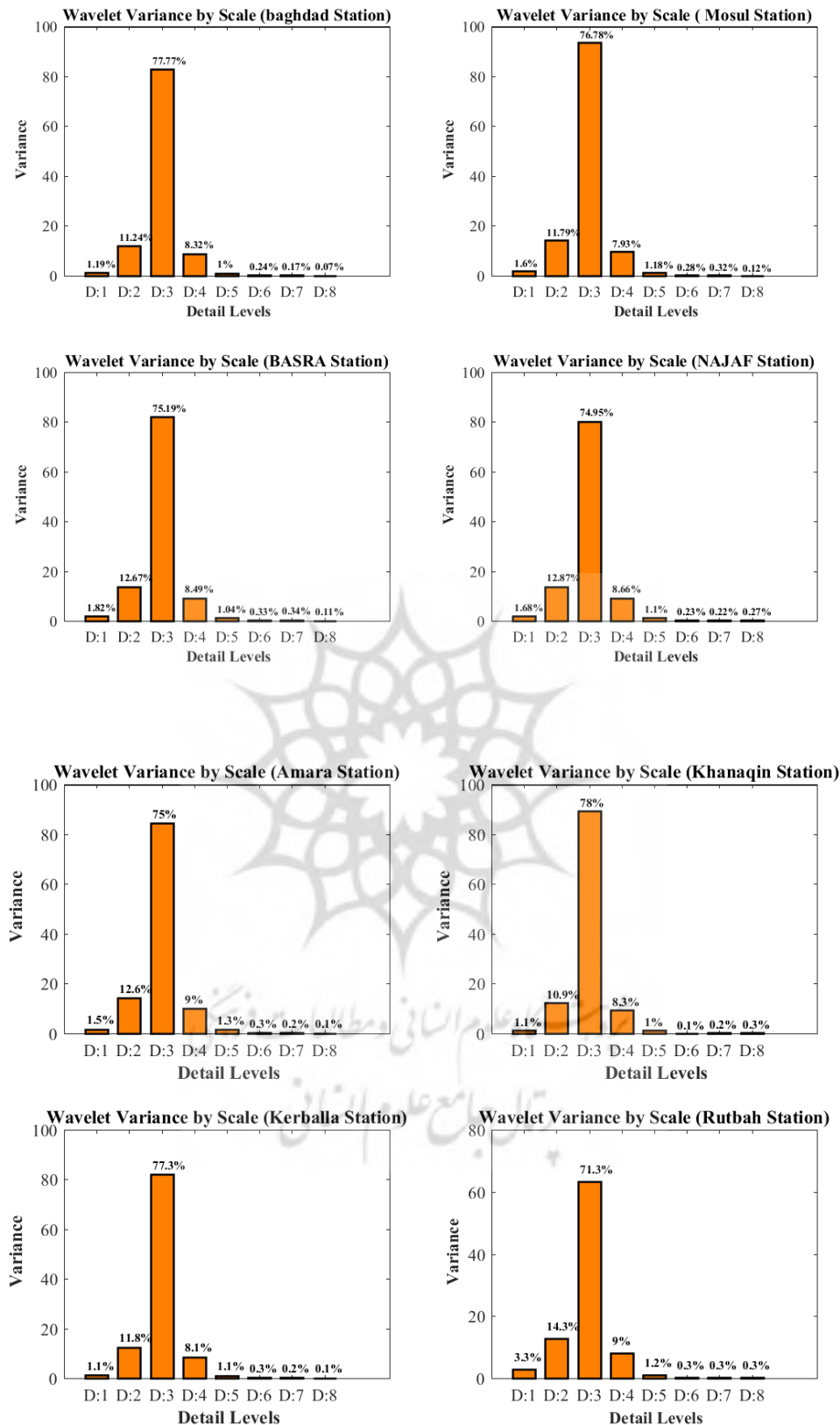
ردیف	ایستگاه	طول جغرافیایی (°)	عرض جغرافیایی (°)	ارتفاع (m)	میانگین (°C)	واریانس	ضریب همبستگی دما با NAO
۱-	بصره	۴۷/۷۸	۳۰/۵۲	۲	۳۳/۹	۱۱۵/۶	-۰/۳۱
۲-	بغداد	۴۴/۴	۳۳/۳	۳۱	۳۱/۲	۱۰۶/۷	-۰/۳۳
۳-	های	۴۶	۳۲/۱۷	۱۷	۳۲/۸	۱۰۷/۷	-۰/۳۳
۴-	العماره	۴۷/۱۷	۳۱/۸۳	۹	۳۳	۱۱۲/۸	-۰/۳۳
۵-	نجف	۴۴/۳۲	۳۱/۹۵	۵۳	۳۲/۲	۱۰۷/۲	-۰/۳۳
۶-	حله	۴۴/۴۳	۳۲/۴۸	۳۳	۳۱/۶	۹۳/۶	-۰/۳۳
۷-	کربلا	۴۴/۰۱	۳۲/۶۱	۲۹	۳۱/۶	۱۰۶/۳	-۰/۳۴
۸-	خانقین	۴۵/۳۸	۳۴/۳۵	۱۷۵	۳۱	۱۱۴/۷	-۰/۳۳
۱۰-	دیوانیه	۴۴/۹۶	۳۱/۹۶	۲۰	۳۲/۴	۱۰۰	-۰/۳۳
۱۱-	سماوه	۴۵/۲۸	۳۱/۳۲	۱۱	۳۲/۶	۱۰۲/۵	-۰/۳۳
۱۲-	ناصریه	۴۶/۲۳	۳۱	۵	۳۳/۴	۱۰۷	-۰/۳۳
۱۳-	رطبه	۴۰/۲۸	۳۳	۶۳۰	۲۷/۶	۸۹	-۰/۳۲
۱۴-	رمادی	۴۳/۳۲	۳۳/۴۵	۴۸	۳۳/۳	۹۸/۵	-۰/۲۹
۱۵-	موصل	۴۲/۴۸	۳۶/۳۲	۲۲۳	۲۸/۶	۱۲۲	-۰/۲۹
۱۶-	کرکوک	۴۴/۴	۳۵/۴۷	۳۳۱	۲۹/۵	۱۱۳	-۰/۳۵

منبع: Authors' calculations, 2024

۳-۱. واریانس موجکی MODWT

یکی از مهمترین کاربردهای MODWT تجزیه مقیاسی واریانس داده‌هاست. بدین ترتیب که مقدار واریانس داده‌ها را در مقیاس‌های متفاوت زمانی آشکار می‌کند. در این خصوص سری زمانی دمای ماهانه ایستگاه‌های مورد بررسی با تابع موجک مادر sym3 تا ۸ سطح فرکانسی تجزیه شدند که این سطح‌های فرکانسی، مقیاس‌های زمانی ماهانه تا ۲۰ ساله را پوشش می‌دهند؛ بنابراین ۸ واریانس ضریب موجکی و یک واریانس ضریب مقیاسی برای هر ایستگاه حاصل شد که مجموع این واریانس‌ها برابر با واریانس کل سری زمانی ایستگاه مربوطه است.

توزیع فراوانی نسبی واریانس موجکی برای مقیاس‌های زمانی مختلف در تمامی ایستگاه‌ها یکسان بوده به طوری که سومین سطح تجزیه موجکی که شامل بازه زمانی ۸ - ۱۶ ماه است (سالانه و زیر سالانه) با اختصاص بیش از ۷۰ درصد از کل واریانس، دارای بیشترین اطلاعات در مورد سری زمانی دمای هوا برای همه ایستگاه‌ها است. بنابراین نوسان‌های متوسط، وزن بیشتری از واریانس کل سری زمانی دما را شامل می‌شوند و این نوسان‌ها نقش غالبی را در تعیین الگوی کلی سری زمانی دمای هوا ایفا می‌کنند. دومین و سومین سطح که به ترتیب مربوط به مقیاس زمانی فصلی و ۱/۵ تا ۲/۵ ساله هستند به ترتیب با ۱۱ و ۸ درصد واریانس در مراتب بعدی قرار دارند.



شکل ۲. توزیع واریانس موجکی سری زمانی دما ایستگاه‌های عراق، منبع: نگارندگان، ۱۴۰۴

بنابراین تحت این رویکرد، سری زمانی دمای هوای ایستگاه‌های عراق تا ۶ سطح فرکانسی تجزیه شدند.

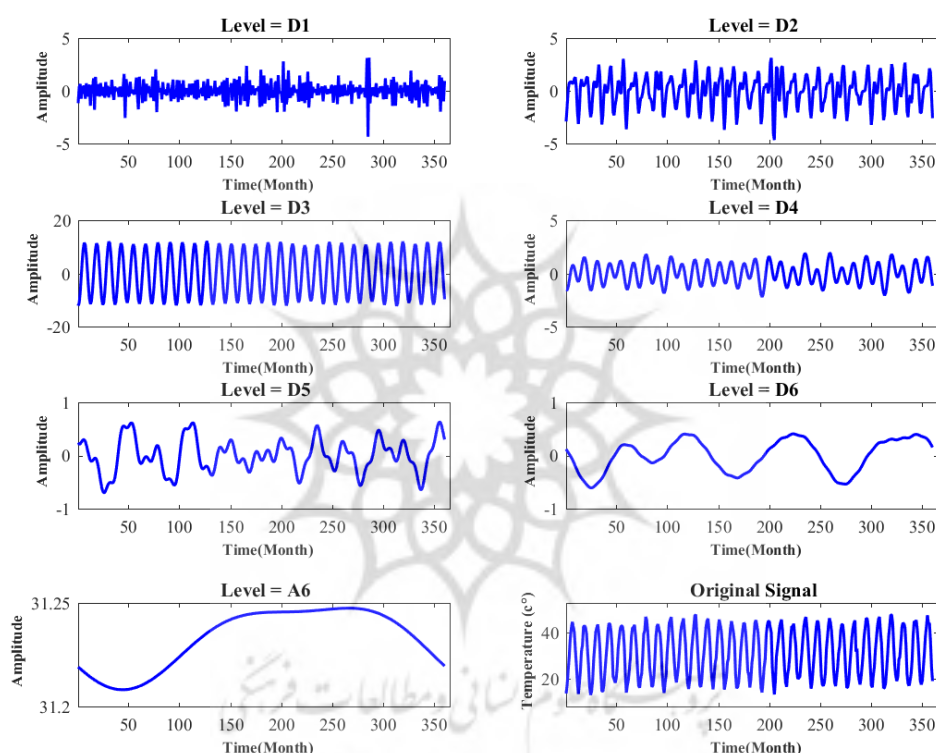
سیمای کلی سطوح فرکانسی حاصل از این تحلیل نیز در تمامی ایستگاه‌های مشابه است. از این گذشته، بررسی سیگنال‌ها در این سطوح نشان از رفتارهای متفاوت دمای هوا در مقیاس‌های زمانی مورد بررسی دارد. چنانکه سیگنال دما در مقیاس زمانی ماهانه دارای تغییرات سریع و کوتاه‌مدت بوده و از الگوی مشخصی پیروی نمی‌کند (شکل ۳)

مقیاس‌های زمانی بیش از ۲ سال، کمتر از ۲ درصد از واریانس داده‌ها را شامل می‌شوند (شکل ۲).

۲-۳. تحلیل چند نمایشی دمای هوا با کاربرد

MODWT

تحلیل چندنمایشی با قابلیت ترسیم سیمای نوسان‌ها در هر سطح مقیاسی می‌تواند اطلاعات مهمی را در مورد الگوی رفتاری دمای هوا بازنمود کند (Mirhashemi, 2024).



شکل ۳. تحلیل چند نمایشی سری زمانی دمای ایستگاه بغداد، منبع: نگارندگان، ۱۴۰۴

عمومی سیگنال را دنبال می‌کند. چهارمین سطح موجکی، شامل نوسان‌های چند ساله بوده که نوسان‌هایی معنادار و الگویی شبیه سومین سطح فرکانسی البته با دامنه بسیار کمتر را نمایش می‌دهد. در مقیاس‌های زمانی مراتب بالاتر یعنی پنجمین و ششمین سطح، به‌رغم کاهش شدید دامنه نوسان‌ها، اما الگوهای رفتاری مشخص را برای بازه‌های زمانی ۳ الی ۵ و ۱۱ ساله را نشان می‌دهند. سیگنال سطح کلیات، نشان از افزایش تدریجی دمای هوا از سال ۱۹۹۰ به بعد را دارد. به

دامنه نوسان‌ها در دومین سطح فرکانسی افزایش یافته و تغییرات فصلی از تابسان گرم به زمستان سرد را نشان می‌دهد. در سومین سطح فرکانسی، تغییرات بسیار منظم و قوی ظاهر شده‌اند و دارای دامنه بسیار قوی هستند. به عبارتی الگوی رفتار سینوسی و بسیار منظمی در این مقیاس زمانی مشاهده می‌شود که تشابه بسیار نزدیکی با سیگنال اصلی دمای هوا دارد. به عبارتی همانند توزیع نسبی واریانس موجکی، این سطح مقیاسی بخش مهمی از سیگنال اصلی را به‌همراه دارد و رفتار

در نتیجه، تغییرات NAO با تاثیرگذاری در این سطح موجکی که حامل بیشترین واریانس موجکی نیز است، عامل اصلی تغییرات دمای ایستگاه‌های عراق به شمار می‌رود. مقادیر ضریب همبستگی سطح‌های فرکانسی بالاتر، ضمن کاهش نسبت به سومین سطح فرکانسی به یک پایداری نسبی می‌رسند. در نتیجه، رابطه میان دمای هوا و NAO در میان مدت بسیار قوی‌تر از کوتاه مدت و بلندمدت است.

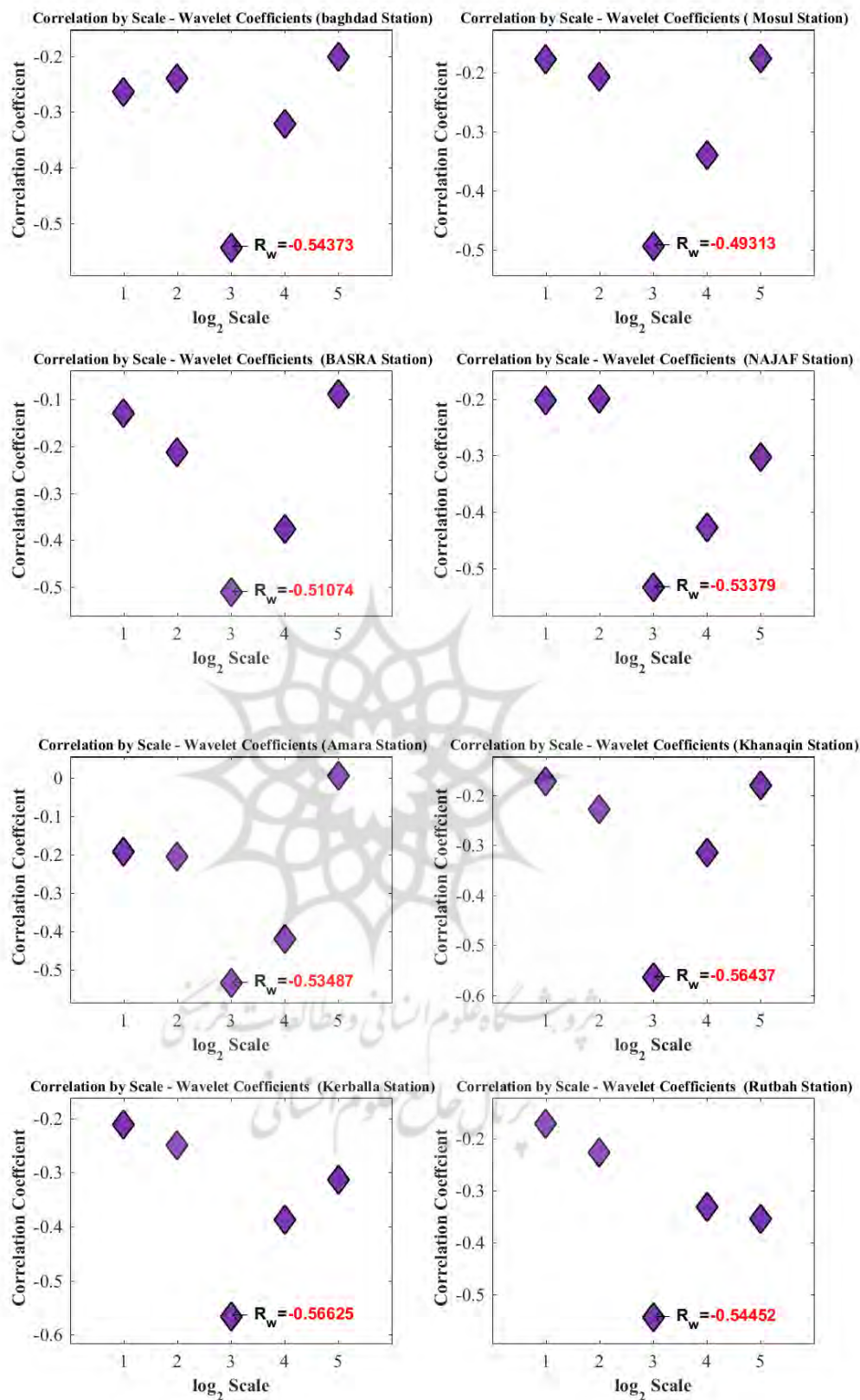
در گامی دیگر، با کاربرد تابع موجک پیوسته مورلت رابطه بین دمای هوا و NAO بررسی شد. چنانکه از شکل ۵ مشخص است در مقیاس زمانی سالانه و زیر سالانه، رابطه معناداری بین این دو متغیر وجود دارد به طوری که در طی دوره زمانی مورد بررسی، چندین سلول بسته از رابطه معنادار بین این دو متغیر در مقیاس زمانی یادشده گسترش یافته‌اند. همچنین جهت پیکان‌ها نیز اشاره به برقراری رابطه معکوس بین دمای هوا و NAO دارد.

با توجه به این که تغییر فاز NAO، تغییر در گردش عمومی جو نیمکره شمالی را منعکس می‌کند و به عبارتی، NAO از طریق گردش عمومی جو بر آب و هوا و بخصوص دما و بارش مناطق جغرافیایی تاثیر می‌گذارد (Ambaum et al, 2001; Hurrell, 1995; Thompson & Wallace, 2000; Woollings et al 2010) لذا از زاویه‌ای دیگر، الگوهای فشار تراز میانه و الگوی رودباد تراز بالای طی فازهای متفاوت NAO بررسی شد تا چگونگی اثر این شاخص بر نوسان‌های دمای عراق از طریق گردش عمومی جو روشن شود.

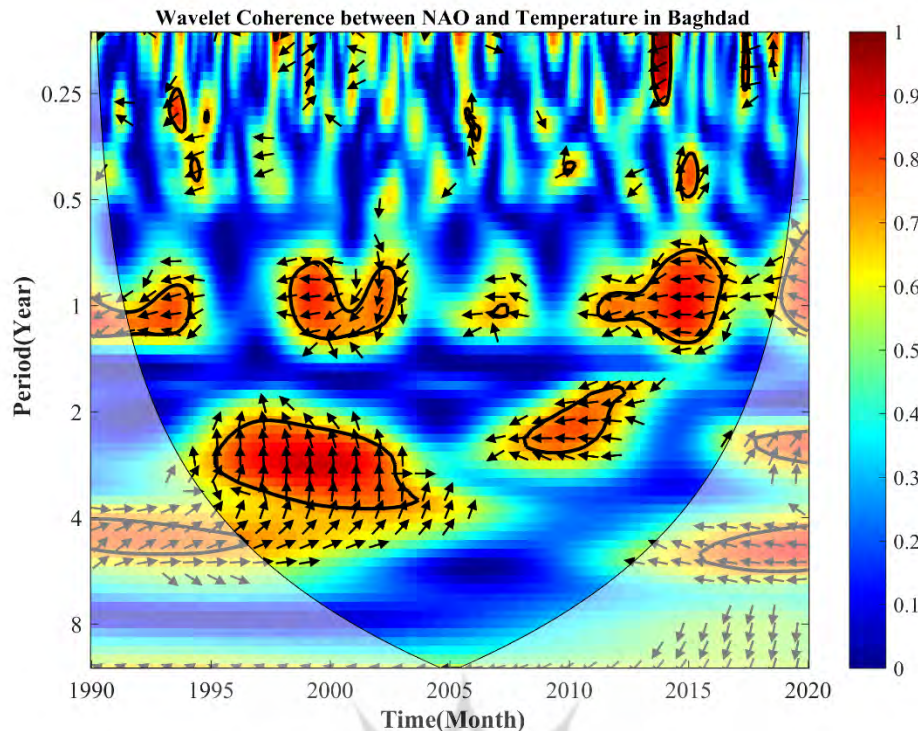
عبارتی، سیمای این سطح، گرمایش اقلیمی آهسته ولی پیوسته در ایستگاه‌های عراق را نشان می‌دهد. مطالعه‌های پیشین نیز با کاربرد روش‌های مختلف نتیجه گرفته‌اند که دمای ایستگاه‌های عراق از روند افزایشی برخوردارند (Muslih et al, 2013, Azooz & Talal, 2015, Blazejczyk, 2016).

۳-۳. همبستگی چندمقیاسی بین دمای هوا و NAO

افزون بر شناسایی نوسان‌ها و الگوی رفتاری سری زمانی دمای هوا، شناسایی چگونگی رابطه بین دمای هوا و NAO اهمیت دارد. بنابراین مشابه واریانس موجکی که نشان‌دهنده سهمی از واریانس کلی است که به هر مقیاس زمانی خاص اختصاص دارد، همبستگی موجکی نیز در هر زمان -مقیاس، معرف رابطه بین دما و نوسان اطلس شمالی است که به آن مقیاس زمانی خاص تعلق دارد. بنابراین با این رویکرد مشخص خواهد شد که رابطه بین این دو متغیر در هر مقیاس زمانی چگونه است. چنانکه ذکر شده همبستگی کلی بین دمای ایستگاه‌های مورد بررسی با NAO به صورت معکوس بوده، در این خصوص، همبستگی بین دما و NAO برای فرکانس‌های یک تا پنج (۱-۵) سطح موجکی نیز به صورت معکوس حاصل شد. بنابراین دمای هوا برای مقیاس‌های زمانی ماهانه تا چندساله در فاز منفی و مثبت NAO به ترتیب تمایل به افزایش و کاهش دارد. بیشترین ضریب همبستگی بین دما و NAO در سومین سطح فرکانسی یعنی مقیاس زمانی سالانه و زیر سالانه اتفاق می‌افتد.



شکل ۴. همبستگی موجکی و چندمقیاسی سری زمانی NAO با سری زمانی دمای ایستگاه‌های عراق، منبع: نگارندگان، ۱۴۰۴



شکل ۵. همبستگی موجکی و چندمقیاسی سری زمانی NAO با سری زمانی دمای ایستگاه بغداد، منبع: نگارندگان، ۱۴۰۴

افزایش ضخامت و افزایش دمای جو برفراز عراق دارد. در صورتی که در فاز مثبت NAO، خط هم‌ارتفاع ۵۶۵۰ متر بر فراز عراق قرار داشته که گویای ضخامت کمتر و هوای سرد در تراز میانه جو بوده که احتمال هوای پایدار سرد در سطح پایین وجود دارد. بنابراین دماهای سرد جو در فاز مثبت نسبت به فاز منفی NAO و الگوی کلی جریانات مداری بر روی خاورمیانه و بخصوص عراق، با تحلیل همبستگی موجکی مبنی بر رابطه معکوس بین شاخص NAO و دمای ایستگاه‌های عراق تطابق دارد. همچنین در فاز مثبت NAO گردایان ارتفاعی بسیار شدیدی از اقیانوس اطلس تا روسیه شکل گرفته که بدین ترتیب رودباد جبهه قطبی تقویت شده است. پشته جنب حاره با جهت جنوب غربی - شمال شرقی از جنوب مدیترانه در امتدا سواحل شرقی اقیانوس اطلس بر روی اروپا امتداد یافته و به‌رغم تشدید گردایان ارتفاع در منطقه خاورمیانه اما انحنای پشته قراگرفته بر روی ایران ضعیف شده و خطوط هم ارتفاع در راستای مداری گسترش یافته‌اند. در این صورت جریان‌های مداری بسیاری شدیدی در منطقه خاورمیانه شکل گرفته که به

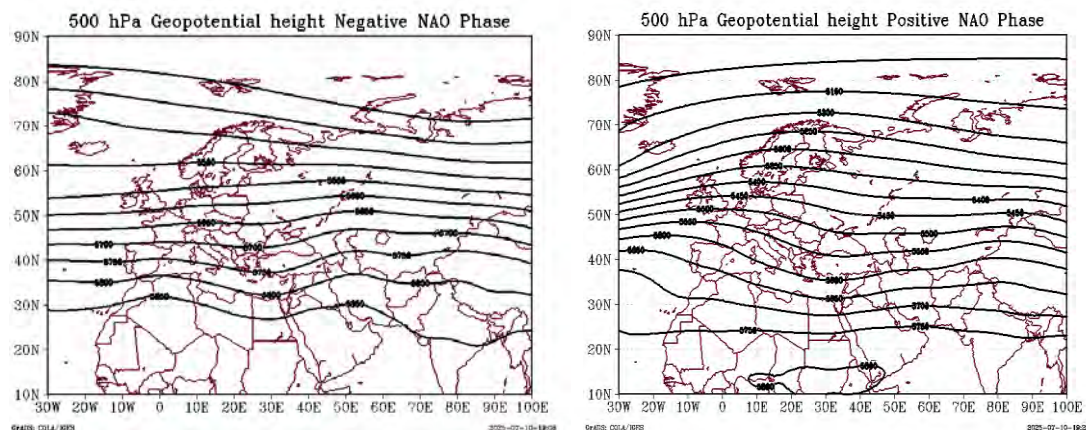
۳-۴. سامانه‌های سینوپتیکی جو در فازهای متفاوت

NAO

الگوی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال براساس نقشه‌های ترکیبی فازهای مثبت و منفی NAO (شکل ۷) بدین ترتیب است که گردایان ارتفاع در فاز منفی نسبت به فاز مثبت از شدت کمتری برخوردار بوده و مقارن با فاز منفی NAO پشته‌ای بر روی نیمه غربی ایران، پشته‌ای در غرب مدیترانه - شرق اقیانوس اطلس و ناوهای در شرق مدیترانه واقع شده‌اند. امتداد شمالی این سامانه‌های ارتفاعی تا عرض ۵۰ درجه شمالی بوده که به تدریج از دامنه و شدت آنها کاسته می‌شود. در این صورت منطقه شمال مدیترانه و اروپای مرکزی تحت سیطره جریان‌های ضعیف مداری قرار دارند. بنابراین امکان ورود هوای سرد از عرض‌های بالا به عراق برقرار نیست. از سویی، آرایش ناوهای شرق مدیترانه به گونه‌ای بوده که عراق تحت تاثیر جریان‌های جنوب غربی این ناو است که هوای گرم را از عرض‌های جنوبی وارد کشور عراق می‌کند. در این خصوص، قرارگیری خط هم‌ارتفاع ۵۸۰۰ متر بر روی عراق نشان از

سرد نسبت به حالت خنثی و منفی NAO می‌رود. بنابراین، آرایش و شدت الگوهای فشار در فاز منفی NAO نسبت به فاز مثبت، دستخوش تغییر شده‌اند که چنین تغییر موجب ناهنجاری - های متفاوت دمایی در فازهای NAO شده است.

این ترتیب کشور عراق تا تحت جریان‌های غربی سرد قرار دارند. این جریان‌های غربی، هوای سرد را از عرض‌های بالاتری نسبت به جریان‌های جنوب غربی فاز منفی NAO به جو عراق وارد می‌کنند. با توجه به کاهش انحنای پشته و نیمه شرقی ناوه، کاهش ضخامت جو، انتظار تشدید رودباد و هوای



شکل ۷. نقشه الگوی ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای فازهای مثبت و منفی NAO، منبع: نگارندگان،

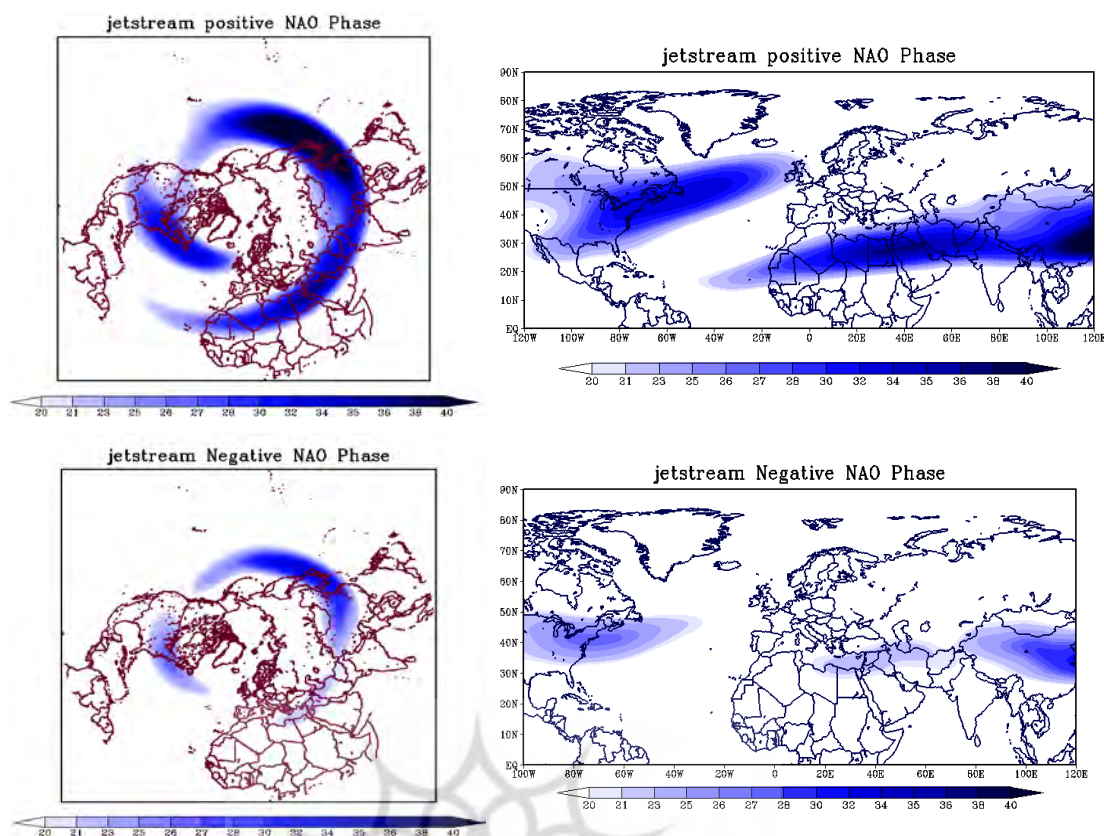
۱۴۰۴

NAO و در محدوده اقیانوس اطلس، ضمن اینکه رودباد در عرض‌های شمالی‌تر واقع شده دارای جهت‌گیری جنوب غربی - شمال شرقی نیز شده که بدین ترتیب موجب انتقال سامانه‌های کم فشار و هوای مرطوب و ناپایدار به مناطق شمالی و شمال غرب اروپا می‌شود. رودباد در منطقه غرب آفریقا - خاورمیانه، ضمن موقعیت جنوبی‌تر در فاز مثبت نسبت به فاز منفی NAO، هسته پرسرعت آن در مرکز دریای سرخ - شمال شبه جزیره عربستان - خلیج فارس متمرکز شده. در صورتی که هسته پرسرعت آن در فاز منفی NAO در موقعیت شرق مدیترانه - شمال غرب ایران قرار دارد و دارای ساختاری منقطع و بسیار ضعیف است.

۳-۴-۱. الگوی رودباد تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال برای

فازهای متفاوت NAO

نقشه‌های ترکیبی الگوی رودباد در فازهای مثبت و منفی NAO نشان از قوی‌تر و پیوسته‌تر بودن الگوی رودباد در فاز مثبت نسبت به فاز منفی دارد. تحت این الگو، رودباد جنب حاره و رودباد جبهه قطبی در فاز مثبت بسیار قوی‌تر شده و از سواحل غربی اقیانوس اطلس تا سواحل شرقی آن کشیده شده‌اند. (Bhagatani et al, 2025) نیز نتیجه گرفته‌اند که در فاز مثبت NAO گردش‌های جنب قطبی و جنب حاره‌ای تقویت می‌شوند که این ناشی از افزایش شدید گرادیان شمالی - جنوبی دما و ارتفاع ژئوپتانسیل است. همچنین در فاز مثبت



شکل ۸. نقشه الگوی ترکیبی رودباد تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال برای فازهای منفی و مثبت NAO، منبع: نگارندگان، ۱۴۰۴

۵. بحث و نتیجه‌گیری

نوسان اطلس شمالی NAO نقش مهمی در تنظیم گردش عمومی جو و تبادل انرژی بین عرض‌های جغرافیایی متفاوت در نیمکره شمالی دارند. در این مطالعه ارتباط الگوی رفتاری سیگنال سری زمانی دمای ماهانه ۱۶ ایستگاه سینوپتیک کشور عراق و رابطه بین این سیگنال‌ها با شاخص NAO بررسی شد. ضریب همبستگی بین سری زمانی دمای بیشینه تمامی ایستگاه‌های با سری زمانی NAO، مقادیر منفی را نشان می‌دهد. این یافته نشان از تغییر معکوس دمای ماهانه عراق در مقابل تغییر NAO دارد. به عبارتی در فاز مثبت NAO، مقادیر دمای ماهانه ایستگاه‌های عراق، گرایش به کاهش دارند. مطالعه‌هایی همچون (Hassan & Al-Asadi, 2023; Hussein & Al-Asadi, 2023; Khidher & Pilesjö, 2015) نیز چنین رابطه معکوسی را بین دمای هوای ایستگاه‌های عراق با NAO بدست آورده‌اند. بنابراین دماهای عراق در هنگام رخداد فاز مثبت/منفی NAO کمتر / بیشتر از حالت نرمال دما هستند.

جزیه سیگنال‌های سری زمانی دمای ایستگاه‌های مورد مطالعه با کاربرد MODWT نشان داد که بیشترین واریانس و بیشترین دامنه موجکی دما در سومین سطح فرکانسی یعنی مقیاس زمانی چندفصلی و سالانه وجود دارد. همچنین الگوی رفتاری سیگنال این مقیاس زمانی بسیار شبیه سیگنال اصلی دما بوده. بنابراین با توجه به مقادیر بالای ضرایب موجکی و اختصاص بیشترین واریانس داده‌ها در این سطح فرکانسی می‌توان نتیجه گرفت که سری زمانی با مقیاس زمانی ۸-۱۶ ماه، رفتار کلی و عمومی سیگنال دما را بازنمود می‌کند. چنین ساختاری در ضرایب همبستگی بین دما و NAO نیز منعکس شد. به این صورت که بیشترین ضریب همبستگی موجکی در سومین سطح فرکانسی حاصل شد که با نتایج مطالعه‌های (Jones et al., 2003; Trigo et al., 2002) مبنی بر اینکه NAO می‌تواند بر نوسانات دمایی در مقیاس فصلی و بین سالانه تأثیر گذار باشد همخوانی دارد.

از این گذشته، رابطه بین NAO و سیگنال دما در تمامی مقیاس‌های زمانی (ماهانه تا بیست ساله) به صورت معکوس بود به ترتیبی که مقارن با فاز منفی NAO دماهای عراق تمایل به افزایش و در فاز مثبت میل به کاهش دارند. در این خصوص الگوی ترکیبی سامانه‌های تراز میانه و الگوی ترکیبی رودباد تراز بالای جو نشان داد که در فاز منفی NAO، کشور عراق تحت تاثیر جریان‌های گرم جنوب غربی و افزایش ضخامت جو و در فاز مثبت تحت تاثیر جریان‌های نسبتاً سرد غربی و کاهش ضخامت جو قرار دارد. از سویی مشخص شد که با تغییر در فاز NAO، موقعیت و شدت رودباد دستخوش تغییر بسیار شدیدی شده است. تغییر موقعیت و نوسان در سرعت رودباد طی فازهای متفاوت NAO موضوعی است که (Parker et al., 2019;

geophysical time series. Nonlinear processes in geophysics, 11(5/6), 561-566 .
Hall, R., Erdélyi, R., Hanna, E., Jones, J. M., & Scaife, A. A. (2014). Drivers of North Atlantic Polar Front jet stream variability. International Journal of Climatology, 35 .(۸)
Hassan, M. W., & Al-Asadi, K. A. W. H. (2023). Analysis of large-scale correlations on temperatures over Iraq. Arab Gulf Journal of Scientific Research, 41(1), 2-17 .
Hunt, K. M., & Zaz, S. N .(۲۰۲۳). Linking the North Atlantic Oscillation to winter precipitation over the Western Himalaya through disturbances of the subtropical jet. Climate Dynamics, 60(7), 2389-2403 .
Hurrell, J. W. (1995). Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperatures and precipitation. Science, 269(5224), 676-679 .
Hurrell, J. W., & Deser, C. (2010). North Atlantic climate variability: the role of the North Atlantic Oscillation. Journal of marine systems, 79(3-4), 231-244 .
Hussein, M. W., & Al-Asadi, K. A.(2023). Synchronous Impact of the North Atlantic Oscillation (NAO) and Southern Oscillation Index (SOI) Poles on Temperature and Rain Over Iraq .
Jones, P. D., Osborn, T. J., & Briffa, K. R. (2003). Pressure-based measures of the North Atlantic Oscillation (NAO): A comparison and an assessment of changes in the strength of the NAO and in its influence on surface climate parameters. Geophysical monograph series, 134, 51-62 .

References

- Akbari, T., & Masoudian, S. A. (2007). An analysis of relationship between monthly temperature of Iran and teleconnection patterns of Northern Hemisphere. Humanities Research Journal, 22(1), 117-133. (in persian) .
Ambaum, M. H., Hoskins, B. J., & Stephenson, D. B. (2001). Arctic oscillation or North Atlantic oscillation? Journal of Climate, 14(16), 3495-3507 .
Awadh, S. M. (2023). Impact of North African sand and dust storms on the Middle East using Iraq as an example: Causes, sources, and mitigation. Atmosphere, 14(1), 180 .
Bhagatani, D., McC. Hogg, A., Holmes, R. M., Constantinou, N. C., & Khatri, H. (2025). Asymmetric response of the North Atlantic gyres to the North Atlantic Oscillation. Journal of Geophysical Research: Oceans, 130(6), e2024JC021997 .
Bridgman, H. A., & Oliver, J. E. (2014). The global climate system: patterns, processes, and teleconnections: Cambridge University Press.
Cullen, H. M., Kaplan, A., Arkin, P. A., & Demenocal, P. B. (2002). Impact of the North Atlantic Oscillation on Middle Eastern climate and streamflow. Climatic Change, 55(3), 315-338 .
Frenken, K. (2009). Irrigation in the Middle East region in figures AQUASTAT Survey-2008. FAO water reports, 423 .
Grinsted, A., Moore, J. C., & Jevrejeva, S. (2004). Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to

- Jüling, A., Dijkstra, H. A., Hogg, A. M., & Moon, W. (2020). Multidecadal variability in the climate system: phenomena and mechanisms. *The European Physical Journal Plus*, 135(6), 506 .
- Khidher, S. A., & Pilesjö, P. (2015). The effect of the North Atlantic Oscillation on the Iraqi climate 1982–2000. *Theoretical and applied climatology*, ۷۷۱-۷۸۲, (۳) ۱۲۲ ,
- Kmmr, ,, & uuufuula Grrr gi,,. (999)). Wavelet analysis for geophysical applications. *Reviews of geophysics*, 35(4), 385-412 .
- Labat, D. (2008). Wavelet analysis of the annual .. cchrrge rccorss ff tee world's .argsst rivrr.. *Advances in water resources*, 31(1), 109-117 .
- Lark, R. M., & Webster, R. (2001). Changes in variance and correlation of soil properties with scale and location: analysis using an adapted maximal overlap discrete wavelet transform. *European journal of soil science*, 52(4), 547-562 .
- Malinowski, J. C. (2003). Iraq: A Geography: United States Military Academy.
- Mirhashemi, H. (2024). Analysis of multi-scale correlation and wavelet variance of time series of precipitation and flow of Khorramabad River. *Iranian Jornal of Watershed Management Science&Engineering*, 18(64), 39-49. (in persian) .
- Muslih, K. D. (2014). Identifying the climatic conditions in Iraq by tracking down cooling events in the North Atlantic Ocean in the period 3000–0 BC. *Miscellanea Geographica. Regional Studies on Development*, 18(3), 40-46 .
- Muslih, K. D., & Abbas, A. M. (2024). Climate of Iraq The Geography of Iraq (pp. 19-47): Springer.
- Mutar, A. G., Khtan, A., & George, L. E. (2021). Synoptic characteristics of torrential rains in southwest and southeast Iraq: A case study. *Al-Mustansiriyah Journal of Science*, 32(3), 1-7 .
- Parker, T., Woollings, T., Weisheimer, A., O'Reilly, C., Baker, L., & Shaffrey, L. (2019). Seasonal predictability of the winter North Atlantic Oscillation from a jet stream perspective. *Geophysical Research Letters*, 46(16), 10159-10167 .
- Percival, D. B., & Walden, A. T. (2000). Wavelet methods for time series analysis (Vol. 4): Cambridge university press.
- Rodó, X., Baert, E., & Comin, F. (1997). Variations in seasonal rainfall in Southern Europe during the present century: relationships with the North Atlantic Oscillation and the El Niño-Southern Oscillation. *Climate Dynamics*, 13(4), 275-284 .
- Stocker, T. F. (1996). An overview of century time-scale variability in the climate system: observations and models. *Decadal climate variability: dynamics and predictability*, 379-406 .
- Thompson, D. W., & Wallace, J. M. (2000). Annular modes in the extratropical circulation. Part I: Month-to-month variability. *Journal of Climate*, 13(5),
- Torrence, C., & Compo, G. P. (1998). A practical guide to wavelet analysis. *Bulletin of the American Meteorological society*, 79(1), 61-78 .
- Trigo, R. M., Osborn, T. J., & Corte-Real, J. M. (2002). The North Atlantic Oscillation influence on Europe: climate impacts and associated physical mechanisms. *Climate research*, 20(1), 9-17 .
- Wallace, J. M., & Gutzler, D. S. (1981). Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. *Monthly weather review*, 109(4), 784-8 . ۱۲
- Weisheimer, A., Schaller, N., O'Reilly, C., MacLeod, D. A., & Palmer, T. (2017). Atmospheric seasonal forecasts of the twttt ieth eentrr y: mll ti eecadal variability in predictive skill of the winter North Atlantic Oscillation (NAO) and their potential value for extreme event attribution. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 143(703), 917-926 .
- Woollings, T., Hannachi, A., Hoskins, B., & Turner, A. (2010). A regime view of the North Atlantic Oscillation and its response to anthropogenic forcing. *Journal of Climate*, 23(6), 1291-1307 .