

Research Paper

An Analysis of Long-Term Monthly Changes in Lethal Temperatures above 50°C in the Northern Hemisphere

Marziye Karzani¹, Yousef Ghavidel^{2*}, Manuchehr Farajzadeh³

1. PhD Candidate in Physical Geography, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
2. Associate Professor of Physical Geography, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
3. Professor of Physical Geography, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

Received: 2023/06/19
Accepted: 2023/09/09

ABSTRACT

This paper intends to identify and statistically analyze monthly changes in the lethal temperature above 50 degrees Celsius (TU50c) in the Northern Hemisphere. For this purpose, the reanalyzed data related to the maximum temperature up to two meters of the earth's surface was used during the period of 73 years from 1948 to 2020, and after adjustment, analyzed on a monthly basis. Descriptive statistics analysis methods, linear trend analysis and non-parametric Mann-Kendall test are used for evaluating the frequency of such occurrences. During the 73-year study period, 9553 days with minimum temperature of 50 degrees Celsius were identified and their coordinates were extracted. Examining the daily frequency of TU50c in the Northern Hemisphere showed that the months of May and January have had the highest frequency, respectively. Also, the highest increasing trend in the number of fatal temperatures was observed in the months of March, April, July and August. In terms of location, the region that could record the highest frequency and the most intense TU50c was related to Africa especially Sudan, West Asia (between Iraq, Southwest of Iran, Kuwait and Saudi Arabia) and India in the Indian subcontinent. Moreover, these temperatures are not rare in America either; but TU50c has not been reported in Europe and East Asia. The highest and most intense temperatures occurred in the fifth decade, between 1988 and 1998.

Keywords:

Lethal Temperatures; Trend Analysis; Reanalyzed Data; Northern Hemisphere

***Corresponding Author:** Associate Professor of Physical Geography, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

[http://doi: 20.1001.1.16059689.1402.0.0.14.0](http://doi.org/10.1001.1.16059689.1402.0.0.14.0)

[https://doi: 10.2022/hmsp.27.2.5](https://doi.org/10.2022/hmsp.27.2.5)

ORCID: 0000 0003 1929 155X

ghavidel@modares.ac.ir

G

Extended Abstract**Introduction**

Global warming and climatic changes are currently some of the important topics of discussions which researchers have studied on regional and planetary scales. In other words, the significant increase in near-surface temperatures at high latitudes from about 1920 to 1940 was known as global warming. The temperature of the Earth in recent years, especially in the northern hemisphere, has undergone a change and experienced an extremely upward trend. This increasing trend has become more tangible due to the occurrence of climatic hazards such as heat waves that led to many deaths, destructive effects on economic, ecological and social systems and flooding of coastal areas. Extreme temperatures can cause other destructive hazards such as droughts, floods and heat waves. Due to the negative effects of high temperatures as well as their increasing trend in different regions of the world, it is very important to know the temporal distribution of temperatures above 50 degrees Celsius in order to quantify these effects. In recent years, in line with global warming, we have seen an increase in the occurrence of heat waves, and therefore, in the present study, using TU50c, we have investigated and studied the time frequency of these waves. The final goal is to study the long-term trend of monthly TU50c frequency in the Northern Hemisphere.

Methodology

This study investigates the vast area of the Northern Hemisphere which as a whole encompasses 255,000,000 square kilometers. This hemisphere consists of most of the land surface and about 90% of the Earth's population.

Results and discussion

The data used in this study are networked and reanalyzed observational data of the maximum temperature of 2 meters above the surface level with a spatial resolution of 2.5 to 2.5 degrees NCEP / NCAR Reanalysis 1. These data were prepared on a daily basis for the entire planet from 1948 to 3 days prior to this study and those posted on the NOAA website. Altogether, we used the data between 1948 and 2020. According to the daily maximum temperature maps, first those days with TU50c were determined and then their monthly frequencies were extracted in the statistical period of 73 years. After that, the highest daily temperature was identified for each month, and its map was drawn. After extracting the monthly frequency of TU50c in the Northern Hemisphere, first their descriptive statistical characteristics (indices of tendency to the center and dispersion) were extracted and analyzed. Finally, by calculating the linear trend component of the time series, the trend of their time changes was evaluated.

Conclusion

The analysis of the long-term variation of TU50c in the Northern Hemisphere showed that May, April and June have had the highest frequency of occurrence respectively. Also, the results showed that the lowest level belonged to the cold seasons i.e. November and December. In autumn, there were found to be the lowest occurrences. The results of the time trend analysis showed that the changes in monthly periods (with the exception of January, February and December) were an upward trend. The highest frequency of extreme temperatures was related to the 20th century and the highest frequencies were observed between 1986 and 1988 with 281 and 276 days respectively. The most extreme temperature recorded during this period occurred in 1987 with 76.5 degrees Celsius. The results of the spatial analysis also indicated that the highest spatial frequency and the most extreme temperatures occurred in the area between Iran, Iraq, Kuwait, Saudi Arabia and Africa. In addition, it was determined that the maximum occurrence of TU50c was in

spring and summer and the minimum frequency was in autumn. According to the mentioned cases, it can be concluded that due to the significantly occurrence of extreme temperatures, the affected population and its economic losses in the recent years were in the Middle East and the Northern Hemisphere. Therefore, by timely measuring and declaration of the appropriate data to government officials, they can make accurate decisions at appropriate times to reduce damage caused by this natural hazard.



تحلیل تغییرات بلندمدت ماهانه دماهای کشنده بالای ۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد نیمکره شمالی

مرضیه کارزانی^۱، یوسف قویدل^{۲*}، منوچهر فرج‌زاده^۳

۱. دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
۲. دانشیار آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران (نویسنده مسئول).
۳. استاد آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

چکیده

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۱۸

هدف این پژوهش شناسایی و تحلیل آماری تغییرات زمانی فراوانی ماهانه وقوع دماهای کشنده بالای ۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد ($TU50c^2$) در نیم کره‌ی شمالی است. به این منظور از داده‌های باز تحلیل شده مربوط به بیشینه دمای دو متری سطح زمین در بازه زمانی ۷۳ ساله ۱۹۴۸ تا ۲۰۲۰ استفاده شده و پس از تنظیم، به صورت سری زمانی ماهانه مورد تحلیل قرار گرفت. در این مطالعه از روش‌های تحلیل آمار توصیفی، تحلیل روند خطی و آزمون ناپارامتری من کندال به منظور بررسی تغییرات زمانی فراوانی وقوع استفاده شده است. در طول دوره ۷۳ ساله مطالعاتی تعداد ۹۵۵۳ روز با دمای حداقل ۵۰ درجه سانتی‌گراد و بیشتر شناسایی و مختصات آنها استخراج شد. بررسی توزیع فراوانی روزانه وقوع $TU50c$ نیمکره شمالی نشان داد که ماه‌های می و ژانویه به ترتیب دارای بیشترین فراوانی وقوع هستند. همچنین بیشترین روند افزایشی در فراوانی وقوع دماهای کشنده در ماه‌های مارس، آوریل، جولای و اگوست مشاهده شدند. از لحاظ توزیع مکانی، منطقه‌ای که بیشترین فراوانی و شدیدترین $TU50c$ در آن به ثبت رسیده مربوط به محدوده‌ای واقع در آفریقا خصوصاً سودان، غرب آسیا (بین عراق، جنوب غرب ایران، کویت و عربستان) و هندوستان در شبه قاره هند هستند و در آمریکا نیز وقوع این دماها نادر نیست. بالاترین و شدیدترین دماهای ثبت شده در دهه پنجم و در فاصله زمانی ۱۹۸۱ تا ۱۹۹۸ به وقوع پیوسته است.

دمای کشنده، داده‌های بازتحلیل شده، فراوانی وقوع، روند تغییرات زمانی، نیمکره شمالی.

واژگان کلیدی:

۱. مقدمه

دما عمومی‌ترین و محسوس‌ترین عنصر جوئی است که بر تمام شئون زندگی بشر و سایر زیست‌مندان سیاره زمین کمابیش موثر است. تغییرات و نوسانات دما مستقیماً و شدیداً زندگی را تحت‌تاثیر قرار می‌دهد. در سال‌های اخیر

ghavidel@modares.ac.ir

*نویسنده مسئول

^۲ معادل Temperatures Above 50 C به معنای دمای بالای ۵۰ درجه سانتیگراد، به سبب جلوگیری از تکرار در این پژوهش از اختصار $TU50c$ استفاده گردید.

فصلنامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا

به علت گرمایش جهانی تغییرات قابل توجهی در ویژگی‌های دمایی سیاره زمین به وجود آمده که یکی از آن‌ها افزایش وقوع رخداد‌های فرین، خصوصاً فرین‌های دمای بیشینه است. وقوع دماهای فرین بیشینه به علت اثرات زیست اقلیمی که دارند، حائز اهمیت هستند. رخداد دماهای فرین بیشینه به شدت سلامتی انسان و سایر زیست‌مندان را به مخاطره انداخته و زمینه نابودی حیات را فراهم می‌آورد. مهمترین نشانه اثبات این ادعا مرگ و میر سالانه انسان‌ها در قاره‌ها و کشورهای مختلف خصوصاً در هند و اروپا (علی‌الخصوص مرگ و میر ناشی از موج گرمای سال‌های ۲۰۰۳، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۷) است.

گرمایش جهانی و روند تغییرات اقلیمی، از مهم‌ترین مباحث علمی کنونی است که پژوهشگران در مقیاس‌های منطقه‌ای و سیاره‌ای به آن پرداخته‌اند. در اوایل قرن بیستم، افزایش قابل توجه دمای نزدیک به سطح در عرض‌های جغرافیایی بالا، از حدود سال‌های ۱۹۲۰ تا ۱۹۴۰، تحت عنوان گرمایش زمین شناخته می‌شود (Klaus et al; 2018: 225-254). در سال‌های اخیر بر اثر گرمایش جهانی، دمای زمین به ویژه در نیمکره شمالی دستخوش تغییر شده و دما روند به شدت صعودی را طی کرده، که روند مذکور در دوره گرم سال به واسطه وقوع مخاطرات اقلیمی مانند امواج گرمایی، ملموس‌تر شده و به سبب ایجاد مرگ و میرهای فراوان اهمیت فراوانی یافته است (قوبدل، ۱۳۹۰: ۳۰۹-۲۸۹). فرین‌های دمایی می‌توانند تأثیرات مخربی بر سیستم‌های اقتصادی، بوم‌شناختی و اجتماعی بگذارند. دمای سطحی برای تقریباً یک قرن، به ویژه در پنجاه سال اخیر، به طور قابل توجهی افزایش داشته است. بسیاری از مناطق ساحلی به دلیل افزایش سطح دریا که ناشی از گرم شدن کره زمین است، زیر آب خواهند رفت. گرم شدن کره زمین سبب بروز مخاطرات جوی مخرب دیگری همچون خشکسالی، سیل و فرین‌های دمایی بالا (به ویژه در صورت استمرار به صورت موج گرمای فرین) می‌گردد که این امر منجر به وقوع آسیب‌های جبران‌ناپذیری به انسان و محیط زیست می‌شود (Liu et al; 2017: 214). امواج گرما به عنوان بحرانی‌ترین مخاطره اقلیمی به این دلیل که تلفات و خسارات آن بلافاصله مشخص نمی‌شود، مورد توجه کافی قرار نمی‌گیرند. از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۷، بیش از ۱۶۶۰۰۰ نفر در اثر موج گرما جان خود را از دست داده‌اند. دماهای فرین و امواج گرمایی به عنوان یکی از مهمترین مخاطرات اقلیمی مورد توجه و مطالعه پژوهشگران متعددی در سطح جهان قرار گرفته که هر کدام به نوعی سعی در شناخت این پدیده و جنبه‌های متفاوت آن داشتند.

دومونکس و همکاران (2003) نوسانات بلندمدت در فراوانی رخداد‌های فرین گرم و سرد تابستانه و زمستانه قرن ۲۰ را در جنوب و مرکز اروپا بر مبنای شاخص‌های دمایی روزانه، شناسایی و ارتباط آنها را با الگوهای گردش جوی بزرگ مقیاس مطالعه کرده‌اند. نتایج تحقیقی در اروپا نشان داد که الگوهای گردش جوی کلان مقیاس سبب طولانی شدن فصول زمستان و تابستان در اروپای مرکزی شده است (Meehl & Tebaldi; 2004: 994-997). آنها با استفاده از مدل‌های گردش جهانی، امواج گرمایی شدید را در سال ۱۹۹۵ در شیکاگو و در سال ۲۰۰۳ در فرانسه شبیه‌سازی

¹ Domonkos et al

کردند. پیش‌یابی (پروجکشن) امواج گرمایی در این مناطق نشان دهنده افزایش فراوانی وقوع، شدت و استمرار زمانی بیشتر امواج گرمایی در نیمه دوم قرن ۲۱ است.

نتایج مطالعه‌ای دیگر نشان داد که دماهای شدید و امواج گرمایی، پوشش گیاهی ناحیه مرکزی فرانسه را به شدت متاثر کرده و از بین می‌برد (Zaitchik et al; 2006: 744). وینسنت و مکیس^۱ (۲۰۰۶) روند و تغییرات شاخص دما و بارش روزانه را طی قرن بیستم در کانادا بررسی کرده و مشخص شد که فراوانی وقوع دماهای فرین گرم، به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش و تعداد حوادث سرد در طی دوره‌های ۱۹۵۰-۲۰۰۳ و ۱۹۰۰-۲۰۰۳ کاهش چشم‌گیری داشته‌اند. همچنین هانت^۲ (۲۰۰۷) با شبیه‌سازی چند هزار ساله امواج گرمایی، متوجه شد که امواج گرمایی شدیدتر، طولانی‌تر و با تداوم بیشتر در توزیع جغرافیایی وسیع‌تری در سطح کره زمین گسترش یافته‌اند. برخی از محققان در مطالعه موج گرمای شدید سال ۲۰۰۶ کالیفرنیا و نوادا دریافتند که به طور کلی، یک روند افزایشی در فراوانی امواج گرمایی شدید وجود دارد که این روند افزایشی در شب نسبت به روز بیشتر بوده و به صورت چشمگیری از دهه ۱۹۸۰ و به خصوص از سال ۲۰۰۰ تشدید شده است (Gershunov et al; 2009: 6182). نتایج شبیه‌سازی امواج گرمایی سال ۲۰۰۳ اروپا توسط لوئو^۳ (۲۰۰۹) حاکی از افزایش ۵ درجه‌ای دما بود که این امر سبب کاهش بارندگی در ابتدای سال، افزایش زودرس پوشش گیاهی، کسری شدید آب موجود در خاک، مرگ و میر شدید انسان و صدمات شدید محیط زیست شده است. میلدرکسر^۴ و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که حداکثر دمای سالانه سطح زمین با تراکم پوشش گیاهی ارتباط مستقیم دارد و تغییرات دمای سطح ناشی از تغییرات پوشش زمین، یکی از مهمترین جنبه‌های تغییرات آب و هوایی است. در این مطالعه گرم‌ترین نقطه‌ی جهان، با دمایی بیش از ۷۰ درجه در کویر لوت ایران شناسایی شده است. افیمیادیس و همکاران^۵ (۲۰۱۱) در بررسی روند دماهای شدید مدیترانه، به این نتیجه رسیدند که روندهای اصلی منطقه به طور کلی با روند جهانی دما و مخاطرات فرین همخوانی داشته و صعودی است. بر اساس مطالعه پرکینز و همکاران^۶ (۲۰۱۳) افزایش فرکانس، شدت و تداوم امواج گرما و دوره‌های گرم جهانی ثبت شده در قرن اخیر چشمگیر است.

مارشال و همکاران^۷ (۲۰۱۳) در بیان علل وقوع دماهای فرین استرالیا، نشان دادند که وقوع امواج گرمایی شدید جنوب استرالیا که اکوسیستم‌های کشاورزی و صنعت دامپروری و محیط زیست جنوب استرالیا را تهدید می‌کند، متاثر از الگوی پیوند از دور مادن‌جولیان است. روسو و همکاران^۸ (۲۰۱۴) موفق به معرفی یک شاخص جدید موج‌گرما شدند که می‌تواند در همه‌ی زمان‌ها و مکان‌ها مورد استفاده قرار گیرد. نتایج کار آن‌ها نشان داد که درصد مساحت جهانی تحت

¹ Vincent and Mekis

² Hunt

³ Loew

⁴ Mildrexler et al

⁵ Efthymiadis

⁶ Perkins et al

⁷ Marshall et al

⁸ Russo et al

تأثیر امواج گرمایی در دهه‌های اخیر، افزایش یافته است. علاوه بر این معین گردید، افزایش فراوانی امواج گرمایی فرین از سال ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۰ بوده که این افزایش توأم با افزایش تنش گرمایی و مرگ و میر زیست‌مندان بود. مطالعه کاستوپولو و همکاران^۱ (۲۰۱۴) نشان می‌دهد که افزایش حداقل دما در شرق شبه جزیره بالکان، ترکیه و شبه جزیره عربستان اتفاق افتاده است.

حبیب و همکاران^۲ (۲۰۱۵) در تحقیقی که روی جزایر گرمایی ۵۰ شهر آمریکا انجام دادند متوجه شدند که افزایش دما و تشدید فراوانی و وسعت امواج گرمایی بر تقویت جزایر گرمایی و صدمات جانی و زیست‌محیطی ناشی از امواج گرمایی اثرگذار است. در این زمینه مطالعه قویدل و احمدی^۳ (۲۰۱۵) نشان داد که در ایستگاه آبادان در جنوب غرب ایران و بسیاری از ایستگاه‌های دیگر منطقه جنوب غرب ایران، همه ساله تعداد زیادی دمای بالای ۵۰ درجه سانتی‌گراد و بالاتر رخ می‌دهد و روند زمانی فراوانی دماهای یاد شده افزایشی و معنی‌دار بوده، در سال‌های اخیر بر تعداد آن به شدت افزوده شده و از حالت تک روزه به حالت موجی و مستمر درآمده است. علاوه بر این مشخص شد به دلیل مجاورت منطقه جنوب غرب ایران با خلیج فارس و رود بزرگ کارون، ترکیب دمای بالای ۵۰ درجه سانتی‌گراد با رطوبت بالا، منجر به تنش حرارتی شدیدی می‌گردد که همه ساله سبب وقوع تلفات جانی بسیاری می‌شود. نتایج مطالعات روحینی و همکاران^۴ (۲۰۱۶) در هند نشان داد که در مناطق مرکزی و شمال غربی کشور هند فرکانس، مدت زمان کل و حداکثر طول موج‌های گرما در حال افزایش است. بعضی از محققان وجود روند افزایشی در فراوانی وقوع و تداوم زمانی امواج گرمایی را در برخی از ایستگاه‌های انگلستان به عنوان نشانه‌هایی از تغییرات اقلیمی مورد تأیید قرار دادند (Sanderson et al; 2017:191). شی و همکاران^۵ (۲۰۲۰) در بررسی ویژگی‌های مکانی - زمانی امواج گرمایی چین نشان دادند که فرکانس بالای موج گرما عمدتاً در جیانگویی، جنوب چین و غرب شمال غربی چین ظاهر می‌شود. اسلیوینسکی و همکاران^۶ (۲۰۱۹) توانستند با مقایسه عملکرد داده‌های واکاوی شده تاریخی قرن بیستم (20CRv3) با سایر داده‌های واکاوی شده و مشاهدات مستقل به این نتیجه برسند که، در مقایسه مشاهدات مستقل، تجزیه و تحلیل‌های دیگر و محصولات ماهواره‌ای، داده‌های واکاوی شده 20CRv3 می‌تواند با اطمینان، تخمین‌های جوی را در مقیاس‌های مختلف از حوادث آب و هوایی تا روندهای طولانی مدت آب و هوایی تولید کند. داده‌های یاد شده برای بازساخت زمانی-مکانی دماهای فرین بیشینه و کمینه مناسب هستند. ظرافتی و همکاران^۷ (۲۰۲۱) با بهره‌گیری از داده‌های بازتحلیل قرن بیستم در غرب آسیا تغییرات افزایشی در دو دهه اخیر قرن یست و یکم را با لکه‌های خورشیدی مرتبط دانستند. نتایج مطالعه دماهای فرین ترکیه حاکی از رکوردشکنی دمای بیشینه و روند افزایشی آن در دو دهه

¹ Kostopoulou et al

² Habeeb et al

³ Ghavidel & Ahmadi

⁴ Rohini et al

⁵ Xie et al

⁶ Slivinski et al

⁷ Zerafati et al

گذشته در سراسر ترکیه است. محرک فیزیکی اصلی این افزایش، الگوهای پیوند از دور AO و NAO هستند (Aksu; 2021). کارزانی و همکاران^۱ (۲۰۲۲) با استفاده از داده‌های بازتحلیل قرن بیستم نشان دادند که فراوانی وقوع دماهای کشنده (بالای ۵۰ درجه سانتی گراد) با فراوانی سالانه لکه‌های خورشیدی و همچنین در مقیاسی بسیار ضعیف‌تر با غلظت دی اکسید کربن ارتباط دارد. با توجه به اهمیت آثار منفی دماهای بالا و همچنین روند افزایشی آن‌ها در مناطق مختلف جهان، آگاهی از توزیع زمانی ویژگی‌های دماهای بالای ۵۰ درجه سانتی گراد به منظور کمی‌سازی این اثرات، بسیار مهم هستند. مروری بر پیشینه تحقیقات انجام شده نشان داد که در سطح دنیا تاکنون مطالعه مستقلی در خصوص TU50c انجام نشده و این پژوهش در این خصوص یک مطالعه منحصر به فرد است. در سال‌های اخیر همسو با گرمایش جهانی، شاهد افزایش فراوانی وقوع امواج گرمایی با دماهای بالای ۵۰ درجه بوده‌ایم و براین اساس در مطالعه حاضر با استفاده از TU50c اقدام به بررسی و مطالعه فراوانی زمانی این امواج شده است. هدف نهایی این پژوهش مطالعه روند بلند مدت فراوانی وقوع TU50c ماهانه در نیمکره شمالی است.

۲. داده‌ها و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه در این پژوهش نیمکره شمالی با مساحت ۲۵۵,۰۰۰,۰۰۰ کیلومتر مربع است که این محدوده بیشتر خشکی‌ها و ۹۰ درصد جمعیت کره زمین را در خود جای داده است. تجزیه و تحلیل‌های تاریخی به ویژه برای مطالعه وقایع شدید آب و هوایی بسیار مفید هستند، زیرا براساس تعریف آن‌ها رویدادها نادر اما دارای تأثیر زیاد هستند (Slivinski et al; 2019: 2876-2908). داده‌های مورد استفاده در این تحلیل عبارت از داده‌های شبکه‌بندی شده واکاوی شده مشاهداتی^۲ دمای بیشینه سطح دو متری جهانی با قدرت تفکیک فضایی ۲/۵ در ۲/۵ درجه‌ای NCEP/NCAR Reanalysis 1 هستند^۳. این داده‌ها در بازه زمانی روزانه و برای کل کره زمین از سال ۱۹۴۸ تا ۳ روز قبل از روز تهیه نقشه در سایت NOAA قرار داده میشود. در این مطالعه داده‌های بین سال‌های ۱۹۴۸ تا ۲۰۲۰ مورد استفاده قرار گرفت. در نقشه ۱ منطقه‌ی مورد مطالعه در نیمکره شمالی (شکل ۱ a) و پوشش شبکه‌بندی شده داده‌های مذکور برای غرب آسیا (شکل ۱ b) نشان داده شده است. داده‌های مذکور به صورت روزانه از سال ۱۹۴۸ تا ۲۰۲۰ به مدت ۷۳ سال مورد واکاوی قرار داده شد.

در گام اول با ترسیم نقشه‌های دمای بیشینه روزانه منطقه مورد مطالعه با استفاده از نرم افزار گرس، ابتدا روزهای دارای TU50c شناسایی شده و سپس فراوانی ماهانه آن‌ها در دوره آماری ۷۳ ساله استخراج گردید. پس از آن بالاترین دمای روزانه در هر ماه مشخص، و نقشه آن ترسیم شد. بعد از استخراج فراوانی ماهانه TU50c نیمکره شمالی، ابتدا ویژگی‌های آماری توصیفی آن‌ها استخراج و تحلیل شد و سپس روند تغییرات زمانی آن‌ها با استفاده از تحلیل سری‌های

¹ Karzani et al

² Reanalysis Data

³ https://psl.noaa.gov/cgi-bin/db_search/DBSearch.pl?Dataset=NCEP+Reanalysis+Daily+Values&Variable=Maximum+temperature

زمانی مورد بررسی قرار گرفت. برای آزمون معنی داری روند تغییرات زمانی از آمار من-کندال استفاده شد. با توجه به عمومیت روش تحلیل روند سری زمانی و آزمون من کندال از درج معادلات و توضیح روش های مذکور در این مقاله صرف نظر شد.

شکل ۱. منطقه مورد مطالعه (الف) و نقاط شبکه ای ۲/۵ در ۲/۵ درجه ای منطقه غرب آسیا (ب)

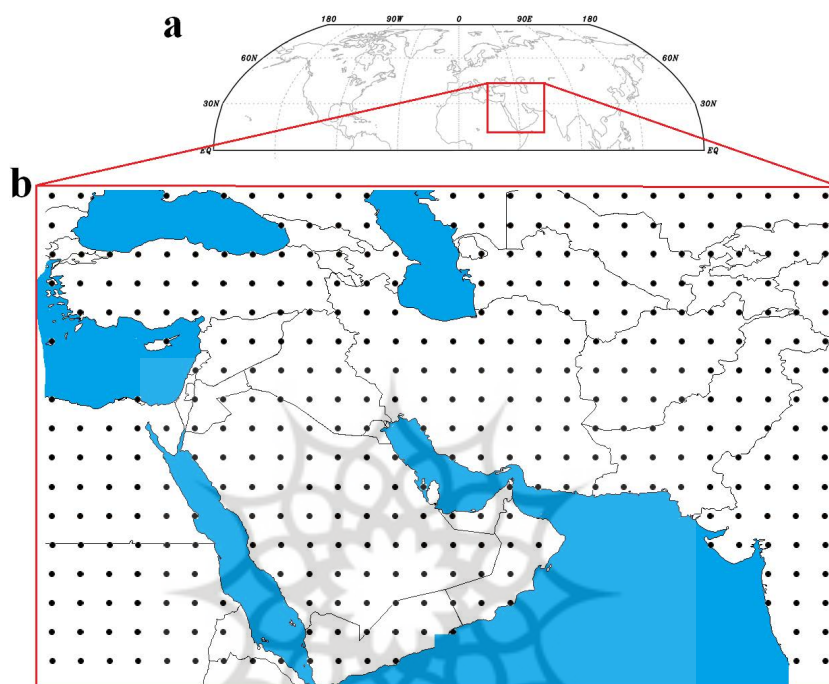


Figure 1: Study area (a) and grid points of 2.5 in 2.5 degrees in West Asia (b)

۳. نتایج

با ترسیم نقشه های دمای بالای ۲ متری سطح زمین برای روزهای هر ماه، فرکانس روزهای با TU50c برای هر ماه محاسبه شد. سپس در اولین گام مشخصات مربوط به ویژگی های آمار توصیفی فراوانی وقوع دماهای ماهانه استخراج شد و در جدول ۱ درج گردید.

جدول ۱. مشخصات آماری فراوانی ماهانه وقوع TU50c نیمکره شمالی ۱۹۴۸-۲۰۲۰

متغیر	میانگین	انحراف معیار	واریانس	چولگی	ضریب تغییرات	مجموع	کمترین	بیشترین	دامنه
ژانویه	۲,۷۵	۵,۵	۳۰,۸	۲	۲۰۱,۵	۲۰۱	۰	۱۹	۱۹
فوریه	۴,۹	۸,۳	۶۹	۱,۹	۱۶۹,۳	۳۵۹	۰	۲۸	۲۸
مارس	15۱۵	۸,۷	۷۶,۴	-۰,۴۸	۵۷,۶	۱۱۰۷	۲	۳۱	۲۹

فصلنامه برنامه ریزی و آمایش فضا

آوریل	۲۱,۳	۶,۷	۴۵,۶	-۰,۵۵	۳۱,۷	۱۵۵۴	۴	۳۰	۲۶
می	۲۶	۴,۵	۲۰,۳۱	-۰,۷۵	۱۷,۴۸	۱۸۸۰	۱۳	۳۱	۲۸
ژوئن	۱۹,۲	۷,۳	۵۴	-۰,۱۶	۳۸,۳	۱۴۰۳	۷	۳۰	۲۳
ژوئیه	۱۶,۵	۸,۲	۶۸	-۰,۱۵	۵۰	۱۲۰۳	۰	۳۰	۳۰
آگوست	۱۳,۳	۸,۹	۷۹,۳	۰,۳۹	۶۷,۳	۹۶۷	۱	۳۰	۲۹
سپتامبر	۵,۹	۶,۳	۳۹,۸	۱,۴۶	۱۰,۸	۴۳۰	۰	۲۳	۲۳
اکتبر	۲,۷	۴,۹	۲۴	۱,۹۵	۱۸۲,۵	۱۹۶	۰	۲۰	۲۰
نوامبر	۱,۷	۳,۸	۱۴,۵	۲,۲	۲۲۱	۱۲۶	۰	۱۵	۱۵
دسامبر	۱,۵	۳	۹,۳	۲,۰۵	۲۱۲,۷	۱۰۵	۰	۱۲	۱۲

Table 1. Statistical characteristics of the monthly occurrence frequency of TU50c in the Northern Hemisphere, 1948-2020

با توجه به مقادیر جمع ماهانه و میانگین فراوانی وقوع TU50c نیمکره شمالی، مشخص گردید که تمرکز ماهانه بیشترین وقوع دماهای یاد شده در ماه می و بعد از آن در آوریل و ژوئن است. کمترین تمرکز فراوانی ماهانه TU50c در ماه‌های سرد مانند دسامبر، نوامبر، اکتبر و ژانویه قرار می‌باشد. در شکل ۲ توزیع ماهانه سهمی فراوانی وقوع ماهانه TU50c نیمکره شمالی نشان داده شده است.

شکل ۲. توزیع درصد فراوانی ماهانه ی TU50c نیم کره شمالی ۱۹۴۸-۲۰۲۰

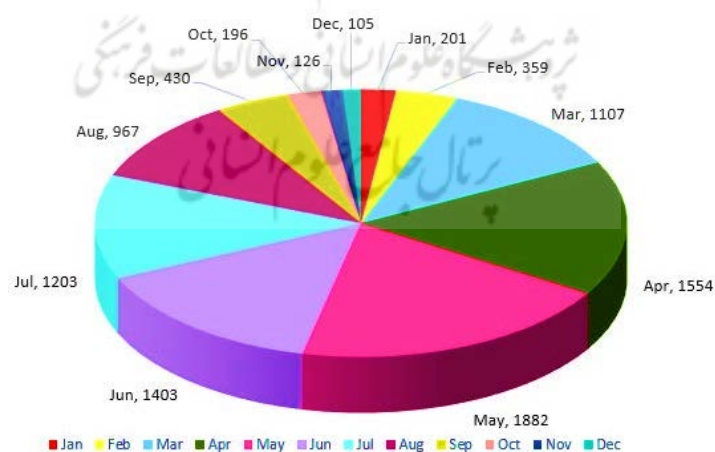


Figure 2. Distribution of the monthly frequency percentage of TU50c in the Northern Hemisphere, 1948-2020

با توجه به شاخص‌های پراکندگی انحراف معیار و ضریب تغییرات، بالاترین تغییرات زمانی در ماه دسامبر و کمترین تغییرات در ماه می مشاهده شده است که این امر بیانگر منظم بودن توزیع فراوانی ماهانه‌های ماه‌های می، آوریل و ژوئن و بی‌نظمی آن در ماه‌های دسامبر، نوامبر و ژانویه است. با توجه به مقادیر کمینه، بیشینه و دامنه تغییرات، معلوم شد که امکان عدم وقوع TU50c در ۷ ماه از سال مشتمل بر ژانویه، فوریه، جولای، سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر وجود دارد، اما در ماه‌های آوریل، می، ژوئن و آگوست در ۷۳ سال گذشته دمای بالای ۵۰ درجه سانتی‌گراد، حداقل یکبار (آگوست) و حداکثر ۳۱ بار یا کل روزهای ماه در ماه‌های می و مارس رخ داده‌اند. کمترین دامنه تغییرات فراوانی وقوع دماهای فرین بالای ۵۰ درجه سانتی‌گراد در دسامبر با ۱۲ روز و بیشترین مقدار در جولای ۳۰ روز می‌باشد. بعد از تعیین و تفسیر ویژگی‌های آمار توصیفی، سری‌های زمانی فراوانی وقوع TU50c نیمکره شمالی مورد تحلیل قرار داده شدند. در شکل ۳ روند تغییرات زمانی TU50c ماه مارس قابل مشاهده است. از آوردن شکل ماه‌هایی که روند معنی‌داری نداشتند و یا ضریب تعیین کمتر از ۱۰ درصد داشتند صرف نظر گردید.

روند خطی TU50c ماه مارس در شکل (۳) ارائه شده است. بیشترین تغییرات در ابتدای دهه ۱۹۸۰ تا پایان دهه ۱۹۹۰ به مدت ده سال روی داده است. در سال‌های بعدی از شدت تغییرات کاسته شده اما روند افزایشی و صعودی آن حفظ شده است. با توجه به شیب صعودی و ضریب تبیین قابل توجه، خط روند قادر به تبیین ۲۳ درصد از تغییرات دما در این ماه از سال است. علاوه بر این مقدار Z آزمون من‌کنندال که مقدار عددی ۴,۵۳ را نشان می‌دهد، نمایانگر معنی‌دار و صعودی بودن روند تغییرات زمانی فراوانی وقوع TU50c در ماه مارس در نیمکره شمالی است. قاره افریقا با ثبت دمای بالای ۷۵ درجه سانتی‌گراد در تاریخ ۲۵ مارس سال ۱۹۹۳ بالاترین دمای این ماه را به خود اختصاص داده است (شکل ۴).

شکل ۳. روند خطی فراوانی وقوع TU50c برای ماه مارس در دوره ۱۹۴۸-۲۰۲۰

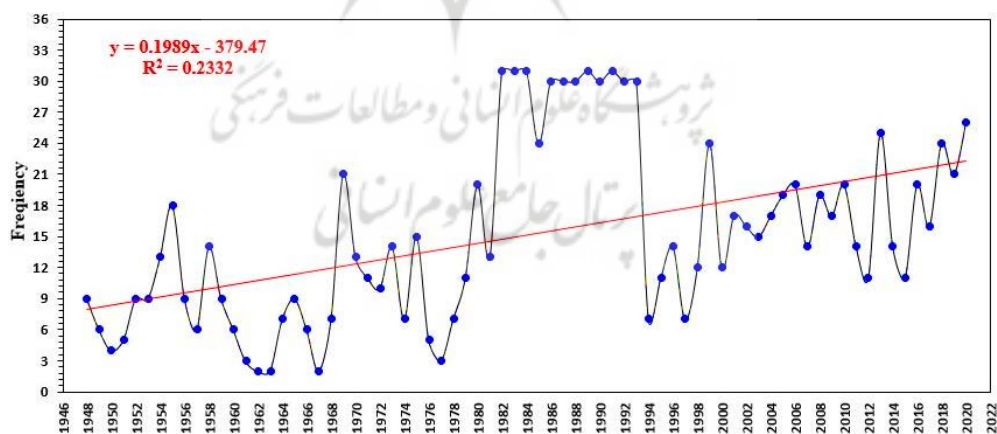


Figure 3. The linear trend of the occurrence frequency of TU50c for the month of March in the period of 1948-2020

شکل ۴. شدیدترین TU50c ثبت شده در ماه مارس (۲۵ مارس ۱۹۹۳) در دوره ۱۹۴۸-۲۰۲۰

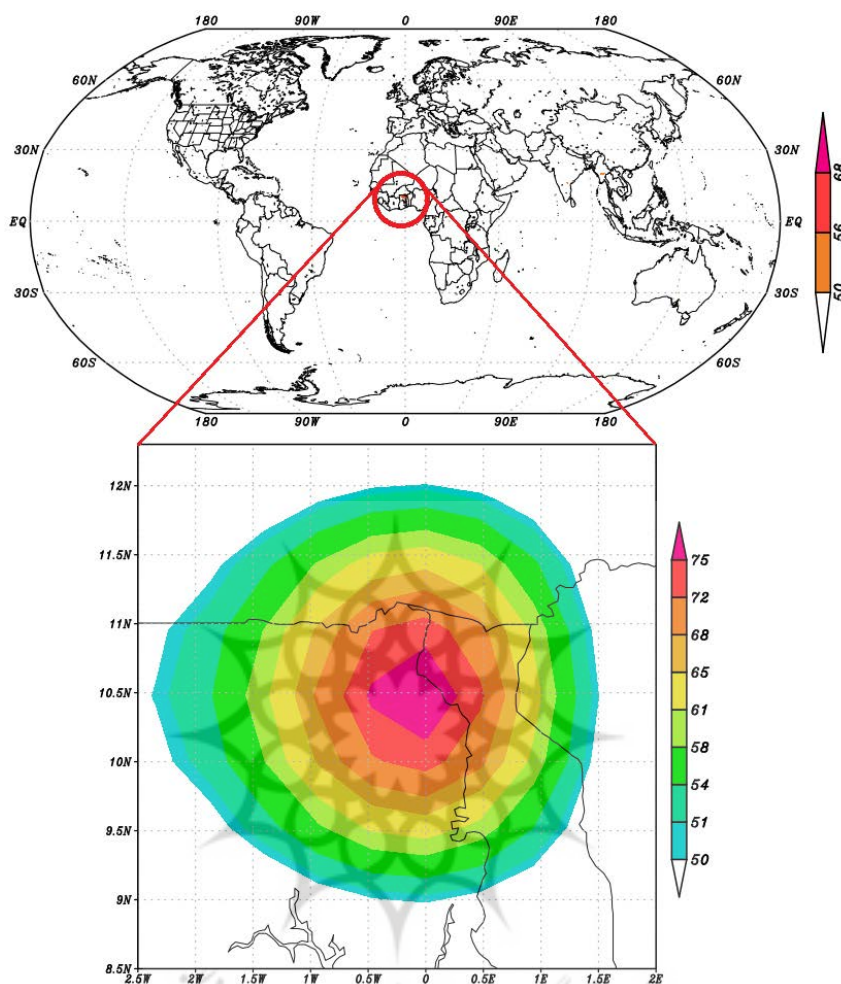


Figure 4. The most intense TU50c recorded in January (January 22, 1993) in the period 1948-2020

روند TU50c در ماه ژوئن در شکل ۵ ارائه شده است. حداقل رخداد روزهای توام با دمای بالای ۵۰ درجه این ماه ۵ روز است. طی سالهای ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۳ به مدت ۱۳ سال، این افزایش روند به بالاترین میزان خود رسیده است. این روند صعودی با شیب ملایم‌تری تا دهه‌های پایانی ادامه یافته است. با توجه به ضریب تبیین ۱۰ درصدی خط روند و شیب محسوس و صعودی آن (شکل ۶) و همچنین مقدار Z آزمون من کندال که عدد ۲,۴۲ را نشان می‌دهد، روند تغییرات زمانی فراوانی وقوع TU50c در ماه ژوئن در نیمکره شمالی معنی‌دار و صعودی است. بالاترین دمای این ماه با ۷۴ درجه سانتی‌گراد در روز چهارم سال ۱۹۹۲ در هند رخ داده است.

فصلنامه برنامهریزی و آمایش فضا

شکل ۵. روند خطی فراوانی وقوع TU50c برای ماه ژوئن در دوره ۱۹۴۸-۲۰۲۰

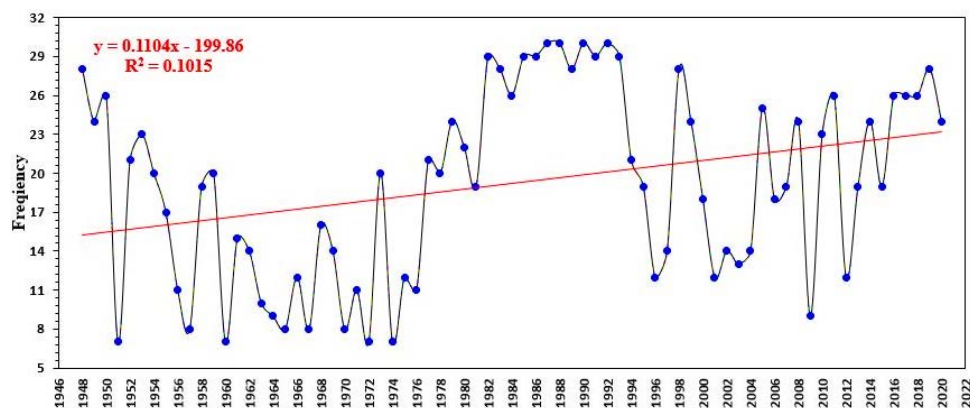


Figure 5. Linear trend of TU50c occurrence frequency for June in the period 1948-2020

شکل ۶. شدیدترین TU50c ثبت شده در ماه ژوئن (۴ ژوئن ۱۹۹۲) در دوره ۱۹۴۸-۲۰۲۰

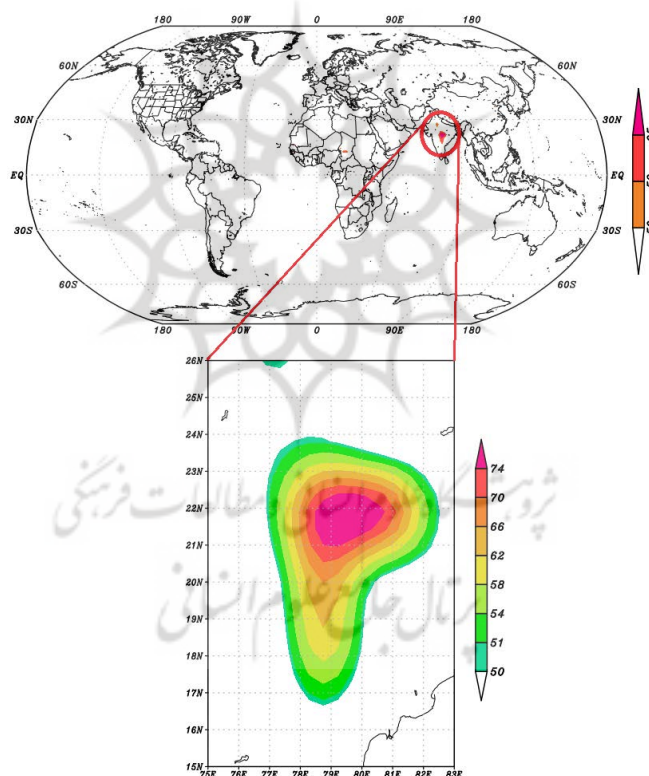


Figure 6. The most intense TU50c recorded in June (June 4, 1992) in the period 1948-2020

شکل ۷ گویای روند زمانی بلندمدت دمای ماه ژولای است. دو دوره فرود قوی در سال‌های ۱۹۵۵ و ۱۹۷۰ مشاهده می‌شود. طی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۴ روند افزایشی شدیدی طی ۱۴ سال وجود دارد و پس از آن دارای فراز و فرود

فصلنامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا

جزئی با روند صعودی ملایمی است. شیب روند از دهه سوم شدیدتر شده است و نشان می‌دهد که روند مذکور افزایشی است. با توجه به میزان عدد ۴,۰۷ نمره Z من کندال، روند سری زمانی در سطح ۵ درصد معنی‌دار است. شدیدترین دمای این ماه (شکل ۸) در پانزدهم ژولای سال ۱۹۹۱ در قاره آفریقا با ۷۰ درجه سانتی‌گراد دیده شد.

شکل ۷. روند خطی فراوانی وقوع TU50c برای ماه ژولای در دوره ۱۹۴۸-۲۰۲۰

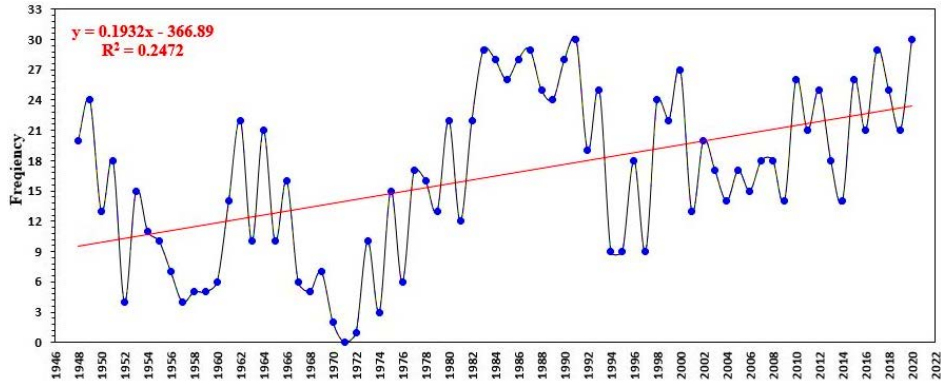


Figure 7. Linear trend of TU50c occurrence frequency for July in the period 1948-2020

شکل ۸. شدیدترین TU50c ثبت شده در ماه ژولای (۱۵ ژولای ۱۹۹۱) در دوره ۱۹۴۸-۲۰۲۰

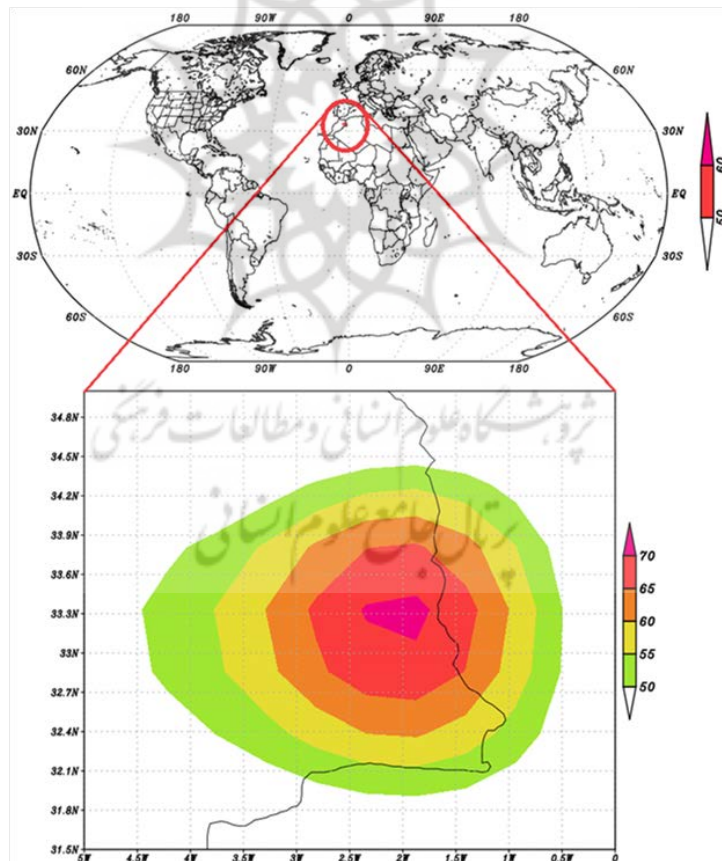


Figure 8. The most intense TU50c recorded in July (July 15, 1991) in the period 1948-2020

همانطور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود، روند خطی تغییرات زمانی TU50c آگوست، با شیب متوسطی در حال افزایش بوده و ضریب تعیین نیز قادر به تبیین بیش از ۲۹ درصد تغییرات زمانی TU50c در ۷۳ سال اخیر است. مقدار عددی Z من کندانال نیز برابر با ۳,۹۶ می‌باشد که مثبت و افزایشی است و در سطح ۵ درصد معنادار است. بالاترین دمای ماهانه در شانزدهمین روز ماه آگوست سال ۱۹۸۷ با ۷۹ درجه سانتی‌گراد، در قاره آفریقا ثبت گردید (شکل ۱۰).

شکل ۹. روند خطی فراوانی وقوع TU50c برای ماه آگوست در دوره ۱۹۴۸-۲۰۲۰

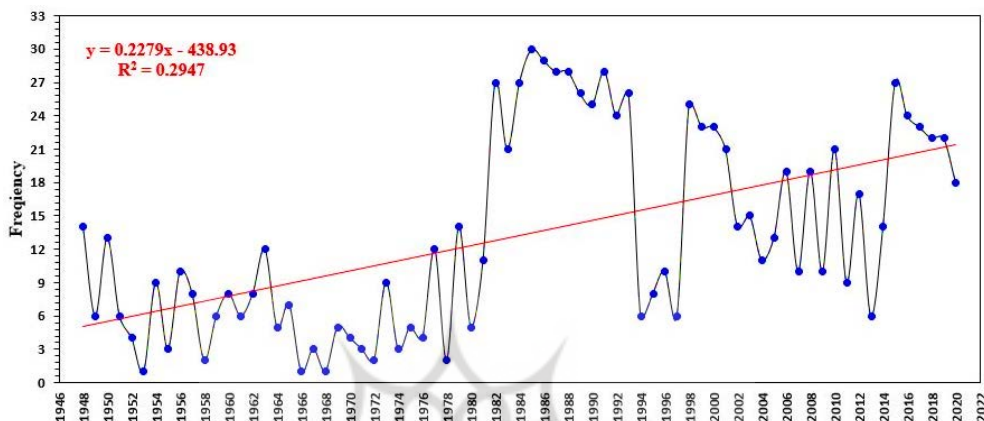


Figure 9. Linear trend of TU50c occurrence frequency for August in the period 1948-2020

شکل ۱۰. شدیدترین TU50c ثبت شده در ماه آگوست (۱۶ آگوست ۱۹۸۷) در دوره ۱۹۴۸-۲۰۲۰

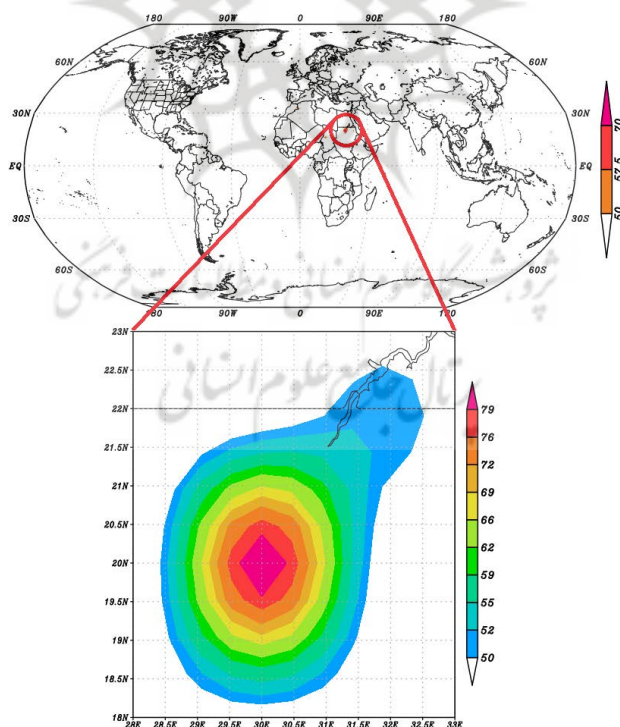


Figure 10. The most intense TU50c recorded in August (August 16, 1987) in the period 1948-2020

۴. بحث

در این پژوهش روند تغییرات زمانی ۷۳ ساله TU50c نیم‌کره شمالی بین سال‌های ۱۹۴۸ تا ۲۰۲۰ با استفاده از مولفه روند خطی مورد بررسی قرار گرفت. برای بررسی توزیع زمانی و تحلیل وضعیت تغییرپذیری و معناداری روند این تغییرات بلندمدت از آزمون من-کندال استفاده شده است. به طور کلی حدود ۹۵۵۳ روز دمای فرین TU50c طی این دوره شناسایی شد. تحلیل‌های زمانی وقوع این پدیده نشان داد که در بازه زمانی ماهانه به ترتیب ماه‌های می، آوریل و ژوئن دارای بیشترین فراوانی وقوع TU50c هستند و در ماه‌های نوامبر و دسامبر در اواخر پاییز که فصل سرد سال هستند کمترین مقدار فراوانی رخداد مشاهده گردید. همچنین روند کلی تغییرات زمانی پدیده مورد مطالعه در مقاطع زمانی ماهانه (به استثنا ژانویه، فوریه و دسامبر)، رو به بالا و صعودی است. بیشترین فراوانی وقوع دماهای فرین مربوط به قرن بیستم است و در سال‌های ۱۹۸۸ و ۱۹۸۶ به ترتیب با ۲۸۱ و ۲۷۶ روز بالاترین فراوانی‌ها مشاهده گردید. شدیدترین دمای ثبت شده در طول این دوره با دمای ۷۶٫۵ درجه‌ی سانتی‌گراد در سال ۱۹۸۷ رخ داده است. بیشترین فراوانی مکانی و شدیدترین دماها در محدوده‌ی واقع بین ایران، عراق، کویت، عربستان و آفریقا ثبت شده است. نتایج این مطالعه یافته‌های پژوهش‌های قبلی در جهان توسط (hunt;2007)، (Habeeb et al; 2015)، (Gershunov et al; 2009)، (Perkins et al; 2012)، (Song et al; 2014)، (Rohini et al; 2016)، (Guo et al; 2017) و (Zerafati et al; 2021) را که در بخش پیشینه تحقیق مطرح شد، با سطح اطمینان بیشتری با حداکثر فراوانی وقوع در فصل بهار و تابستان حداقل فراوانی وقوع در فصل پاییز تایید می‌نماید.

۵. نتیجه‌گیری

به نظر می‌رسد که دماهای فرین نیم‌کره شمالی تحت تاثیر گرمایش جهانی قرار گرفته و بر این اساس فراوانی ماهانه وقوع دماهای کشنده بالای ۵۰ درجه سانتی‌گراد در اغلب ماه‌ها افزایش معنی‌داری داشته است. این افزایش با شدت و ضعف‌هایی در زمان و مکان‌های مختلف خود را نشان می‌دهد ولی به طور کلی در دو قاره آسیا (شبه قاره هند و غرب آسیا) و آفریقا نمود بیشتری دارد. روند افزایشی فراوانی وقوع دماهای کشنده بالای ۵۰ درجه سانتی‌گراد حاکی از امکان بیشتر شدن وقوع این پدیده دمایی فرین کشنده در سال‌های آتی است. با توجه به اینکه وقوع دماهای شدید، جمعیت تحت تاثیر و خسارات اقتصادی آن در سال‌های اخیر رشد قابل توجهی داشته است، بنابراین می‌توان با دانستن زمان و مکان‌های وقوع این مخاطره برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری دقیق در زمان‌های مناسب انجام داد و با اقدامات به موقع از خسارات ناشی از این خطر طبیعی کاست.

منابع

- قويدل رحيمي، يوسف، (۱۳۹۰)، تحليلی از مخاطره اقليمي امواج ابر گرم سال ۱۳۸۹ استان خوزستان. نشریه علمی پژوهشی جغرافيا و برنامه ریزی، ۱۹(۵۱):۳۰۹-۲۸۹
- Aksu, H. (2021). Nonstationary analysis of the extreme temperatures in Turkey. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 95, 101238. <https://doi.org/10.1016/j.dynatmoce.2021.101238>.
 - Domonkos, P., Kyselý, J., Piotrowicz, K., Petrovic, P., & Likso, T. (2003). Variability of extreme temperature events in south-central Europe during the 20th century and its relationship with large-scale circulation. *International Journal of Climatology*, 23, 987-1010. <https://doi.org/10.1002/joc.929>
 - Efthymiadis, D., Goodess, C. M., & Jones, P. D. (2011). Trends in Mediterranean gridded temperature extremes and large-scale circulation influences. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11(8), 2199-2214.
 - Gershunov, A., Cayan, D.R., & Iacobellis, S.F. (2009). The Great 2006 Heat Wave over California and Nevada: Signal of an Increasing Trend, *Journal of Climate*, 22(23), 6181-6203. <https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/22/23/2009jcli2465.1.xml>
 - Ghavidel, Y. (2015). An Analysis of Super Heat wave Climatic Hazard Occurred in 2010 summer in Khuzestan Province. *Geography and Planning*, 19(51), 289-309 (In Persian).
 - Ghavidel, Y., & Ahmadi, M. (2015). Statistical analysis and temporal trend of annual maximum temperatures of Abadan in Southwestern of Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 8(10), 8219-8228. DOI: 10.1007/s12517-014-1760-9
 - Guo, X., Huang, J., Luo, Y., Zhao, Z., & Xu, Y. (2017). Projection of heat waves over China for eight different global warming targets using 12 CMIP5 models. *Theoretical and Applied Climatology*, 128, 507-522. <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1718-1>
 - Habeeb, D., Vargo, J., Stone, B. (2015). Rising heat wave trends in large US cities. *Natural Hazards*, 76, 1651-1665. <https://doi.org/10.1007/s11069-014-1563-z>
 - Hunt, B. G. (2007). A Climatology of Heat Waves from a Multimillennial Simulation, *Journal of Climate*, 20(15), 3802-3821. doi: <https://doi.org/10.1175/JCLI4224.1>
 - Karzani, M., Ghavidel, Y., & Farajzadeh, M. (2022). Temporal Changes in Lethal Temperatures above 50 °C in the Northern Hemisphere. *Pure and Applied Geophysics*, 179, 3377-3390. <https://doi.org/10.1007/s00024-022-03109-6>
 - Klaus, D., Wszyński, P., Dethloff, K., Przybylak, R., & Rinke, A. (2018). Evaluation of 20CR reanalysis data and model results based on historical (1930-1940) observations from Franz Josef Land. *Polish Polar Research*, 36(2), 225-254. <https://doi.org/10.24425/118747>
 - Kostopoulou, E., Giannakopoulos, C., Hatzaki, M., Karali, A., Hadjinicolaou, P., Lelieveld, L., & Lange M.A. (2014). Spatio-temporal patterns of recent and future climate extremes in the eastern Mediterranean and Middle East region. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14(6), 1565-77. <https://doi.org/10.5194/nhess-14-1565-2014>.
 - Liu, Z., Yang, M., Wan, G., & Wang, X. (2017). The Spatial and Temporal Variation of Temperature in the Qinghai-Xizang (Tibetan) Plateau during 1971-2015. In *Atmosphere* (Vol. 8, Issue 11, p. 214). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/atmos8110214>

- Loew, A., Holmes, T., de Jeu, R. (2009). The European heat wave 2003: Early indicators from multisensoral microwave remote sensing. *Journal of Geophysical Research - Atmospheres*, 114(D5). Doi: 10.1029/2008JD010533.
- Marshall, A. G., Hudson, D., Wheeler, M. C., Alves, O., Hendon, H. H., Pook, M. J., & Risbey, J. S. (2013). Intra-seasonal drivers of extreme heat over Australia in observations and POAMA-2. In *Climate Dynamics* (Vol. 43, Issues 7–8, pp. 1915–1937). Springer Science and Business Media LLC. <https://doi.org/10.1007/s00382-013-2016-1>
- Meehl, G.A., & Tebaldi, C. (2004). More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century. *Science*, 305(5686), 994-997. <https://doi.org/10.1126/science.1098704>
- Mildrexler, D. J., Zhao, M., & Running, S. W. (2011). Satellite finds highest land skin temperatures on Earth. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 92(7), 855-860. Doi: 10.1175/2011BAMS3067.1
- Perkins, S. E., & Alexander, L. V. (2013). On the measurement of heat waves. *Journal of climate*, 26(13), 4500-4517. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00383.1>
- Perkins, S. E., Alexander, L. V., & Nairn, J. R. (2012). Increasing frequency, intensity and duration of observed global heatwaves and warm spells. *Geophysical Research Letters*, 39(20). Doi: 10.1029/2012GL053361.
- Rohini, P., Rajeevan, M., & Srivastava, A. K. (2016). On the Variability and Increasing Trends of Heat Waves over India. In *Scientific Reports* (Vol. 6, Issue 1). Springer Science and Business Media LLC. <https://doi.org/10.1038/srep26153>
- Russo, S., Dosio, A., Graversen, R. G., Sillmann, J., Carrao, H., Dunbar, M. B., & Vogt, J. V. (2014). Magnitude of extreme heat waves in present climate and their projection in a warming world. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 119(22), 12-500. Doi: 10.1002/2014JD022098.
- Sanderson, M., Economou, T., Salmon, K., & Jones, S. (2017). Historical Trends and Variability in Heat Waves in the United Kingdom. In *Atmosphere* (Vol. 8, Issue 10, p. 191). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/atmos8100191>
- Slivinski, L. C., Compo, G. P., Whitaker, J. S., Sardeshmukh, P. D., Giese, B. S., McColl, C., ... & Wyszynski, P. (2019). Towards a more reliable historical reanalysis: Improvements for version 3 of the Twentieth Century Reanalysis system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 145(724), 2876-2908. Doi:10.1002/qj.3598
- Song, X., Zhang, Z., Chen, Y., Wang, P., Xiang, M., Shi, P., & Tao, F. (2014). Spatiotemporal changes of global extreme temperature events (ETEs) since 1981 and the meteorological causes. *Natural hazards*, 70, 975-994. <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0856-y>
- Vincent, L. A., & Mekis, É. (2006). Changes in Daily and Extreme Temperature and Precipitation Indices for Canada over the Twentieth Century. *ATMOSPHERE-OCEAN*, 44(2), 177-193. <https://doi.org/10.3137/ao.440205>.
- Xie, W., Zhou, B., You, Q., Zhang, Y., & Ullah, S. (2020). Observed changes in heat waves with different severities in China during 1961–2015. *Theoretical and Applied Climatology*, 141, 1529-1540. Doi: 10.1007/S00704-020-03285-2.
- Zaitchik, B. F., Macalady, A. K., Bonneau, L. R., & Smith, R. B. (2006). Europe's 2003 heat wave: a satellite view of impacts and land-atmosphere feedbacks. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 26(6), 743-769. Doi: 10.1002/joc.1280.

- Zerafati, H., Ghavidel, Y., & Farajzadeh, M. (2021). Historical reconstruction and statistical survey on long-term temporal changes in temperatures above 50° C in West Asia. *Arabian Journal of Geosciences*, 14, 1-11. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-08611-0>

