



Spatial-temporal variability of heat and cold waves in the Guilan province using cluster analysis method

Sharareh Seydgar Ghanbar ¹, Atoosa Bikdeli ^{1*}, & Parviz Rezaei ¹

¹ Department of Geography, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran.

ARTICLE INFO

Keywords:

Threshold Level,
Hot and Cold Waves,
Wave Intensity,
Cluster Analysis,
Guilan Province.

Received:

22 Dec 2024

Received in revised form:

11 May 2025

Accepted:

14 May 2025

pp.168-185

ABSTRACT

Introduction: Heat and cold waves are among the most influential natural hazards affecting mortality and the economy. Rising global temperatures have intensified extreme phenomena such as floods, droughts, heavy rainfall, and heat and cold waves.

Purpose: This study aims to identify heat waves (HWs) and cold waves (CWs), classify them, and analyze their spatial-temporal variability across Guilan Province.

Geographical area: This research focuses on Guilan Province, located in northern Iran along the southern shores of the Caspian Sea. Due to its distinctive climatic conditions, the province is constantly exposed to temperature fluctuations and the hazards associated with heat and cold waves.

Methodology: To conduct this study, daily maximum and minimum temperature data were obtained from the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) under the ERA5 version, with a spatial resolution of $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ over a 40-year period (1980–2020). Subsequently, cluster analysis (CL) using the Euclidean distance method and Ward's hierarchical approach was employed to group the waves in both spatial and temporal dimensions.

Results and Discussion: The frequency of heat and cold waves decreased with increasing wavelength from 3 to 30 days. In the cluster analysis, the number of clusters diminished as wavelength increased, and the province transformed into a homogeneous unit. In other words, at shorter wavelengths, the province was relatively more heterogeneous, comprising a greater number of independent and distinct units.

Conclusion: The relationship between the duration of heat and cold waves and the number of spatial zones in Guilan Province was found to be inverse.

Highlights:

The frequency of heat and cold waves in Guilan Province decreases with increasing wave duration, and the province transforms from a spatially heterogeneous area for short-duration waves into a single homogeneous unit for long-duration waves.

*Corresponding author : bigdeli_atoosa@yahoo.com

How to cite this article: Seydgar Ghanbar, Sh., Bikdeli, A., & Rezaei, P. (2026). Spatial-temporal variability of heat and cold waves in the Guilan province using cluster analysis method. *Journal of Geographical Engineering of Territory*, 10(1), 168-185. <https://doi.org/10.22034/jget.2025.495330.1599>



©2026 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

English Extended Abstract

Introduction

Heat and cold waves are among the most impactful natural hazards in terms of mortality and economic losses, with effects becoming increasingly severe. Rising global temperatures in the late 20th and early 21st centuries have increased extreme events like floods, droughts, heavy rainfall, and heat and cold waves. These periodic phenomena last from days to weeks and can alter regional climate structures. Understanding extreme temperature variability is essential for assessing weather-related risks, as climate change will affect hundreds of millions worldwide. Guilan Province, located along the Caspian Sea, is a major agricultural and tourist hub due to its favorable climate and natural attractions. However, climatic hazards—including heat and cold waves, heavy snow, forest fires, thunderstorms, floods, and droughts—threaten residents and visitors alike. These hazards increase resource consumption, disease outbreaks, and income loss, leading to rural-urban migration. Thus, detailed studies to identify, classify, and spatially analyze these hazards are critically important.

Purpose

This study aims to identify heat waves (HWs) and cold waves (CWs), classify them, and analyze their spatial-temporal variability across Guilan Province.

Geographical area

Guilan Province is located in northern Iran, along the southern coast of the Caspian Sea. The province is characterized by its humid subtropical climate, with the Alborz mountain range to the south and the Caspian Sea to the north. This unique geographical setting creates diverse climatic conditions, ranging from coastal areas to high mountainous regions, making it an ideal area for studying the spatial variability of temperature extremes. The province's strategic location as a major agricultural and tourism hub further underscores the importance of understanding climate hazards in this region.

Methodology (Material and Methods)

This research utilized maximum and minimum daily temperature data from the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) under the ERA5 version, with a spatial resolution of $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ for a 40-year period (1980–2020). The dataset covered 48 grid points across the province. The 90th and 10th percentiles of daily maximum and minimum temperatures for each grid cell over the 40-year period were used as thresholds for identifying heat waves and cold waves, respectively. A heat wave was defined as at least three consecutive days with maximum temperatures above the daily threshold. Similarly, a cold wave was defined as at least three consecutive days with minimum temperatures below the daily threshold. Wave duration was classified into various lengths: 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, and 30 days. For spatial and temporal grouping of wave frequencies, hierarchical cluster analysis using Ward's method with Euclidean distance was employed. This method calculates the distance between two clusters as the sum of squares between clusters added across all variables. A 48×12 matrix (grid cells $\times$ months) was created for temporal analysis, and a 12×48 matrix (months $\times$ grid cells) for spatial analysis.

Results and Discussion

The frequency of heat waves decreased with increasing duration. Temporal cluster analysis showed that 3-day heat waves formed two clusters, while 21-day waves formed only one cluster (excluding August), indicating greater temporal homogeneity for longer waves. Similarly, cold waves showed that 27-day waves formed a single cluster across all months, confirming that longer-duration cold waves are more temporally uniform. Spatial cluster analysis revealed that 3-day heat waves were distributed across five zones, while 21-day waves covered only one zone, demonstrating that the province becomes spatially homogeneous for longer-duration events. For cold waves, 3-day waves spanned four zones, whereas 27-day waves formed a single zone across the entire province. The inverse relationship between wave duration and the number of spatial zones was confirmed for both heat and cold waves. Spatial distribution maps illustrated these patterns: shorter waves exhibited greater heterogeneity, with coastal and mountainous areas showing different frequencies, while longer waves affected the entire province uniformly. This inverse relationship

has important implications for regional planning and hazard management. The findings confirm that the province is relatively heterogeneous for shorter wavelengths but becomes a single homogeneous unit at longer wavelengths, consistent with the region's physical geography where coastal and mountainous temperature differences diminish during prolonged extreme events.

Conclusion

This study successfully identified and classified heat and cold waves in Guilan Province and analyzed their spatial-temporal variability using cluster analysis. The results demonstrate that the frequency of both heat and cold waves decreases with increasing wave duration. Temporal cluster analysis showed that longer-duration waves exhibit greater homogeneity across months, with the province acting as a temporally uniform unit for waves lasting 21 days or more. Spatial cluster analysis revealed that the province is spatially heterogeneous for shorter-duration waves, with multiple distinct zones, but becomes a single homogeneous unit for longer-duration waves. The inverse relationship between wave duration and the number of zones was confirmed for both heat and cold waves. These findings have important implications for agriculture, public health, tourism, energy infrastructure, and disaster management in the region. Understanding the spatial and temporal distribution patterns of heat and cold waves can help planners develop appropriate strategies to mitigate their adverse effects. Given the projected increase in extreme events under climate change scenarios, this knowledge is essential for building resilient communities and infrastructure in Guilan Province.

Acknowledgements

The authors would like to thank all participants of the present study.

تغییرپذیری مکانی-زمانی امواج گرم و سرد در پهنه استان گیلان با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای^۱

شراره صیدگر قنبر ^{id} ۱، آتوسا بیک‌دلی ^{*} ۱، پرویز رضائی ^{id} ۱

^۱ گروه جغرافیا، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
واژگان کلیدی: سطح آستانه، امواج گرم و سرد، شدت موج، تحلیل خوشه‌ای، استان گیلان.	مقدمه: امواج گرم و امواج سرد و سرد از تأثیرگذارترین مخاطرات طبیعی بر مرگ‌ومیر و اقتصاد هستند. افزایش دمای جهانی، پدیده‌های حدی مانند سیل، خشکسالی، بارش‌های شدید و امواج گرم و سرد را تشدید کرده است. هدف: در این پژوهش اقدام به شناسایی امواج گرم (HWS) و سرد (CWS)، طبقه‌بندی و تغییرپذیری مکانی-زمانی آن در گستره استان گیلان شده است. قلمرو جغرافیایی: این پژوهش، استان گیلان است که در شمال ایران و حاشیه جنوبی دریای خزر واقع شده و به دلیل شرایط اقلیمی خاص خود، همواره در معرض نوسانات دمایی و مخاطرات ناشی از امواج گرم و سرد قرار دارد. روش شناسی: برای این کار داده‌های دمای حداکثر و حداقل از سایت مرکز اروپایی پیش‌بینی میان‌مدت جو (ECMWF) تحت نسخه ERA5 با تفکیک مکانی $[0, 25] \times [0, 25]^\circ$ بمدت ۴۰ سال (۱۹۸۰ تا ۲۰۲۰) دریافت شد. سپس با استفاده از تحلیل خوشه‌ای (CL) به روش فاصله اقلیدوسی و تحلیل پایداری وارد، اقدام به گروه‌بندی امواج از بعد مکانی و زمانی شد. نتایج و بحث: فراوانی امواج گرم و سرد با افزایش طول موج از ۳ به ۳۰ روز کاهش یافت. در تحلیل خوشه‌ای، تعداد خوشه‌ها با افزایش طول موج کمتر شد و استان به یک واحد همگن تبدیل گردید؛ بدین معنا که در طول موج‌های کوتاه‌تر، استان ناهمگن‌تر و دارای واحدهای مستقل بیشتری است. نتیجه‌گیری: رابطه بین مدت امواج گرم و سرد با تعداد نواحی آن در استان گیلان، از نوع معکوس بدست آمد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۰۲ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۲/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۲۴ صص. ۱۸۵-۱۶۸	نکات برجسته: فراوانی امواج گرم و سرد در استان گیلان با افزایش مدت امواج کاهش می‌یابد و استان از یک منطقه ناهمگن برای امواج کوتاه‌مدت به یک واحد همگن برای امواج بلندمدت تبدیل می‌شود.

استناد: صیدگر قنبر، ش، بیک‌دلی، آ، و رضائی، پ (۱۴۰۵). تغییرپذیری مکانی-زمانی امواج گرم و سرد در پهنه استان گیلان با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای. *مجله مهندسی جغرافیایی سرزمین*، دوره (۱۰)، شماره (۱)، ۱۶۸-۱۸۵.

<https://doi.org/10.22034/jget.2025.495330.1599>

ناشر: آبادگران شهر و روستا

© نویسنده (گان) - این مقاله با دسترسی آزاد است



^۱ مقاله حاضر مستخرج از رساله دکتری نویسنده اول با راهنمایی نویسنده دوم و مشاوره نویسنده سوم در دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت انجام شده‌است.

مقدمه

امواج گرم و سرد بخشی از رخدادهای حدی جو هستند که باعث صدمات شدیدی در زندگی بشر شده و محیط‌زیست را تخریب می‌کنند. یک موج دوره‌ای است که دوام و پایداری آن چند روز تا چند هفته طول کشیده و ممکن است با رطوبت شدید همراه باشد. موج‌های گرم و سرد جزء رخدادهای فرین محسوب می‌شوند که با روند افزایشی یا کاهش دما در دوره سرد و گرم اتفاق می‌افتند. تغییرات ناگهانی یا کوتاه‌مدت و بلندمدت دما می‌تواند ساختار آب‌وهوای هر محل را دگرگون سازد. از اینرو، تغییرپذیری و تغییر در رژیم‌های دمایی شدید یک چالش قابل توجه برای اکثر مناطق دنیا محسوب می‌شود. با این وصف، تصویر کامل همراه با ارزیابی قوی از رژیم‌های شدید دما می‌تواند اطلاعات مهمی از خطرات مربوط به آب‌وهوا که جامعه با آن روبرو است فراهم کند. زیرا در دهه های آینده، تغییرات آب‌وهوایی صدها میلیون نفر را در معرض اثرات آن قرار خواهد داد (Barnett, Hajat, Gasparrini & Rocklov, 2012; Ceccherini et al., 2016).

استان گیلان بعنوان یکی از استان‌های سواحل جنوبی دریای خزر، از جمله قطب‌های اصلی تولیدات کشاورزی و دامی و همچنین قطب اصلی جذب گردشگری بعلاوه شرایط آب و هوایی، سواحل، کوهستان، جنگل‌ها و مراتع سرسبز است. از دیگر ویژگی‌های انسانی که باعث شده این منطقه از کشور از بازدیدکنندگان بی‌شمار برخوردار باشد سرعت دسترسی از پایتخت و کلان‌شهرهای مجاور به این ناحیه است. در این ناحیه مخاطرات اقلیمی از جمله موج‌های گرم و سرد، برف‌های سنگین، آتش‌سوزی جنگل‌ها در اثر باد گرم (فون)، رعد و برق، تگرگ، رگبارهای شدید، سیلاب‌ها و خشکسالی‌ها، افراد بومی و مسافران را تهدید می‌کند. این مخاطرات به همراه خود افزایش مصرف منابع آب و برق و گاز، شیوع بیماری‌ها و آفت‌های گیاهی، کاهش درآمد و به دنبال آن مهاجرت افراد از روستاها به شهرهای اطراف و کلان‌شهرها خواهد شد. از اینرو مطالعات دقیق‌تر به منظور شناسایی، پایش، طبقه‌بندی و توزیع مکانی مخاطرات جوی در این ناحیه از اهمیت زیادی برخوردار بوده و انجام آن ضروری بنظر می‌رسد (Alijani et al., 2013).

مطالعات زیادی در زمینه امواج گرم و سرد انجام شده است که در ادامه به برخی از آنها اشاره خواهد شد. در طبقه‌بندی امواج گرم استان گیلان مشخص شد که ارتفاع، رطوبت و ویژگی‌های سواحل در پراکندگی مکانی روزهای تنش گرما و موج گرما تاثیر زیادی دارند، بطوریکه ایستگاه‌های نزدیک به ساحل و کم‌ارتفاع (به غیر از انزلی) دارای بالاترین روزهای استرس و موج گرما بوده و ایستگاه‌های نواحی کوهستانی و دور از سواحل مرطوب (غیر از منجیل) دارای کمترین فراوانی موج گرم هستند (Alijani et al., 2013). بررسی موج‌های گرمایی در خراسان جنوبی نشان داد مهم‌ترین کانون رخداد امواج گرمایی استان، جنوب و جنوب غرب و همچنین دیگر قطب گرمایی استان، بشرویه و سه قلعه است. همچنین شناسایی کانون‌های بحران امواج گرم در استان می‌تواند به برنامه‌ریزی و مدیریت بحران در جوامع انسانی کمک کند (Esmailnejad, 2014). تحلیل فضایی-زمانی امواج گرمایی خراسان رضوی نشان داد که این امواج در اکثر ایستگاه‌های منطقه روند افزایشی داشته است. همچنین در فصل بهار نواحی شمالی و شرقی استان کمترین موج گرما و در فصل تابستان ایستگاه‌های مشهد، تربت حیدریه و کاشمر بیشترین موج گرمایی را تجربه کردند (Sadeghi, Dostan & Sanei, 2015). شناسایی امواج گرمایی و تحلیل تغییرات زمانی-مکانی آن در ایران بیانگر حداکثر رخداد امواج در غرب رشته کوه زاگرس و سپس دشت کویر است. همچنین بیشینه بزرگی امواج متعلق به مناطق جنوب‌شرقی و مرکزی کشور بوده و فصول پاییز و زمستان به ترتیب سهم بالایی از شدیدترین امواج گرمایی را تجربه می‌کنند. علاوه بر این، افزایش معنی‌داری در تعداد و بزرگی امواج گرمایی کشور در حال اتفاق است (Baharvandi, Mojarad & Masompour, 2020). بررسی امواج گرمایی کم‌تداوم ایران نشان می‌دهد که کم‌فشار عربستان و کم‌فشار پاکستان مهم‌ترین سامانه‌های رخداد این امواج هستند. همچنین در زمان رخداد این امواج پایداری شدیدی بر جو ایران حاکم بوده و در سطح زمین کم‌فشار و در سطح بالای جو پرفشار تسلط دارد (Khosravi & Esmailnejad, 2020). علاوه بر موارد بالا، در زمینه علل و عوامل ایجاد امواج گرم و سرد و همچنین فراوانی، شدت و روند آن مطالعات گسترده‌ای در سطح کشور انجام شده که از جمله می‌توان به کارهای خورشید دوست و همکاران (۱۳۹۶)، اسماعیل‌نژاد (۱۳۹۳)، روشن و همکاران (۲۰۱۸) و صیدگر و همکاران (۱۴۰۳) اشاره کرد.

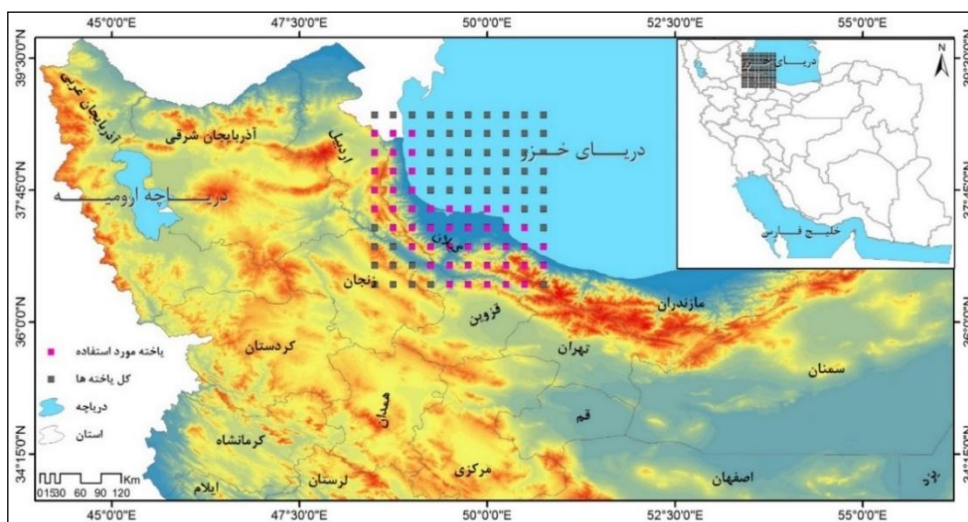
در سایر مناطق دنیا امواج گرم و سرد مورد توجه اقلیم‌شناسان بوده و بررسی شده است. از جمله بررسی ویژگی‌های موج سرد در استان جیلین چین نشان داد که از سال ۱۹۶۱، میانگین تعداد رخداد موج سرد این استان ۸/۳ روز در سال بوده است که بیشترین تعداد رخداد در ماه فوریه و سپس دسامبر و ژانویه و موج سرد بهاری بیشتر در ماه مارس رخ داده است. در این راستا، مناطق با خطر

بالای موج سرد عمدتاً در شهر سیپینگ^۱، چانگچون^۲، لیاویان^۳، جیلین^۴، شهر شمالی تونگ هوا^۵ و بیشتر در شهر بایشان^۶ متمرکز شده‌اند. مناطق با خطر کم‌موج سرد عمدتاً در شهرهای بایچنگ^۷، سونگ یوان^۸ و استان یانبیان^۹ قرار دارند و سایر مناطق با خطر متوسط موج سرد روبرو هستند (Xu et al., 2018). پیش‌بینی امواج گرم و سرد اروپا نشان داد که امکان پیش‌بینی رخدادها در یک زمان ۲ هفته‌ای، اما با کاهش شدید پیش‌بینی‌پذیری در طول هفته اول پیش‌بینی‌ها وجود دارد. نمرات بدست آمده، دقت پیش‌بینی بالاتری را برای امواج سرد (در زمستان) نسبت به امواج گرما (در تابستان) نشان می‌دهد. همچنین شروع و خاتمه امواج، کمتر قابل پیش‌بینی بوده و به طور متوسط حدود ۳۵ درصد زمان شروع و خاتمه امواج گرم و سرد مشاهده شده با دقت زمانی ۵ روزه پیش‌بینی شده است (Lavaysse et al., 2019). همچنین مطالعات بیانگر آن است که امواج سرد در عرض‌های معتدله شمالی در حال ملایم‌تر شدن هستند. عبارت دیگر، تجزیه و تحلیل مشاهدات عرض‌های معتدله شمالی، کاهش مداوم در شدت و فراوانی امواج سرد را در دهه‌های گذشته تأیید می‌کند (Oldenborgh et al., 2019). علاوه بر این مطالعات انجام شده حاکی از افزایش قابل توجه اندازه فرین‌های گرمایی در مقیاس جهانی است، این در حالی است که از فرین‌های سرد با سرعت بیشتری کاسته می‌شود. در نتیجه اقلیم غالب از فرین‌های سرد به سمت فرین‌های گرم تغییر کرده و در مجموع از اندازه فرین‌ها کاسته می‌شود. بیشترین روندها در مناطق گرمسیری و قطبی مشاهده شده و خاورمیانه، شمال آفریقا و بویژه منطقه مدیترانه به عنوان نقاط داغ تغییرات آب‌وهوایی شناسایی شدند (Zhang et al., 2022). در بررسی امواج گرم و سرد اسپانیا مشخص شد که مدت زمان امواج ۴ تا ۵ روزه برای هر دوی آنها یکی بوده، اما شدت فصلی امواج سرد بسیار بالاتر از امواج گرم (دو برابر امواج گرم) است. اوایل دهه ۱۹۸۰ نقطه عطفی است که از آن به بعد امواج گرم از امواج سرد فروان‌تر، طولانی‌تر و شدیدتر شدند (Notivoli et al., 2022). روند خطرات موج گرم و سرد در منطقه ترنتینو-آلتو آدیجه ایتالیا^{۱۰} با استفاده از شاخص بزرگی موج گرم^{۱۱} (HWMId) و سرد^{۱۲} (CWMId) روزانه بیانگر آن است که افزایش آماری معنی‌داری در خطر موج گرم ایجاد شده است در حالی که خطر موج سرد منطقه در طول دوره مورد مطالعه ثابت است. همچنین کاهش آسیب‌پذیری در برابر دوره‌های فرین دمایی در منطقه مشاهده می‌شود، به جز در شهرهای بزرگ‌تر که آسیب‌پذیری افزایش یافته است. علاوه بر این، خطر موج گرم در ۴۰ درصد منطقه افزایش یافته و بیشتر افزایش در مناطق پرجمعیت بوده است (Morlot et al., 2023). بررسی شدت امواج گرم و سرد به همراه رطوبت نسبی در حوضه‌های نیمه‌گرمسیری مرطوب (حوضه رودخانه گان^{۱۳} در چین) حاکی از روند افزایشی امواج گرم و روند کاهشی امواج سرد در طی سال‌های ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۸ بوده است. همچنین مشخص شد اثر تقویتی رطوبت نسبی بالا بر امواج گرم به طور قابل توجهی بیشتر از امواج سرد است (Zhang et al., 2023). سایر مطالعات نیز افزایش فراوانی امواج گرم و سرد و همچنین شدت آن را گزارش کرده‌اند. البته در برخی از مطالعات روند بین امواج گرم و سرد بر عکس هم بوده است (Sanderson et al., 2017; Morabito et al., 2017; Spinoni et al., 2015; Bhattacharya et al., 2023). در این پژوهش براساس داده‌های شبکه‌ای ERA5، امواج گرم و سرد (HWS و CWS) استان گیلان به همراه تغییرپذیری مکانی-زمانی این دو پدیده مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین استان براساس فراوانی رخداد امواج گرم و سرد به روش تحلیل خوشه‌ای پهنه‌بندی شده است تا از این طریق اطلاعات دقیقی از توزیع و پراکنش رخداد امواج فوق در گستره استان فراهم گردد.

1. Siping
2. Changchun
3. Liaoyuan
4. Jilin
5. Tonghua
6. Baishan
7. Baicheng
8. Songyuan
9. Yanbian
10. Trentino-Alto Adige
11. Heat Wave Magnitude Index Daily
12. Cold Wave Magnitude Index Daily
13. Gan

روش شناسی (مواد و روش‌ها)

به منظور بررسی امواج گرم و سرد پهنه استان گیلان از دمای حداکثر و حداقل روزانه بمدت ۴۰ سال (۱۹۸۰ تا ۲۰۲۰) استفاده شده است. داده‌های دما از سایت مرکز اروپایی پیش‌بینی میان‌مدت جو ۱ تحت نسخه ERA5 برای طول جغرافیایی 48° و $33'$ تا 50° و $36'$ طول شرقی و عرض جغرافیایی 36° و $33'$ تا 38° و $27'$ عرض شمالی تهیه گردید. اندازه هر یاخته نیز $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ بوده و ماتریسی به ابعاد 10×10 سطر و ستون تشکیل شد که ۱۰۰ یاخته را در هر بار اندازه‌گیری پوشش می‌دهد. در شکل ۱ موقعیت محدوده مورد مطالعه و شبکه‌بندی آن آورده شده است.



شکل ۱. شبکه‌بندی $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ داده‌های بازتحلیل سایت ECMWF نیز تحت عنوان ERA5
Figure 1. $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ gridding of the ECMWF reanalysis data under the ERA5 version

- در این پژوهش، آستانه دما برای شناسایی امواج گرم و سرد نیز صدک ۹۰ و ۱۰ام دمای حداکثر و حداقل روزانه هر یاخته در طی ۴۰ سال در نظر گرفته شده است. سپس مراحل زیر جهت تعیین یک موج گرم:
- **آستانه روزانه^۲:** با استفاده از تعریف بالا، آستانه روزانه برای دوره مرجع (۱۹۸۱ تا ۲۰۲۰) محاسبه می‌شود.
 - **انتخاب موج گرم^۳:** برای هر سال تمامی امواج گرم که دارای حداقل سه روز متوالی دمای حداکثر بالای مقدار آستانه روزانه دارند انتخاب می‌گردند.
 - **موج گرم به زیرشاخه موج گرم^۴:** هر موج گرم به n زیرشاخه موج گرم تجزیه می‌شود، در اینجا یک زیر شاخه موج گرم نیز موج گرمی با توالی سه روزه است.
 - **شدت بی‌مقیاس شده زیرشاخه موج گرم^۵:** به جمع دماهای حداکثر سه روزه یک زیرشاخه موج گرم گفته می‌شود.
 - **شدت زیرشاخه موج گرم^۶:** شدت بی‌مقیاس شده زیرشاخه موج گرم به مقدار احتمال بین صفر تا ۱ تبدیل می‌شود، که به شدت زیرشاخه موج گرم معروف است.
 - **شدت موج گرم^۷:** شدت هر موج گرم بصورت جمع شدت‌های n زیرشاخه موج گرم تعریف می‌گردد.
 - **شاخص شدت موج گرم^۸:** به حداکثر تمامی شدت‌های موج گرم در یک سال مفروض گفته می‌شود.
- و مراحل زیر برای یک موج سرد انجام شد.

1. European Center for Medium-Range Weather
2. Daily Threshold
3. Heat Wave Selection
4. Heat Wave to Subheat Waves
5. Subheat Wave Unscaled Magnitude
6. Subheat Wave Magnitude
7. Heat Wave Magnitude
8. Heat Wave Magnitude Index

- **آستانه روزانه:** برای هر روز سال، آستانه روزانه بصورت صدک ۱۰ام دمای روزانه تعریف می‌شود که مرکز آن پنجره ۴۰ روزه برای یک دوره ۴۰ ساله است. با توجه به دوره آماری پنجره آن متغیر می‌باشد.
 - **انتخاب موج سرد:** برای هر سال، همه موج‌های سرد با حداقل ۳ روز متوالی زیر دمای آستانه روزانه انتخاب می‌گردد.
 - **موج سرد به زیرشاخه‌های موج سرد:** هر موج سرد به X زیر شاخه موج سرد تجزیه می‌شود، در اینجا یک زیرشاخه موج سرد نیز یک موج سرد ۳ روزه است.
 - **بی‌مقیاس کردن شدت زیرشاخه موج سرد:** برای هر زیرشاخه موج سرد، شدت بی‌مقیاس شده بصورت جمع دماهای روزانه (سه روز متوالی) تعریف می‌گردد.
 - **شدت مقیاس دار زیرشاخه موج سرد:** برای هر زیرشاخه موج سرد، شدت بی‌مقیاس شده به احتمالی که بین صفر تا ۱ متغیر است تبدیل می‌گردد.
 - **شدت موج سرد:** شدت هر موج سرد بصورت جمع شدت‌های مقیاس دار X زیرشاخه موج سرد تعریف می‌شود.
 - **شاخص شدت موج سرد:** به حداقل تمامی شدت‌های موج سرد در یک سال مفروض گفته می‌شود.
- در همین راستا به منظور گروه‌بندی و بررسی هماهنگی زمانی و مکانی فراوانی رخداد امواج گرم و سرد در طول موج‌های مختلف از روش تحلیل خوشه‌ای استفاده شد. در این پژوهش، شباهت بین خوشه‌ها و جداسازی خوشه‌های همگن براساس مربع فاصله اقلیدسی تعیین و تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی با روش وارد^۱ انجام گردید. روش وارد فاصله بین دو خوشه را به عنوان مجموع مربعات بین دو خوشه که بر روی تمام متغیرها اضافه شده محاسبه می‌کند. اگر C_L و C_K دو دسته هستند که برای تشکیل خوشه C_L ترکیب شده‌اند، فاصله بین خوشه جدید و خوشه دیگر C_J است.

$$d_{J.M} = \frac{((n_J + n_K))d_{JK} + (n_J + n_L)d_{JL} - n_J d_{KL}}{n_J + n_M} \quad (۱)$$

در این رابطه n_L, n_K, n_J و n_M به ترتیب تعداد اعضاء در خوشه‌های J, K, L و M است، و d_{JK} و d_{JL} و d_{KL} نیز به ترتیب فاصله بین مشاهدات در خوشه‌های J و K, J و L و K و L را نشان می‌دهند (Soltani & Modarres., 2006).

یافته‌ها و بحث

به منظور بررسی هماهنگی زمانی تغییرات فراوانی امواج گرم و سرد با طول موج‌های مختلف از روش تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی استفاده شد. بدین ترتیب ماتریسی به ابعاد 48×12 سطر و ستون تشکیل شد، که سطرها بیانگر یاخته‌ها (مکان) و ستون‌ها بیانگر زمان (ماه) هستند. سپس با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی اقدام به گروه‌بندی زمانی آنها شد. در جدول ۱ نتایج تحلیل خوشه‌ای امواج گرم با طول موج‌های مختلف آورده شده است. چنانچه مشاهده می‌شود فراوانی امواج گرم ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۵، ۱۸ و ۲۱ روزه به ترتیب در ۲، ۳، ۴، ۳ و ۲ گروه قرار گرفتند. در این راستا، امواج ۳ روزه ماه‌های آوریل، می، ژوئن، ژولای، نوامبر و دسامبر در گروه اول و امواج ۳ روزه سایر ماه‌ها یعنی ژانویه، فوریه، مارس، آگوست و اکتبر نیز گروه دوم را تشکیل می‌دهند. این بدین معنی است که ماه‌هایی که رفتارهای مشابه داشتند در یک گروه و ماه‌های دیگر در گروه‌های بعدی قرار می‌گیرند. در نتیجه باید گفت فراوانی رخداد امواج گرم ۳ روزه ماه‌های فصل زمستان، ماه آگوست فصل تابستان و ماه اکتبر فصل پاییز از لحاظ زمانی دارای رفتار مشابه بوده و در گروه اول و ماه‌های فصل بهار، ماه‌های ژولای و سپتامبر فصل تابستان و ماه‌های نوامبر و دسامبر فصل پاییز نیز از لحاظ شباهت زمانی در گروه دوم واقع هستند. همچنین گروه‌بندی زمانی فراوانی امواج گرم ۶ روزه نشان می‌دهد که ماه‌های مارس، آوریل، اکتبر و نوامبر در گروه اول، ماه‌های می، ژوئن، ژولای و سپتامبر در گروه دوم و ماه‌های ژانویه، فوریه، آگوست و دسامبر در گروه سوم از لحاظ زمانی قرار دارند. بعبارتی ماه‌های واقع در هر گروه از لحاظ فراوانی رخداد امواج ۶ روزه شبیه به هم بوده و مثل هم عمل می‌کنند. بدین ترتیب ماه‌های فوریه، مارس، آوریل، می و اکتبر امواج گرم ۹ روزه در گروه اول، ماه‌های ژانویه، نوامبر و دسامبر در گروه دوم و ماه‌های ژوئن، ژولای، آگوست و سپتامبر نیز در گروه سوم قرار می‌گیرند. همچنین گروه اول امواج گرم ۱۲ روزه نیز ماه‌های فوریه، آوریل، می و اکتبر، گروه دوم این امواج ماه‌های ژوئن، ژولای، آگوست،

سپتامبر، نوامبر و دسامبر و گروه سوم آن نیز ماه‌های ژانویه و مارس هستند. امواج گرم ۱۵ روزه هم در ۴ گروه به ترتیب گروه اول ماه‌های آوریل، می و اکتبر، گروه دوم ماه‌های آگوست و سپتامبر، گروه سوم ماه‌های ژوئن و ژولای و گروه چهارم نیز ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، نوامبر و دسامبر را شامل می‌شوند. چنانچه از جدول ۱ پیداست با افزایش طول موج و مدت امواج گرم، فراوانی رخداد امواج گرم از لحاظ زمانی در ماه‌های مختلف نسبتاً همگن‌تر شده و یکنواخت عمل می‌کنند. بطوریکه در امواج گرم ۱۸ روزه که از ۳ گروه تشکیل شده است، گروه اول ماه‌های فوریه، مارس، آوریل، می، اکتبر، سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر (۸ ماه)، گروه دوم ماه‌های ژوئن، ژولای و آگوست و گروه سوم فقط ماه ژانویه را در بر می‌گیرد. در نهایت امواج گرم ۲۱ روزه دارای ۲ گروه مجزا از هم هستند که گروه اول تمامی ماه‌ها (به استثنای ماه آگوست بعنوان گروه دوم) را شامل می‌شود. با توجه به اینکه احتمال رخداد امواج گرم ۱۸ و ۲۱ روزه از لحاظ زمانی در محدوده استان گیلان بسیار کم است، این ناحیه بصورت یک واحد همگن و منسجم از لحاظ رخداد زمانی امواج گرم شناخته می‌شود.

جدول ۱. نتایج تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی (CL) فراوانی رخداد امواج گرم با طول موج‌های مختلف (بعد زمانی)

Table 1. Results of hierarchical cluster analysis (CL) of heat wave occurrence frequency with different wavelengths (temporal dimension)

نوع موج	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
۳ روزه	۲	۲	۲	۱	۱	۱	۱	۲	۱	۲	۱	۱
۶ روزه	۳	۳	۱	۱	۲	۲	۲	۳	۲	۱	۱	۳
۹ روزه	۲	۱	۱	۱	۱	۳	۳	۳	۳	۱	۲	۲
۱۲ روزه	۳	۱	۳	۱	۱	۲	۲	۲	۲	۱	۲	۲
۱۵ روزه	۴	۴	۴	۱	۱	۳	۳	۲	۲	۱	۴	۴
۱۸ روزه	۳	۱	۱	۱	۱	۲	۲	۲	۱	۱	۱	۱
۲۱ روزه	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۲	۱	۱	۱	۱

برگرفته از: یافته‌های تحقیق

در جدول ۲ نتایج تحلیل خوشه‌ای فراوانی رخداد امواج سرد با طول موج‌های مختلف آورده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود فراوانی امواج سرد ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۵، ۱۸، ۲۱، ۲۷ و ۳۰ روزه به ترتیب در ۳، ۳، ۴، ۳، ۳، ۳، ۲، ۲، ۱ و ۳ گروه طبقه‌بندی شده‌اند. بطوریکه ماه‌های ژانویه، مارس، می، ژوئن، اکتبر، نوامبر و دسامبر امواج ۳ روزه در گروه اول، ماه‌های فوریه، آوریل، ژولای و سپتامبر در گروه دوم و ماه آگوست در گروه سوم قرار می‌گیرند. امواج ۶ روزه هم مانند امواج ۳ روزه به سه گروه طبقه‌بندی شد که گروه اول ماه‌های فوریه، مارس، می، ژولای، سپتامبر و نوامبر، گروه دوم فقط ماه ژانویه و گروه سوم نیز ماه‌های آوریل، ژوئن، آگوست، اکتبر و دسامبر را شامل می‌شوند. این مهم نیز در مورد سایر امواج سرد هم برقرار می‌باشد. فراوانی امواج سرد ۹ روزه بر خلاف امواج ۳ و ۶ روزه در چهار گروه قرار گرفت که به ترتیب گروه اول ماه‌های ژانویه، فوریه، آوریل، ژوئن، ژولای و سپتامبر، گروه دوم ماه‌های مارس، می و اکتبر، گروه سوم ماه‌های نوامبر و دسامبر و در نهایت گروه چهارم نیز ماه آگوست را پوشش می‌دهد. در امواج ۱۲ روزه بیشتر ماه‌ها در گروه اول قرار دارند (ماه‌های فصل زمستان و بهار و ماه ژولای و سپتامبر فصل تابستان)، همچنین ماه‌های فصل پاییز در گروه دوم و فقط ماه آگوست در گروه سوم قرار گرفته است. چنانچه مشاهده می‌شود با افزایش طول موج امواج سرد، پیوستگی زمانی این امواج افزایش یافته و این موضوع بیانگر همگنی زمانی امواج بلندتر در ناحیه مورد مطالعه است. این مهم برای امواج سرد ۱۲ تا ۳۰ روزه هم صدق می‌کند.

در این راستا فراوانی امواج سرد ۱۵ روزه نیز به سه طبقه تقسیم گردید که گروه اول شامل ماه‌های فوریه، آوریل، می، ژولای، سپتامبر، اکتبر و نوامبر، گروه دوم نیز ماه‌های ژانویه، ژوئن، آگوست و دسامبر و گروه سوم هم ماه مارس است. اما نکته مهم در مورد امواج سرد ۱۸ تا ۳۰ روزه این است که اکثر ماه‌های سال در گروه اول و گروه دوم نیز فقط یک ماه را در بر می‌گیرند. در نتیجه توزیع زمانی فراوانی رخداد امواج سرد همانند امواج گرم نشان می‌دهد که امواج سرد در طول موج‌های بلند نیز همگن‌تر از طول موج‌های کوتاه‌تر عمل کرده و به احتمال زیاد یک ناحیه همگن از لحاظ زمانی محسوب می‌شود.

جدول ۲. نتایج تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی (CL) فراوانی رخداد امواج سرد با طول موج‌های مختلف (بعد زمانی)

Table 2. Results of hierarchical cluster analysis (CL) of cold wave occurrence frequency with different wavelengths (temporal dimension)

نوع موج	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژولای	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
۳ روزه	۱	۲	۱	۲	۱	۱	۲	۳	۲	۱	۱	۱
۶ روزه	۲	۱	۱	۳	۱	۳	۱	۳	۱	۳	۱	۳
۹ روزه	۱	۱	۲	۱	۲	۱	۱	۴	۱	۲	۳	۳
۱۲ روزه	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۳	۱	۲	۲	۲
۱۵ روزه	۲	۱	۳	۱	۱	۲	۱	۲	۱	۱	۱	۲
۱۸ روزه	۲	۱	۲	۱	۱	۱	۱	۲	۱	۱	۱	۱
۲۱ روزه	۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۲	۱	۱	۱	۱
۲۴ روزه	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۲	۱	۱	۱	۱
۲۷ روزه	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۳۰ روزه	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۳	۱	۱	۱	۲

بر گرفته از: یافته‌های تحقیق

به منظور بررسی هماهنگی مکانی تغییرات فراوانی امواج گرم و سرد با طول موج‌های مختلف، در ابتدا ماتریسی به ابعاد ۱۲×۴۸ سطر و ستون تشکیل شد، که سطرها بیانگر ماه‌ها (زمان) و ستون‌ها بیانگر یاخته‌ها (مکان) هستند. سپس با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی اقدام به گروه‌بندی مکانی آنها شد. نتایج طبقه‌بندی در جداول ۳ و ۴ و اشکال ۲ و ۳ آورده شده است. در جدول ۳ نتایج تحلیل خوشه‌ای فراوانی رخداد امواج گرم ۳، ۴، ۹، ۱۲، ۱۵، ۱۸ و ۲۱ روزه استان گیلان در طی ۴۰ سال (۱۹۸۱ تا ۲۰۲۰) آورده شده است. چنانچه مشاهده می‌شود تن رنگ‌ها از خوشه اول به طرف خوشه‌های بالاتر پر رنگ‌تر شده و این قاعده برای تمامی امواج برقرار است. با توجه به این جدول فراوانی رخداد امواج گرم ۳ تا ۲۱ روزه با توالی زمانی ۳ روزه به ترتیب در ۴، ۳، ۳، ۳ و ۱ گروه طبقه‌بندی شدند. گروه‌های مکانی بدست آمده در طول موج‌های کوتاه‌تر از تعدد بیشتری نسبت به گروه‌های مکانی بدست آمده در طول موج‌های بالاتر برخوردار هستند. با افزایش طول موج گرم، تمام گستره استان گیلان بصورت یک واحد همگن مکانی عمل می‌کند در حالی که با کاهش طول این امواج، پهنه استان به واحدهای بیشتری که از تجانس درون‌گروهی بالا و برون‌گروهی پایین برخوردار هستند تقسیم می‌شود.

جدول ۳. نتایج تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی (CL) فراوانی رخداد امواج گرم با طول موج‌های مختلف (بعد مکانی)

Table 3. Results of hierarchical cluster analysis (CL) of heat wave occurrence frequency with different wavelengths (spatial dimension)

یاخته	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	۳ روزه	۶ روزه	۹ روزه	۱۲ روزه	۱۵ روزه	۱۸ روزه	۲۱ روزه
۵S	۴۹/۵	۳۶/۵	۵	۲	۳	۱	۳	۱	۱
۶S	۴۹/۷۵	۳۶/۵	۵	۲	۳	۲	۲	۲	۱
۷S	۵۰	۳۶/۵	۵	۲	۳	۱	۲	۲	۱
۸S	۵۰/۲۵	۳۶/۵	۵	۴	۳	۱	۲	۲	۱
۹S	۵۰/۵	۳۶/۵	۴	۴	۳	۲	۲	۱	۱
۱۴S	۴۹/۲۵	۳۶/۷۵	۲	۱	۲	۱	۳	۱	۱
۱۵S	۴۹/۵	۳۶/۷۵	۲	۱	۲	۱	۳	۱	۱
۱۶S	۴۹/۷۵	۳۶/۷۵	۵	۴	۳	۱	۳	۱	۱
۱۷S	۵۰	۳۶/۷۵	۵	۲	۳	۲	۲	۲	۱
۱۸S	۵۰/۲۵	۳۶/۷۵	۴	۲	۳	۲	۲	۲	۱
۱۹S	۵۰/۵	۳۶/۷۵	۱	۱	۳	۲	۳	۱	۱
۲۰S	۵۰/۷۵	۳۶/۷۵	۱	۱	۲	۲	۳	۱	۱
۲۳S	۴۹	۳۷	۲	۱	۲	۱	۳	۱	۱
۲۴S	۴۹/۲۵	۳۷	۱	۴	۱	۱	۳	۱	۱
۲۵S	۴۹/۵	۳۷	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۲۶S	۴۹/۷۵	۳۷	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۲۷S	۵۰	۳۷	۱	۱	۲	۱	۳	۱	۱
۲۸S	۵۰/۲۵	۳۷	۳	۴	۱	۱	۳	۱	۱
۲۹S	۵۰/۵	۳۷	۱	۴	۱	۱	۳	۱	۱
۳۰S	۵۰/۷۵	۳۷	۱	۴	۱	۳	۱	۴	۱
۳۲S	۴۸/۷۵	۳۷/۲۵	۵	۲	۲	۲	۲	۱	۱

یافته	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	روزه ۳	روزه ۶	روزه ۹	روزه ۱۲	روزه ۱۵	روزه ۱۸	روزه ۲۱
۳۳S	۴۹	۳۷/۲۵	۱	۱	۲	۱	۳	۱	۱
۳۴S	۴۹/۲۵	۳۷/۲۵	۳	۳	۱	۳	۱	۳	۱
۳۵S	۴۹/۵	۳۷/۲۵	۳	۴	۱	۳	۳	۳	۱
۳۶S	۴۹/۷۵	۳۷/۲۵	۳	۳	۱	۳	۳	۱	۱
۳۷S	۵۰	۳۷/۲۵	۳	۴	۱	۳	۳	۱	۱
۳۸S	۵۰/۲۵	۳۷/۲۵	۳	۴	۱	۳	۳	۱	۱
۳۹S	۵۰/۵	۳۷/۲۵	۱	۲	۱	۳	۱	۴	۱
۴۱S	۴۸/۵	۳۷/۵	۴	۲	۳	۲	۲	۱	۱
۴۲S	۴۸/۷۵	۳۷/۵	۵	۲	۳	۱	۳	۱	۱
۴۳S	۴۹	۳۷/۵	۳	۳	۱	۱	۳	۱	۱
۴۴S	۴۹/۲۵	۳۷/۵	۳	۴	۱	۳	۳	۳	۱
۴۵S	۴۹/۵	۳۷/۵	۲	۴	۱	۳	۳	۱	۱
۴۶S	۴۹/۷۵	۳۷/۵	۴	۴	۱	۳	۲	۱	۱
۴۷S	۵۰	۳۷/۵	۴	۴	۲	۳	۱	۴	۱
۴۸S	۵۰/۲۵	۳۷/۵	۳	۱	۲	۳	۱	۴	۲
۵۱S	۴۸/۵	۳۷/۷۵	۴	۲	۳	۲	۲	۱	۱
۵۲S	۴۸/۷۵	۳۷/۷۵	۱	۲	۳	۱	۳	۱	۱
۵۳S	۴۹	۳۷/۷۵	۳	۴	۱	۳	۱	۱	۱
۶۱S	۴۸/۵	۳۸	۲	۲	۲	۲	۲	۱	۱
۶۲S	۴۸/۷۵	۳۸	۱	۳	۲	۱	۳	۱	۱
۶۳S	۴۹	۳۸	۲	۴	۱	۳	۱	۱	۱
۷۱S	۴۸/۵	۳۸/۲۵	۲	۴	۲	۱	۳	۱	۱
۷۲S	۴۸/۷۵	۳۸/۲۵	۱	۳	۱	۱	۳	۱	۱
۷۳S	۴۹	۳۸/۲۵	۲	۴	۱	۳	۱	۴	۱
۸۱S	۴۸/۵	۳۸/۵	۱	۳	۲	۱	۳	۱	۱
۸۲S	۴۸/۷۵	۳۸/۵	۳	۳	۱	۱	۱	۱	۱
۸۳S	۴۹	۳۸/۵	۴	۴	۱	۳	۱	۱	۱

بر گرفته از: یافته‌های تحقیق

البته تفاوت موجود بین طبقات امواج کوتاه‌مدت نسبت به امواج بلندمدت از فراوانی رخداد آنها ناشی می‌شود یعنی اینکه امواج کوتاه در طی دوره ۴۰ ساله بسیار بیشتر از امواج بلند مدت رخ داده‌اند بطوریکه امواج گرم ۲۱ روزه در طی دوره مورد نظر فقط یک بار اتفاق افتاده است. بنابراین با توجه به توزیع فراوانی رخداد امواج گرم باید انتظار داشت که امواج گرم کوتاه‌مدت به کرات در این ناحیه از کشور در ایام مختلف سال رخ بدهد. مسئله مهم دیگر در ارتباط با طبقه‌بندی مکانی فراوانی امواج گرم نیز توزیع جغرافیایی گروه‌های مختلف آن است که با توجه به طول موج گرم تغییراتی در آن از لحاظ مکانی مشاهده می‌شود. در شکل ۲ توزیع مکانی گروه‌های مختلف امواج گرم با طول موج‌های ۳ تا ۲۱ روزه به نمایش گذاشته شده است. با توجه به این شکل می‌توان این نتیجه‌گیری کلی را گرفت که به گستره نواحی از امواج ۳ روزه به سمت امواج بلندتر (۲۱ روزه) اضافه شده و از تعداد نواحی آن کاسته می‌شود. بطوریکه امواج گرم ۲۱ روزه کل استان را یک محدوده همگن در نظر می‌گیرد. در ادامه توزیع مکانی نواحی مختلف امواج گرم براساس طول مدت آنها مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۲).

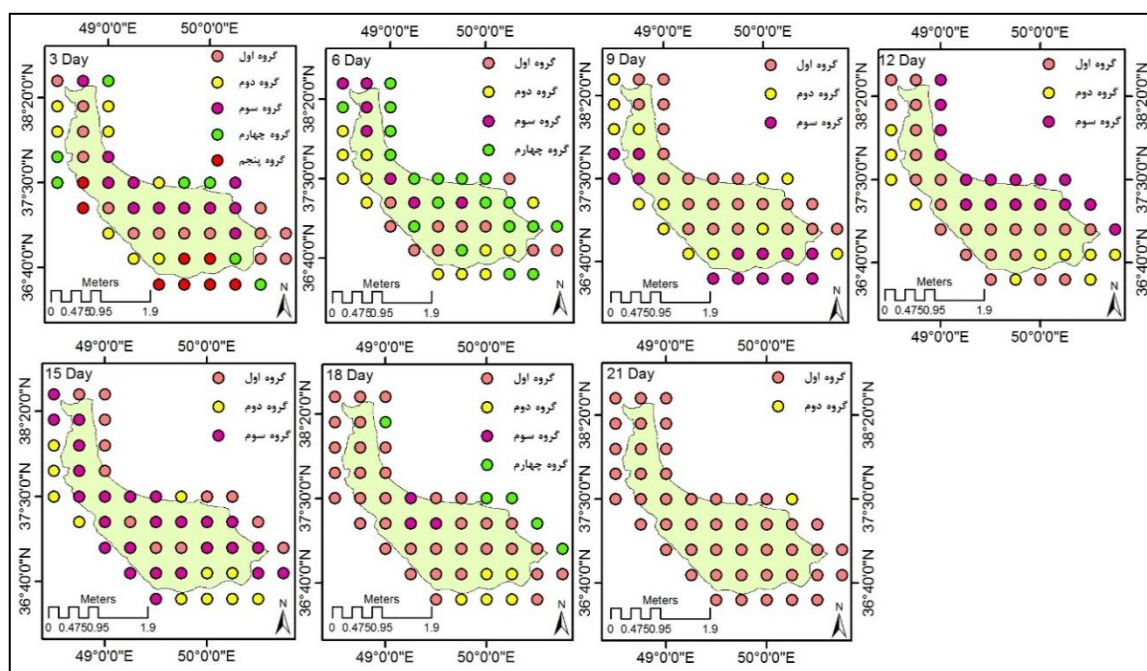
امواج گرم ۳ روزه: فراوانی رخداد امواج گرم ۳ روزه در استان گیلان به ۵ ناحیه مجزا از هم تقسیم شد که ناحیه اول در راستای شمالی-جنوبی، نواحی کوهستانی و جلگه‌ای شهرستان تالش، ارتفاعات ماسوله و در راستای غربی-شرقی مناطق جنوبی جلگه مرکزی تا شهرستان لنگرود و بخش شرقی شهرستان رودسر را در بر می‌گیرد. ناحیه دوم نیز بخش جلگه‌ای و کوهستانی شهرستان تالش، انزلی و ارتفاعات غربی شهرستان رودبار و ماسوله، ناحیه سوم بخش شمالی شهرستان آستارا، ناحیه جلگه‌ای شهرستان رضوانشهر و بخش جلگه مرکزی استان از غرب به شرق تا غرب شهرستان رودسر را شامل می‌شود. ناحیه چهارم بخش کوچکی واقع در ارتفاعات غربی استان، بخش جلگه‌ای و ساحلی شهرستان رشت و آستانه اشرفیه و ارتفاعات جنوبی شهرستان رودسر و در نهایت ناحیه پنجم ارتفاعات جنوبی شهرستان رودبار و بخش کوهستانی نسبتاً کوچکی در غرب استان را از لحاظ مکانی پوشش می‌دهد.

امواج گرم ۶ روزه: فراوانی رخداد امواج گرم ۶ روزه استان گیلان به ۴ ناحیه مجزا طبقه‌بندی شد که ناحیه اول بخش جلگه مرکزی تا ارتفاعات غربی شهرستان رودبار و ماسوله و همچنین ناحیه کوچکی واقع در شرق استان را در بر می‌گیرد. ناحیه دوم نیز

بخشی از ارتفاعات جنوبی و غربی استان را شامل می‌شود. ناحیه سوم نیز در بخش کوهپایه‌ای و کوهستانی شهرستان‌های آستارا و تالش و بصورت دو محدوده کوچک جدا از هم در جلگه مرکزی و غرب آن قابل شناسایی است. در نهایت ناحیه چهارم که قسمت اعظم استان را پوشش می‌دهد بیشتر در بخش ساحلی و جلگه‌ای و بصورت لکه‌های کوچک در نواحی کوهستانی مشاهده می‌شود.

امواج گرم ۹ روزه: این امواج نیز به ۳ گروه (ناحیه) در سطح استان تقسیم می‌شود بطوریکه ناحیه اول از بخش ساحلی تا کوهستانی آستارا شروع و در راستای ناحیه ساحلی و جلگه‌ای استان از شمال تا شهرستان رضوانشهر امتداد یافته و سپس جلگه مرکزی تا شرق آن را تحت پوشش قرار می‌دهد. ناحیه دوم نیز بصورت لکه‌های کوچک و بزرگ در بخش کوهستانی شمال غرب و جنوب غرب، محدوده ساحلی کیشهر و اطراف آن و همچنین در بخش جلگه‌ای شهرستان لاهیجان قابل شناسایی است. در نهایت ناحیه سوم ارتفاعات جنوبی استان و محدوده کوچکی واقع در نواحی کوهستانی غرب آن را در بر می‌گیرد.

امواج گرم ۱۲ روزه: این امواج هم مانند امواج ۹ روزه به سه ناحیه تقسیم می‌شود بطوریکه ناحیه اول از بخش کوهستانی غرب استان یعنی از شمال شهرستان آستارا تا ارتفاعات غربی و جنوبی شهرستان رودبار کشیده شده و بخش جنوبی جلگه مرکزی استان را در بر گرفته و بصورت نواری تا شرق استان در راستای غربی-شرقی امتداد می‌یابد. ناحیه دوم بخش‌های ساحلی و قسمت اعظم مناطق جلگه‌ای استان را تحت سیطره خود داشته و ناحیه سوم نیز بخش کوهستانی جنوب شرق استان و محدوده کوچکی واقع در ناحیه کوهستانی غرب آن را تحت پوشش قرار می‌دهد.



شکل ۲. توزیع مکانی گروه‌های مختلف حاصل از تحلیل خوشه‌ای (CL) امواج گرم با طول موج‌های مختلف؛ برگرفته از: یافته‌های تحقیق

Figure 2. Spatial distribution of different clusters obtained from cluster analysis (CL) of heat waves with different wavelengths

امواج گرم ۱۵ روزه: فراوانی رخداد امواج گرم ۱۵ روزه نیز همانند امواج ۹ و ۱۲ روزه از سه گروه تشکیل شده است. بخش ساحلی کیشهر و اطراف آن، ناحیه ساحلی استان از آستارا تا رضوانشهر و بخش مرکزی جلگه مرکزی و غرب آن جزء ناحیه اول، ارتفاعات جنوبی و غربی استان و یک لکه کوچک در محدوده ساحلی و جلگه‌ای شهرستان رشت جزء ناحیه دوم و مناطق کوهستانی استان از شمال تا ارتفاعات جنوب غرب آن و همچنین نواحی ساحلی و جلگه‌ای شهرستان انزلی و صومعه‌سرا به طور پیوسته تا شرق استان (شهرستان رودسر) در گروه سوم قرار می‌گیرند.

امواج گرم ۱۸ روزه: امواج گرم ۱۸ روزه نیز به ۴ ناحیه تقسیم می‌شود، بطوریکه ناحیه اول قسمت اعظم مساحت استان را در بر گرفته و از ساحل تا کوهستان و غرب تا شرق آن قابل مشاهده است. ناحیه دوم نیز محدود به بخش کوهستانی جنوب استان بوده و ناحیه سوم شهرستان انزلی و رشت و ناحیه چهارم بخش ساحلی کیشهر و اطراف آن را پوشش می‌دهد.

امواج گرم ۲۱ روزه: فراوانی رخداد امواج گرم ۲۱ روزه در طی دوره مورد مطالعه به دو ناحیه تقسیم می‌شود که ناحیه اول تمام گستره استان را در بر گرفته و تنها یاخته واقع در ناحیه دوم نیز در خارج از استان قرار دارد. بنابراین استان گیلان برای امواج گرم ۲۱ روزه به یک واحد همگن تبدیل شده و تمام مساحت آن را پوشش می‌دهد.

در جدول ۴ نتایج محاسبه تحلیل خوشه‌ای (CL) فراوانی رخداد امواج سرد استان گیلان در طی دوره آماری ۱۹۸۱ تا ۲۰۲۰ (بمدت ۴۰ سال) آورده شده است. همانطور که از جدول پیداست فراوانی رخداد این امواج در استان گیلان از موج‌های سرد ۳ روزه شروع و با توالی ۳ روزه تا امواج سرد ۳۰ روزه ادامه پیدا می‌کند.

جدول ۴. نتایج تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی (CL) فراوانی رخداد امواج سرد با طول موج‌های مختلف (بعد مکانی)
Table 4. Results of hierarchical cluster analysis (CL) of cold wave occurrence frequency with different wavelengths (spatial dimension)

یافته	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	روزه ۳	روزه ۶	روزه ۹	روزه ۱۲	روزه ۱۵	روزه ۱۸	روزه ۲۱	روزه ۲۴	روزه ۲۷	روزه ۳۰
۵S	۴۹/۵	۳۶/۵	۳	۴	۶	۳	۱	۴	۳	۲	۱	۱
۶S	۴۹/۷۵	۳۶/۵	۴	۲	۲	۳	۱	۴	۳	۱	۱	۱
۷S	۵۰	۳۶/۵	۴	۵	۲	۵	۱	۱	۲	۱	۱	۱
۸S	۵۰/۲۵	۳۶/۵	۴	۵	۲	۱	۲	۱	۲	۱	۱	۱
۹S	۵۰/۵	۳۶/۵	۴	۵	۲	۱	۲	۱	۲	۱	۱	۱
۱۴S	۴۹/۲۵	۳۶/۷۵	۳	۴	۱	۳	۱	۴	۳	۲	۱	۱
۱۵S	۴۹/۵	۳۶/۷۵	۳	۲	۱	۳	۴	۴	۳	۱	۱	۱
۱۶S	۴۹/۷۵	۳۶/۷۵	۳	۲	۱	۵	۱	۱	۳	۱	۱	۱
۱۷S	۵۰	۳۶/۷۵	۴	۵	۲	۵	۱	۱	۳	۱	۱	۱
۱۸S	۵۰/۲۵	۳۶/۷۵	۴	۵	۲	۱	۱	۱	۳	۱	۱	۱
۱۹S	۵۰/۵	۳۶/۷۵	۴	۵	۲	۱	۲	۱	۳	۱	۱	۲
۲۰S	۵۰/۷۵	۳۶/۷۵	۴	۴	۱	۵	۲	۱	۲	۱	۱	۱
۲۳S	۴۹	۳۷	۳	۴	۶	۴	۴	۳	۳	۲	۱	۱
۲۴S	۴۹/۲۵	۳۷	۱	۴	۴	۱	۴	۳	۳	۱	۱	۱
۲۵S	۴۹/۵	۳۷	۱	۲	۴	۱	۴	۳	۳	۱	۱	۱
۲۶S	۴۹/۷۵	۳۷	۱	۲	۴	۱	۴	۱	۳	۱	۱	۱
۲۷S	۵۰	۳۷	۴	۲	۱	۱	۱	۱	۳	۱	۱	۱
۲۸S	۵۰/۲۵	۳۷	۳	۵	۱	۵	۲	۱	۳	۱	۱	۱
۲۹S	۵۰/۵	۳۷	۳	۱	۳	۱	۱	۱	۳	۱	۱	۳
۳۰S	۵۰/۷۵	۳۷	۲	۳	۶	۱	۲	۴	۳	۲	۱	۱
۳۳S	۴۸/۷۵	۳۷/۲۵	۳	۱	۶	۵	۴	۳	۲	۲	۱	۱
۳۳S	۴۹	۳۷/۲۵	۴	۱	۱	۱	۱	۴	۳	۱	۱	۱
۳۴S	۴۹/۲۵	۳۷/۲۵	۱	۳	۴	۱	۴	۴	۱	۱	۱	۱
۳۵S	۴۹/۵	۳۷/۲۵	۱	۳	۴	۱	۴	۳	۱	۱	۱	۱
۳۶S	۴۹/۷۵	۳۷/۲۵	۱	۳	۲	۱	۴	۴	۳	۲	۱	۱
۳۷S	۵۰	۳۷/۲۵	۱	۱	۴	۱	۴	۳	۳	۲	۱	۱
۳۸S	۵۰/۲۵	۳۷/۲۵	۲	۴	۳	۲	۴	۲	۲	۱	۱	۱
۳۹S	۵۰/۵	۳۷/۲۵	۳	۴	۳	۱	۴	۲	۳	۱	۱	۱
۴۱S	۴۸/۵	۳۷/۵	۳	۵	۵	۵	۲	۱	۳	۲	۱	۱
۴۲S	۴۸/۷۵	۳۷/۵	۳	۴	۶	۱	۱	۱	۳	۲	۱	۱
۴۳S	۴۹	۳۷/۵	۳	۱	۶	۴	۴	۴	۳	۱	۱	۱
۴۴S	۴۹/۲۵	۳۷/۵	۱	۳	۱	۱	۳	۴	۳	۲	۱	۱
۴۵S	۴۹/۵	۳۷/۵	۲	۴	۳	۲	۳	۳	۱	۱	۱	۱
۴۶S	۴۹/۷۵	۳۷/۵	۲	۴	۳	۲	۲	۳	۲	۲	۱	۳
۴۷S	۵۰	۳۷/۵	۲	۴	۳	۲	۴	۲	۳	۲	۱	۳
۴۸S	۵۰/۲۵	۳۷/۵	۳	۴	۳	۵	۱	۴	۳	۱	۱	۱
۵۱S	۴۸/۵	۳۷/۷۵	۳	۱	۶	۵	۲	۱	۳	۲	۱	۱
۵۲S	۴۸/۷۵	۳۷/۷۵	۳	۱	۶	۱	۱	۲	۳	۲	۱	۱
۵۳S	۴۹	۳۷/۷۵	۳	۵	۵	۱	۱	۲	۳	۱	۱	۱
۶۱S	۴۸/۵	۲۸	۴	۵	۵	۵	۱	۲	۳	۲	۱	۱
۶۲S	۴۸/۷۵	۲۸	۳	۱	۶	۱	۲	۲	۳	۲	۱	۱
۶۳S	۴۹	۲۸	۱	۴	۱	۱	۱	۱	۳	۱	۱	۱
۷۱S	۴۸/۵	۲۸/۲۵	۴	۱	۵	۱	۱	۱	۳	۱	۱	۱
۷۳S	۴۸/۷۵	۲۸/۲۵	۱	۳	۵	۴	۳	۱	۱	۲	۱	۱

۱	۱	۱	۱	۱	۳	۱	۳	۴	۱	۳۸/۲۵	۴۹	۷۳S
۱	۱	۱	۳	۴	۱	۱	۴	۱	۲	۳۸/۵	۴۸/۵	۸۱S
۱	۱	۲	۳	۲	۳	۴	۵	۳	۱	۳۸/۵	۴۸/۷۵	۸۲S
۱	۱	۱	۱	۱	۲	۵	۳	۴	۱	۳۸/۵	۴۹	۸۳S

برگرفته از: یافته‌های تحقیق

در این راستا فراوانی امواج سرد ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۵، ۱۸، ۲۱، ۲۴، ۲۷ و ۳۰ روزه به ترتیب به ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱ و ۳ ناحیه از لحاظ مکانی طبقه‌بندی شدند. همانند فراوانی امواج گرم، گروه‌های مکانی بدست آمده از طول موج‌های سرد کوتاه‌تر نسبت به گروه‌های مکانی امواج سرد در طول موج‌های بلندتر دارای تعدد بیشتری هستند. در نتیجه تمام پهنه استان در طول موج‌های سرد بلندتر تحت عنوان یک ناحیه شناخته شده و از لحاظ مکانی بعنوان یک واحد همگن و یکنواخت عمل می‌کند. همچنین با کاهش طول موج سرد، پهنه استان به تعداد زیادی واحد همگن از لحاظ مکانی تقسیم شده و با کاهش بیشتر طول موج بر تعدد آنها افزوده می‌شود. در نتیجه رابطه طول موج با تعداد نواحی آن از نوع معکوس است. البته تفاوت موجود بین طبقات امواج کوتاه‌مدت نسبت به امواج بلندمدت از فراوانی رخداد آنها ناشی می‌شود یعنی اینکه امواج کوتاه‌مدت سرد در طی دوره ۴۰ ساله بسیار بیشتر از امواج بلندمدت سرد رخ داده‌اند بطوریکه امواج سرد ۳۰ روزه در طی دوره مورد نظر فقط یک بار رخ داده است. بنابراین با توجه به جدول توزیع فراوانی رخداد امواج سرد باید انتظار داشت که امواج سرد کوتاه‌مدت به کرات در این ناحیه از کشور در ایام مختلف سال رخ بدهد. مسئله مهم دیگر در ارتباط با طبقه‌بندی مکانی فراوانی امواج سرد نیز توزیع جغرافیایی گروه‌های مختلف آن است که با توجه به طول موج سرد تغییراتی در آن از لحاظ مکانی مشاهده می‌شود. در شکل ۳ توزیع مکانی گروه‌های مختلف امواج سرد با طول موج‌های ۳ تا ۳۰ روزه نشان داده شده است. با توجه به این شکل می‌توان این نتیجه کلی را گرفت که به گستره نواحی از امواج ۳ روزه به سمت امواج بلندتر (۳۰ روزه) اضافه شده و از تعداد نواحی آن کاسته می‌شود. در ادامه این بحث، توزیع جغرافیایی گروه‌های مختلف فراوانی رخداد امواج سرد در طول موج‌های مختلف در پهنه استان مورد بررسی قرار می‌گیرد (شکل ۳).

امواج سرد ۳ روزه: فراوانی رخداد امواج سرد ۳ روزه استان گیلان به چهار ناحیه از لحاظ مکانی تقسیم می‌شود که ناحیه اول جلگه مرکزی استان و بخش ساحلی و کوهستانی شهرستان‌های تالش و آستارا، ناحیه دوم نیز محدوده ساحلی و بخش کوچکی از نواحی جلگه‌ای شهرستان‌های لنگرود، لاهیجان، آستانه اشرفیه و رشت، ناحیه سوم نیز محدوده جلگه‌ای شهرستان رودسر، ارتفاعات مرکزی و غربی شهرستان رودبار در راستای جنوب شرق-شمال غرب نواحی کوهستانی، کوهپایه‌ای و جلگه‌ای غرب استان تا شمال شهرستان تالش و در نهایت ناحیه چهارم محدوده به مناطق کوهستانی جنوب و جنوب شرق استان بوده و پهنه کوچکی واقع در ارتفاعات تالش را در بر می‌گیرد.

امواج سرد ۶ روزه: این امواج نیز به پنج ناحیه از بعد مکانی تقسیم می‌شود، بطوریکه ناحیه اول بصورت دو پهنه کوچک در ناحیه ساحلی و جلگه‌ای شرق استان ظاهر شده و همچنین مناطق کوهپایه‌ای و کوهستانی غرب آن را پوشش می‌دهد. ناحیه دوم از جلگه مرکزی استان شروع و در راستای دره سفیدرود تا منجیل کشیده می‌شود. ناحیه سوم بخش شمالی جلگه مرکزی و همچنین نواحی کوهستانی شهرستان‌های آستارا و شمال تالش، ناحیه چهارم نواحی ساحلی شرق، مرکز و شمال غرب استان و ارتفاعات جنوب غرب استان را بصورت یک باریکه در راستای جنوب شرق تا شمال غرب و در نهایت ناحیه پنجم بخش ساحلی و جلگه‌ای شهرستان رضوانشهر و ارتفاعات جنوب و جنوب شرق استان واقع در شهرستان‌های رودبار، سیاهکل و رودسر را شامل می‌شود.

امواج سرد ۹ روزه: فراوانی رخداد امواج ۹ روزه به ۶ ناحیه در استان گیلان تقسیم شد که ناحیه اول بخش جلگه‌ای و کوهپایه‌ای شهرستان‌های لنگرود و لاهیجان و همچنین ارتفاعات مرکزی تا غربی شهرستان رودبار و دو پهنه جدا از هم در غرب استان را در بر می‌گیرد. ناحیه دوم مناطق کوهستانی جنوب و جنوب شرق و همچنین پهنه کوچکی واقع در جلگه مرکزی، ناحیه سوم نیز سواحل استان از شرق تا مرکز و همچنین ساحل آستارا و تالش، ناحیه چهارم نیز جلگه مرکزی استان، ناحیه پنجم شهرستان-های رضوانشهر، آستارا و بخش شمالی شهرستان تالش و در نهایت ناحیه ششم نیز ارتفاعات غرب استان گیلان و پهنه کوچکی واقع در دره سد سفیدرود را پوشش می‌دهد.

امواج سرد ۱۲ روزه: این امواج نیز به ۵ ناحیه در سطح استان تقسیم شد. بطوریکه ناحیه اول مناطق مختلف استان اعم از جلگه‌ای، کوهپایه‌ای و کوهستانی را در بر گرفته و قسمت اعظم مساحت استان را تحت سیطره خود دارد. ناحیه دوم هم محدود به نواحی ساحلی شهرستان‌های بخش مرکزی استان است. ارتفاعات جنوب و جنوب غرب شهرستان رودبار در ناحیه سوم، شهرستان‌های آستارا و شمال تالش و دو پهنه کوچک واقع در شهرستان رضوانشهر و ارتفاعات شهرستان فومن در ناحیه چهارم و بخش جلگه‌ای

شهرستان لنگرود و ارتفاعات جنوب استان واقع در شهرستان‌های رودسر، رودبار و سیاهکل و باریکه کوچکی واقع در ارتفاعات غرب استان در ناحیه پنجم قرار می‌گیرند.

امواج سرد ۱۵ روزه: امواج سرد ۱۵ روزه استان گیلان به چهار ناحیه مجزا از هم تقسیم شد که ناحیه اول ارتفاعات جنوبی، شرقی و غربی و ناحیه ساحلی شهرستان رشت و ساحل و جلگه تالش، ناحیه دوم پهنه‌های کوچک واقع در شهرستان‌های لنگرود، رودسر و تالش، ناحیه سوم شهرستان‌های انزلی و آستارا و همچنین ناحیه چهارم قسمت اعظم بخش مرکزی استان از جلگه تا کوهستان را در بر می‌گیرد.

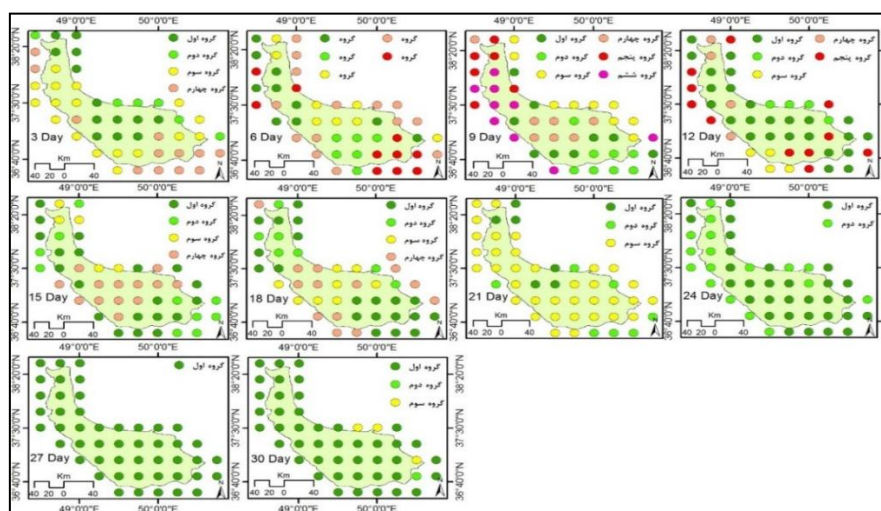
امواج سرد ۱۸ روزه: فراوانی رخداد امواج سرد ۱۸ روزه نیز به چهار ناحیه طبقه‌بندی شد که ناحیه اول نواحی شرق، غرب و شمال غرب استان، ناحیه دوم بخش ساحلی شهرستان لاهیجان و آستانه اشرفیه، ناحیه سوم بخش‌هایی از جلگه مرکزی به سمت غرب و ناحیه چهارم ارتفاعات جنوب غرب شهرستان رودبار، محدوده واقع در غرب جلگه مرکزی را شامل می‌شود.

امواج سرد ۲۱ روزه: امواج سرد ۲۱ روزه هم به ۳ ناحیه تقسیم شد که ناحیه اول بصورت دو پهنه کوچک جدا از هم در شهرستان آستارا و جلگه مرکزی، ناحیه دوم نیز در دو بخش ساحلی شهرستان لنگرود و رشت و در نهایت ناحیه سوم که بیشتر مساحت استان را در بر می‌گیرد در تمام مناطق آن قابل مشاهده هستند.

امواج سرد ۲۴ روزه: امواج سرد ۲۴ روزه استان نیز به دو گروه طبقه‌بندی شد که گروه اول نواحی جلگه‌ای، کوهپایه‌ای و کوهستانی شرق و مرکز استان و ناحیه دوم در حاشیه غربی ناحیه اول از آستارا تا رودبار منطبق بر نوار کوهستانی غرب استان کشیده می‌شود. همچنین بخش کوچک واقع در شهرستان انزلی، رشت و آستانه اشرفیه نیز جزء ناحیه دوم محسوب می‌شوند.

امواج سرد ۲۷ روزه: این امواج در تمام گستره استان یک ناحیه را شکل می‌دهد. عبارتی تمام مساحت استان نیز نسبت به این طول موج همگن و یکنواخت عمل می‌کند.

امواج سرد ۳۰ روزه: و در نهایت امواج سرد ۳۰ روزه به سه ناحیه از بعد مکانی در استان گیلان تقسیم گردید. بطوریکه ناحیه اول بیش از ۹۵ درصد مساحت استان را در بر گرفته و ناحیه دو محدود به بخش ساحلی شهرستان‌های آستانه و رشت و بخش ساحلی و جلگه‌ای رودسر می‌شود. همچنین ناحیه سوم بصورت یک لکه کوچک در منتهی‌الیه شرقی شهرستان رودسر خودنمایی می‌کند.



شکل ۳. توزیع مکانی گروه‌های مختلف حاصل از تحلیل خوشه‌ای (CL) امواج سرد با طول موج‌های مختلف

Figure 3. Spatial distribution of different clusters obtained from cluster analysis (CL) of cold waves with different wavelengths

نتیجه‌گیری

پیش‌بینی دماهای حداکثر و حداقل به عنوان یکی از مهم‌ترین پارامترهای اقلیمی با توجه به تغییرات اقلیمی، گرمایش جهانی و خشکسالی‌ها قطعاً فرصت بیشتری را جهت برنامه‌ریزی و ارائه تمهیدات لازم در اختیار برنامه‌ریزان قرار می‌دهد. با توجه به اهمیت

موضوع، در این پژوهش امواج گرم و سرد استان گیلان در طی سال‌های ۱۹۸۱ تا ۲۰۲۰ (۴۰ سال) مورد شناسایی و سپس از روش‌های آماری چند متغیره، الگوی فضایی و توزیع فراوانی رخداد این امواج از بعد مکانی و زمانی مورد بررسی قرار گرفت. شاخص شناسایی امواج گرم (HWS) و امواج سرد (CWS) هر روز نیز دهک ۹۰ام و ۱۰ام دمای حداکثر و حداقل سری زمانی ۴۰ ساله آن در نظر گرفته شد بطوریکه توالی آن کمتر از ۳ روز نباشد. سپس فراوانی امواج گرم و سرد با مدت‌های ۳، ۶ تا ۹ روز شمارش گردید. برای بررسی هماهنگی زمانی و مکانی امواج گرم و سرد از تحلیل خوشه‌ای به روش وارد استفاده شد. بطوری که فراوانی رخداد امواج گرم ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۵، ۱۸ و ۲۱ روزه به ترتیب در ۲، ۳، ۳، ۳، ۴، ۳ و ۲ گروه از بعد زمانی قرار گرفتند. همچنین با افزایش مدت امواج گرم، فراوانی رخداد آنها از لحاظ زمانی در ماه‌های مختلف همگن شده و یکنواخت عمل می‌کنند. در این راستا، فراوانی رخداد امواج سرد ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۵، ۱۸، ۲۱ و ۳۰ روزه از لحاظ زمانی به ترتیب در ۳، ۴، ۳، ۳، ۲، ۲، ۱ و ۳ گروه طبقه‌بندی شدند. همچنین با افزایش طول مدت امواج سرد، پیوستگی زمانی این امواج افزایش یافته و این موضوع بیانگر همگنی زمانی امواج بلندتر در ناحیه مورد مطالعه است. در نتیجه توزیع زمانی فراوانی رخداد امواج سرد همانند امواج گرم بیانگر آن است که امواج سرد بلندمدت نیز همگن‌تر از امواج سرد کوتاه‌مدت عمل می‌کنند. هماهنگی مکانی فراوانی رخداد امواج گرم نشان داد که امواج ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۵، ۱۸ و ۲۱ روزه به ترتیب در ۵، ۴، ۳، ۳، ۴ و ۱ گروه قابل طبقه‌بندی هستند. گروه‌های مکانی بدست آمده در طول موج‌های کوتاه‌تر بیشتر از گروه‌های مکانی بدست آمده در طول موج‌های بالاتر بودند. بعبارتی با افزایش طول مدت امواج، تمام پهنه استان تبدیل یک واحد همگن مکانی می‌شود. در حالی که با کاهش طول مدت آنها، استان به پهنه‌های همگن مکانی بیشتری تبدیل می‌شود. در این راستا، فراوانی رخداد امواج سرد ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۵، ۱۸، ۲۱، ۲۴ و ۲۷ روزه به ترتیب به ۴، ۵، ۶، ۴، ۴، ۳، ۲ و ۱ ناحیه از لحاظ مکانی طبقه‌بندی شدند. همانند فراوانی امواج گرم، گروه‌های مکانی امواج سرد کوتاه‌مدت نسبت به گروه‌های مکانی امواج سرد بلندمدت دارای تعدد بیشتری هستند. در نتیجه تمام پهنه استان در طول موج‌های سرد بلندمدت تحت عنوان یک ناحیه شناخته شده و از لحاظ مکانی همگن است. همچنین با کاهش طول مدت امواج سرد، گستره استان به واحدهای همگن مکانی متعدد تقسیم شده و با کاهش بیشتر طول مدت امواج بر تعداد آنها افزوده می‌شود. در نتیجه رابطه بین مدت امواج گرم و سرد با تعداد نواحی آن در استان گیلان از نوع معکوس خواهد بود. با توجه به طول مدت امواج گرم و سرد و تاثیر آن بخش‌های مختلف از جمله سلامت عمومی، کشاورزی، شرایط اکولوژیکی، صنعت گردشگری و زیرساخت‌ها (اعم از انرژی، ساختمان و حمل‌ونقل و ...) و احتمال افزایش این امواج تحت سناریوهای تغییر اقلیم باید راهکارها و تدابیر مناسب در جهت کاهش اثرات مخرب آن در آینده در نظر گرفته شود. همچنین الگوهای امواج گرم و سرد استان نشان داد که امواج فوق از ناحیه ساحلی تا کوهستانی بصورت پهنه‌های کوچک و بزرگ محلی توزیع شده‌اند. این موضوع نیز نقش و اهمیت امکانات بالقوه محلی را در راستای مقابله با اثرات زیانبار آن دو چندان می‌کند.

پیشنهادهای کاربردی منطبق با نظریه راهبرد مهندسی جغرافیایی فضا

در چارچوب راهبرد مهندسی جغرافیایی فضا، پیشنهادهای کاربردی برای مدیریت و کاهش اثرات امواج گرم و سرد در استان گیلان بر اساس الگوهای فضایی-زمانی شناسایی شده به شرح زیر است:

ایجاد شبکه‌ای از ایستگاه‌های پایش اقلیمی محلی با تمرکز بر پهنه‌های با تنوع بالای گروه‌های مکانی (مناطق ساحلی-جلگه‌ای با ۵ تا ۶ گروه در امواج کوتاه‌مدت) و پهنه‌های با همگنی بالا (مناطق کوهستانی با ۱ تا ۲ گروه در امواج بلندمدت)، طراحی سامانه هشدار سریع مبتنی بر پیش‌بینی الگوهای همگرایی زمانی امواج (با تأکید بر ماه‌های همگن نظیر ژانویه برای امواج سرد ۲۷ روزه و آگوست برای امواج گرم ۲۱ روزه) به منظور کاهش خسارات در بخش‌های کشاورزی، سلامت عمومی، گردشگری و زیرساخت‌های انرژی و حمل‌ونقل.

تفکیک عرصه‌های استان به پهنه‌های همگن از نظر فراوانی رخداد امواج گرم و سرد با استفاده از تحلیل خوشه‌ای و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) بر اساس نتایج جدول‌های ۳ و ۴، به گونه‌ای که پهنه‌های ساحلی-جلگه‌ای (با بیشترین فراوانی امواج کوتاه‌مدت ۳ تا ۹ روزه)، پهنه‌های کوهپایه‌ای (با فراوانی متوسط امواج ۱۲ تا ۱۸ روزه) و پهنه‌های کوهستانی (با فراوانی امواج بلندمدت ۲۱ تا

۳۰ روزه) تفکیک شوند، و تعیین مناطق اولویت‌دار برای مداخله و برنامه‌ریزی مقابله با مخاطرات اقلیمی مبتنی بر ظرفیت تحمل اکولوژیک و کالبدی هر پهنه.

Reference

- Alijani, B., Tharvati, M.R., Alizadeh Vilni, O. (2013). Classification of heat waves in Guilan Province. Quarterly Journal of Physical Geography, 6 (19), 1 - 16. (In Persian) URL: <https://www.magiran.com/p1681099>
- Baharvandi, N., Mojarrad, F., Masompour, J. (2020). Identification of Heat Waves and Analysis of Their Temporal-Spatial Variations in Iran. *jgs*. 20(59), 39-58. (In Persian) Doi: [10.29252/jgs.20.59.39](https://doi.org/10.29252/jgs.20.59.39)
- Barnett, A.G., Hajat, S., Gasparrini, A., Rocklov, J. (2012). Cold and heat waves in the United States. *Environmental Research*, 112, 218-224. Doi: [10.1016/j.envres.2011.12.010](https://doi.org/10.1016/j.envres.2011.12.010)
- Bhattacharya, A., Thomas, A., Soni, V. K., Roy, P. S., Sarangi, C., Kanawade, V. P. (2023). Opposite trends in heat waves and cold waves over India. *Journal of Earth System Science*, 132, 67. Doi: [10.1007/s12040-023-02069-2](https://doi.org/10.1007/s12040-023-02069-2)
- Ceccherini, G., Russo, S., Ameztoy, I., Romero, C. P., & Carmona-Moreno, C. (2016). Magnitude and frequency of heat and cold waves in recent decades: the case of South America. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16, 821–831, Doi: [10.5194/nhess-16-821-2016](https://doi.org/10.5194/nhess-16-821-2016)
- Esmailnejad, M. (2014). Climate and Security threats: Heat waves in Southern Khorasan. *The South Khorasan disciplinary knowledge*, 1393(9), 34-39. (In Persian) URL: http://skh.jrl.police.ir/article_15036.html?lang=en
- Esmailnejad, M. (2016). The spatial analysis of heat waves in south east of Iran a case study: Sistan and Baluchestan province. *Geographia Technica*, 11 (2), 50-60. Doi: [10.21163/GT_2016.112.05](https://doi.org/10.21163/GT_2016.112.05)
- Khorshid Doost, Ali Mohammad; Zanganeh Shahraki, Saeed; Zarei, Yousef; Mahmoudi, Saeed. (2017). Synoptic analysis of heat wave risk in northwest Iran. Quarterly Journal of Physical Geography, 10 (37), 1-14. (In Persian) Doi: [20.1001.1.20085656.1396.10.37.1.2](https://doi.org/10.1001.1.20085656.1396.10.37.1.2)
- Khosravi, M. & Esmailnejad, M. (2020). Statistical Analysis - Synoptic a Continuity Heat Waves of Iran. *Journal of Geographical Studies of Mountainous Areas*, 1(2), 19-33. (In Persian) Doi: [10.29252/gsma.1.2.19](https://doi.org/10.29252/gsma.1.2.19)
- Lavaysse, C., Naumann, G., Alferi, L., Salamon, P., & Vogt, J. (2019). Predictability of the European heat and cold waves. *Climate Dynamics*, 52, 2481–2495, Doi: [10.1007/s00382-018-4273-5](https://doi.org/10.1007/s00382-018-4273-5)
- Morabito, M., Crisci, A., Messeri, A., Messeri, G., Betti, G., Orlandini, S., Raschi, A., Maracchi, G. (2017). Increasing Heatwave Hazards in the Southeastern European Union Capitals. *Atmosphere*, 8 (7), 115. Doi: [10.3390/atmos8070115](https://doi.org/10.3390/atmos8070115)
- Morlot, M., Russo, S., Feyen, L., and Formetta, G. (2023). Trends in heat and cold wave risks for the Italian Trentino-Alto Adige region from 1980 to 2018. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 23, 2593–2606. Doi: [10.5194/nhess-23-2593-2023](https://doi.org/10.5194/nhess-23-2593-2023)
- Notivoli, R. S., Canovas, M. L., Barroa, S., Sarricolea, P., Ruiz, O. M., Tejedor, E. (2022). Heat and cold waves in mainland Spain: Origins, characteristics, and trends. *Weather and Climate Extremes*, 37, 100471. Doi: [10.1016/j.wace.2022.100471](https://doi.org/10.1016/j.wace.2022.100471)
- Oldendorph, G. J. V., Larson, E. M., Vecchi, G. A., Vries, H. d., Vautard, R., & Otto, F., (2019). Cold waves are getting milder in the northern midlatitudes. *Environmental Research Letter*, 14. Doi: [10.1088/1748-9326/ab4867](https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab4867)
- Roshan, GH. R., Ghanghermeh, A. A., & Kong, Q. (2018). Spatial and temporal analysis of outdoor human thermal comfort during heat and cold waves in Iran. *Weather and Climate Extremes*, 19, 58-67. Doi: [10.1016/j.wace.2018.01.005](https://doi.org/10.1016/j.wace.2018.01.005)
- Sadeghi, S., Dostan, R., Sanei, M. (2015). Spatial-temporal analysis of heat waves in Khorasan Razavi. *Geographical Quarterly of the Land*, 12 (47), 17 - 32. (In Persian) URL: <https://sanad.iau.ir/Journal/sarzamin/Article/822413/FullText>
- Sanderson, M. G., Economou, T., Salmon, K. H., and Jones, S. E. O. (2017). Historical Trends and Variability in Heat Waves in the United Kingdom. *Atmosphere*, 8 (10), 191; Doi: [10.3390/atmos8100191](https://doi.org/10.3390/atmos8100191)
- Saydgar, S., Bigdali, A., & Rezaei, P. (2014). Analysis of the spatial pattern of heat waves in Guilan Province. *Journal of Application of Geographic Information Systems and Remote Sensing in Planning*, 2 (15), 39-59. (In Persian) Doi: [h10.71834/gisrs.2024.1130328](https://doi.org/10.71834/gisrs.2024.1130328)
- Seydgara, S., Bigdley, A., & Rezaei, P. (2024). Spatial Pattern Analysis of Cold Waves in Guilan Province. *Journal of Geographical Studies of Mountainous Areas*, 5(2), 151-172. (In Persian) Doi: [10.22034/gsma.2024.715805](https://doi.org/10.22034/gsma.2024.715805)

- Soltani, S., Modarres., R. (2006). Classification of Spatio-Temporal Pattern of Rainfall in Iran Using a Hierarchical and Divisive Cluster Analysis. *Journal of Spatial hydrology*, 6, (2), 1-12.
- Spinoni, J., Lakatos, M., Szentimrey, T., Bihari, Z., Szalai, S., Vogta, J., Antofie, T. (2015). Heat and cold waves trends in the Carpathian Region from 1961 to 2010. *International Journal of Climatology*, 35, 4197–4209. Doi: [10.1002/joc.4279](https://doi.org/10.1002/joc.4279)
- Xu, S., Yang, X., Sun, R., Fu, Sh., Liang, H., & Chen, L. (2018). Cold Wave Climate Characteristics and Risk Zoning in Jilin Province. *Journal of Geoscience and Environment Protection*. 6, 38-51. Doi: [10.4236/gep.2018.68004](https://doi.org/10.4236/gep.2018.68004)
- Zhang, Y., Chen, C., Niu, Y., Shen, L., Wang, W. (2023). The severity of heat and cold waves amplified by high relative humidity in humid subtropical basins: a case study in the Gan River Basin, China. *Natural Hazards*, 115, 865–898. Doi: [10.1007/s11069-022-05577-4](https://doi.org/10.1007/s11069-022-05577-4)
- Zhang, Y., Li, Q., Ge, Y., Du, X., & Wang, H. (2022). Growing prevalence of heat over cold extremes with overall milder extremes and multiple successive events. *Communications Earth & Environment*, 3, 73. Doi: [10.1038/s43247-022-00404-x](https://doi.org/10.1038/s43247-022-00404-x)