

Investigation of the Relationship between Heat Waves and Urban Heat Islands (Case study: Ahvaz metropolis)

Roghayeh Maleki Meresht¹, Behrouz Sobhani^{2✉}, Masood Moradi³

1. Ph.D Student of Climatology, Faculty of Social Sciences, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran
E-mail: r.maleki@uma.ac.ir
2. Professor of Climatology, Faculty of Social Sciences, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran
✉ E-mail: sobhani@uma.ac.ir
3. Ph.D of Climatology, Faculty of Natural Resources, Kurdistan University, Sanandaj, Iran
E-mail: m.moradi@uok.ac.ir



How to Cite: Maleki Meresht, R; Sobhani, B; & Moradi, M. (2022). Investigation of the Relationship between Heat Waves and Urban Heat Islands (Case study: Ahvaz metropolis). *Geography and Development*, 20 (67), 121-141.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22111/J10.22111.2022.6923>

Received:

21 December 2021

Received in revised form:

16 February 2022

Accepted:

14 March 2022

Published online:

24 May 2022

ABSTRACT

Heat waves and urban heat islands are phenomena that affect different aspects of human life. The purpose of this study is to investigate the relationship between heat waves and urban heat islands in Ahvaz metropolis from 2003 to 2018. For this purpose, after receiving the maximum temperature data of Ahvaz during the mentioned statistical period, warm days with temperature higher than +2 standard deviation or above average (NTD) and lasted at least 2 days, were identified as days with heat wave using Fumiaki index and in MATLAB software environment and Then, to investigate the effect of heat waves on the intensification of heat islands in the hot and cold months of the year, heat islands for daytime and nighttime, days with heat wave and a normal day with the lowest maximum temperature as a day without heat wave up to two week ago the occurrence of each heat wave was calculated using MODIS-AQUA sensor data. According to the results, most of the heat waves in Ahvaz which occurred in March 2010, was at the end of the cold period of the year. In terms of continuity, it was 7 days and therefore long-term. findings also showed that although in heat wave and no heat wave conditions, often formed on the day the cold island and at night the heat island, but in the heat wave conditions during the day, the cold island, it has been often more severe than normal days, and at night time the heat island is often more intense than normal day. In general, it seems that the occurrence of heat waves has an effect on the intensification of the thermal islands of Ahvaz in both hot and cold months, Of course, these conditions have been more noticeable in warm months than cold months of the year.

Keywords:

Heat waves,
Thermal islands,
Ahvaz metropolis.



© the Author(s).

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

Extended Abstract

1. Introduction

Heat wave (HW) is one of the most important climatic hazards that have devastating consequences in nature every year, and the reduction of these consequences depends on identifying the meteorological systems that create them and forecasting the time and identifying areas. Vulnerability and discovering ways to reduce

their annoying effects on public health. Cities often experience special climatic conditions called urban climates, urban climates due to differences in the city's climatic variables (temperature, humidity, wind speed, precipitation) with less densely populated areas around it exists, is identified. Land surface temperature is one of the key parameters in physical

and chemical biological control in land processes and is an important factor for the study of urban climate. Heat waves and urban heat islands are phenomena that affect different aspects of human life. The aim of this study is the investigation of the relationship between heat waves and urban heat islands in Ahvaz metropolis from 2003 to 2018. The constant rise in temperature of the city as an urban heat island and the sudden occurrence of HW's as one of the major climatic hazards, is an important concern of urban management policy makers. Because the increase in heat in this city can lead to a lot of environmental damage. The stagnant atmospheric conditions caused by heat waves trap pollutants in urban areas, and by adding the intense stress of toxic pollutants to the dangerous stress of hot air, creates a large-scale health problem. (Al-Musaid, 2011: 139).

2. Methods and Material

In order to identify and extract HW's, data on the maximum daily temperature of Ahvaz Synoptic Station, from 2003 to 2018, were obtained from the Meteorological Organization of Iran. Then by using Fumiaki Index and MATLAB software, Days with temperature above +2 standard deviation or above the mean Normalized Thermal Deviation (NTD) that lasted at least two days, were identified as the day with HWs and calculated by equation 1: (Masoudian & Darand, 2011: 173; Ismail Nejad et al., 2013: 43).

$$\overline{T(i, j)} = \sum_{n=2003}^{2018} T(i, j, n) \div N$$

Where T (i, j, n) temperature of day i th from month j th in year n th, $\overline{T(i, j)}$ the average temperature of day i from month j. To eliminate the noise in the mean, a 9-day moving average filter was performed on these data three times and calculated by the following equation (Fujibi et al, 2007: 65; Ismail Nejad et al. 2014: 43).

$$\Delta T = (i, j, n) = T(i, j, n) - \overline{T(i, j)}$$

Where $\Delta T = (i, j, n)$ absolute deviation of temperature from the average on day j th of the month i th, in year n th compared to the average

temperature of the same day. In order to the values of temperature deviation of different times and places to be comparable at a certain time and place, it is necessary to standardize these absolute values of temperature deviation by means of temperature diffraction. Like day-to-day changes, diffuse ΔT at 31 days for each day is calculated by the following equation:

$$\sigma^2(i, j) = \sum_{n=2003}^{2018} \sum_{j-16}^{j+16} [\Delta T(i, j', n) - \overline{\Delta T(i, j', n)}]^2 \div 31N$$

The value $\overline{\Delta T(i, j)}$ is the average temperature deviation in 31 days that is calculated by the following equation:

$$\overline{\Delta T * (i, j)} = \sum_{n=2003}^{2018} \sum_{j-16}^{j+16} T(i, j', n) \div 31N$$

Finally, (NTD) is calculated by the following equation:

$$x(i, j, n) = \Delta T(i, j, n) \div \overline{\sigma(i, j)}$$

Where $\overline{\sigma(i, j)} = \sqrt{\sigma^2(i, j)}$. Then in MATLAB software, days with temperatures +2 above average (NTD) and lasting at least two days, were selected as the day with the HW. (Equation 6) [i

$$NTD(i), NTD(i+1), \dots, NTD(i+p-1) \geq 2, NTD(i-1), NTD(i+p) \leq 2$$

In this study, in order to investigate the effect of HW's on the intensification of the urban heat island in Ahvaz city and its suburbs (city center and its surroundings at a distance of 5 km from the center) on days when HW's occurred in hot and cold months. During the years 2003 to 2018, as well as one sample day before each heat wave (one or two weeks before the heat wave occurred), which had the lowest maximum temperature was selected. Then the MODIS-AQUA geothermal surface temperature data for daytime at 03: 40-02: 54, and for night time at 15: 18-13: 48, were received from the NASA website and the heat islands were calculated on the desired days. The intensity of heat islands on days with HW's and days with no HW's

was compared. The thermal island was calculated in Ahvaz city using Equation 7:

(7)

$$\text{SUHI} = \text{LSTurban} - \text{LSTrural}$$

Where, SUHI is Urban Surface Heat Island Index, LSTrural and LSTurban, are the average surface temperature of urban and rural areas, respectively.

3. Results and Discussion

According to the results of Fumiaki index, during the study period (2003-2018), the highest frequency of this hazard occurred in the studied station in March. In terms of continuity, in these 16 studied years, the maximum continuity of HW's was in 2010 and it lasted 7 days, so the HW's in this city have been long term. Results also showed, in both HW and NHW conditions, in the hot and cold months of the year, often a cold island is often formed in the city center during the day and a hot island is formed at night. Comparison of thermal islands in HW and NHW conditions in the hot and cold months of the year showed that the occurrence of HWs in the intensification of the thermal islands of Ahvaz in both hot and cold months was effective. but it has been more noticeable in the warm months, and the intensity of the night heat island in both hot and cold months has increased by at least 2°C from normal in at least one case, and often the intensity of cold island During the day at the same time with HWs conditions were more than NHW conditions, however, sometimes under the HW conditions, a heat island was created in the city center. Also, at

night time, most of the heat island during the HW conditions was more intense than normal days.

4. Conclusion

The results of the study of HW's showed that from 2003 to 2018, the highest frequency of this risk occurred in 2010 and in March (late winter and early spring), which coincides with the germination season of plants and may be associated with drop in temperature will hurt farmers and gardeners following these HW's. Also, According to the results it seems that the suburbs of Ahvaz due to having a clear sky, with little vegetation and lack of surface water resources and low heat capacity during the day faster than the city center is affected by HW's, and as a result, with the warming of the surface in the suburbs compared to the city center, a cold island is formed in the city center. And with the angle of the sun, the cold island also becomes weaker and at night at the outskirts of the city due to low heat capacity, heat lost during the day faster and therefore colder than the city center and as a result the city center has experienced a heat island due to higher temperatures and because the temperature changes in the suburbs are weaker during the night, the night heat islands change have been less than the daily cold islands. Also, in the warm period of the year, due to the more intense heating of the suburban procedures under the conditions of HW's, the intensity of cold islands was higher than the cold period of the year.

Keywords: Heatwaves, Heat islands, Ahvaz metropolis.

5. References

- Azizi, GH (2005). Climate change, Tehran, Qoms Publishing, first edition, 434.
- Ghasemifar, A.; Naserpour, S (2018). Synoptic analysis of heat and cold waves on the southern shores of the Caspian Sea, Journal of Geographical Information (Sepehr), (103),137-146.
http://www.sepehr.org/article_28899.html
- Ghavidel Y (2014). Identification, classification and synoptic analysis of heat waves in northwest of Iran, M.Sc. Thesis, University of Tabriz, Supervisor: Saeed Jahanbakhsh
<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=177582>
- Hoshyar, M.; Sobhani, b. And Hosseini, S. A (2019). Changes Maximum Temperature Urmia with Using statistical exponential scale Model CanESM2, Journal of Geography and Planning, (63),305-325.
<https://civilica.com/papers/1-10506/>
- Ismail Nejad, M.; Khosravi, M.; Alijani, b. And Masoudian, S. A (2014). Identification of Iranian heat waves, Geography and Development, (3), 39-54.
https://gdij.usb.ac.ir/article_1321.html

- Kashki, A. r.; Karami, M.; Baaghdeh, m. And Ali Moradi, M. r. (2020). Statistical analysis of Zabol heat waves, changes and climate hazards, (1), 40-55.
http://cccd.znu.ac.ir/article_36081.html
- Mojarad, F., Nasiriyah, M. And Hashemi, S (2019). Investigation of periodic and seasonal changes of the heat island of Kermanshah day and night using satellite images, *Earth and space physics*, 44, (2): 479-494.
<https://www.sid.ir/fa/Journal/ViewPaper.aspx?ID=467195>
- Mojarad, F., Masoumpour, J., Rostami, T (2015). "Statistical Analysis - Synonymy of heat waves above 40 degrees Celsius in western Iran", *Geography and Natural Hazards*, (13): 41-57.
<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=303234>
- Moloudi, G.; Khorani, A. And Moradi, A (2016). The effect of climate change on the heat waves of the northern shores of the Persian Gulf, *Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards*, (1), 1-14.
https://jsaeh.khu.ac.ir/browse.php?a_code=A-10-3-37&slc_lang=fa&sid=1
- Nazar Seidi, A; Gandomakar, A (2022). A Study of Climate Change in Ahvaz in Relation to Regional Development and Urban Planning, *Quarterly Journal of New Attitudes in Human Geography*, No. 2, 151-170.
http://geography.journals.iugarmarsar.ac.ir/article_680433_6444b5c156e841480764215f0c63275d.pdf
- Rahimi, d.; Mir Hashemi, H. And Alizadeh, T (2018). Analysis of the structure of heat waves in the west and northwest of Iran, *Geography and Environmental Planning*, (3), 69-80.
https://gep.ui.ac.ir/article_22307.html
- Salahi, B.; Ghodrati, Z (2019). Prediction and analysis of heat waves in Zanzan using LARS-WG fine dust and baldness index. *Journal of Natural Geography*, (40),35-48.
<https://www.magiran.com/paper/1894904>
- Añel J, Fernández-González M, Labandeira X, López-Otero X, de la Torre L. (2017). Impact of Cold Waves and Heat Waves on the Energy Production Sector. *Atmosphere* 10: 1-13.
<https://www.mdpi.com/2073-4433/8/11/209>
- Almusaed A (2011). The Urban Heat Island Phenomenon upon Urban Components. *Biophilic and Bioclimatic Architecture* 21: 139-150.
https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-84996-534-7_10
- Basara J, Basara H, Bradley I, Kenneth C (2018). The Impact of the Urban Heat Island during an Intense Heat Wave in Oklahoma City. *Advances in Meteorology* 7: 1-10.
<https://www.hindawi.com/journals/amete/2010/230365/>
- De Ridder K, Maiheu B, Lauwaet D, Daglis I A, Keramitsoglou I, Kourtidis K, Manunta P, Paganini M (2016). Urban Heat Island Intensification during Hot Spells-The Case of Paris during the Summer of 2003. *Urbanscience* 1: 1-11.
<https://www.mdpi.com/2413-8851/1/1/3>
- Dobrovolny P, Krahula L (2015). The spatial variability of air temperature and nocturnal urban heat island intensity in the city of Brno, Czech Republic, *Moravian Geographical Reports* 23: 8-16.
<https://sciendo.com/article/10.1515/mgr-2015-0013>
- Feng C, Xuchao Y, Weiping Z (2014). WRF simulations of urban heat island under hot-weather synoptic conditions: The case study of Hangzhou City, China. *Atmospheric Research* 138: 364–377.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809513003542>
- Feron- Sarah R, Cordero R, Alessdro- Damiani P, Llanillo J, Jorquera J, sepulveda E, Asencio V, Laroze D, Labbe F, Carrasco J, torres G (2019). observations and projections of Heat Waves in south Americas. *Scientific reportst* 9: 1-15.
<https://www.nature.com/articles/s41598-019-44614-4>
- Founda D, Santamouris M (2017). Synergies between Urban Heat Island and Heat Waves in Athens (Greece), during an extremely hot summer 2012, *Scientific Reports* 7: 1-16.
<https://www.nature.com/articles/s41598-017-11407-6>
- FujibeF, YamazakiN, KobayashiK, NakamigawaH(2007). Long-term changes of temperature extremes and day-to-day variability in Japan, *papers in Meterology and Geophysics*, IPCC 85: 63-70.
<https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/joc.3707>

- Ghobadi A, Khosravi M, Tavousi T (2017). Surveying of Heat waves Impact on the Urban Heat Islands: Case study, the Karaj City in Iran. *Urban Climate* 10: 1-16.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S221209551730110>
- Hosseini A (2016). Assessment of Urban Heat Island based on the relationship between land surface temperature and Land Use/Land Cover in Tehran, *Sustainable Cities and Society* 23: 94-104.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670716300403>
- Khandelwal S, Goyal R, Kaul N, Mathew A (2017). Assessment of land surface temperature variation due to change in elevation of area surrounding Jaipur, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science* 21): 1-8.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S111098231730011X>
- Lazzarini M, Marpu PR, Ghedira H (2013). Temperature-land cover interactions: the inversion of urban heat island phenomenon in desert city areas. *Remote Sensing of Environment* 130: 136-152.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425712004312>
- Lemonsu A, Viguié V, Daniel M, Masson V (2015). Vulnerability to heat waves: Impact of urban expansion scenarios on urban heat island and heat stress in Paris (France). *Urban Climate* 14: 586-605.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212095515300316>
- Bai L, Gangqiang D, Shaohua G, Peng B, Buda S, Dahe Q, Ramamurthy P, Bou-Zeid E (2017). Heatwaves and urban heat islands: A comparative analysis of multiple cities. *Journal of geophysical research Atmospheres an Agu Journal* 122: 168-178.
<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2016JD025357>
- Paravantis J, Santamouris M, Constantinou C, Efthymiou C, Kontoulis N (2017). Mortality Associated with High Ambient Temperatures Heatwaves, and the Urban Heat Island in Athens, Greece, *Sustainability* 606: 2-22.
<https://www.mdpi.com/2071-1050/9/4/606>
- Ramamurthy P, Bou-Zeid E (2017). Heatwaves and urban heat islands: A comparative analysis of multiple cities. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 1: 168-178.
<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2016JD025357>
- Rohini, P.; Pajeevan, m., and Mukhopahay, P (2019). Future projections of heat waves over India from CMIP5 models, *Climate Dynamics*, (53), 975-988.
<https://www.semanticscholar.org/paper/Future-projections-of-heat-waves-over-India-from-Rohini-Rajeevan/9e7b40ab405ce2d4800f54a1e9db71e56956f5bd>
- Solomon S, Qin D, Manning Ch, Marquis M, Muhire M, K.B. I, Ahmed F (2016). Spatiotemporal trends in mean temperatures and aridityindex over Rwanda. *Theoretical and Applied Climatology* 123: 399-414.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-014-1353-2>
- Weihe Z, Shuang Ji, Tsun-Hsuan Ch, Hou Y, Zhang K (2014). The 2011 heat wave in Greater Houston: Effects of land use on temperature. *Environmental Research* 135: 81-87.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935114002916>
- Wilks D.S (2006). *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*, Second Edition, Academic Press is an imprint of Elsevier, Cornell University, USA 648.
<https://www.elsevier.com/books/statistical-methods-in-the-atmospheric-sciences/wilks/978-0-12-385022-5>
- Zhou B, Lauwaet D, Hooyberghs H, De Ridder, Kropp K, D- Rybski J (2016). Assessing Seasonality in the Surface Urban Heat Island of London, *Journal Of Applied Meteorology and Climatology* 55: 493-505.
<https://journals.ametsoc.org/view/journals/apme/55/3/jamc-d-15-0041.1.xml>
<https://search.earthdata.nasa.gov/>



واکاوی رابطه امواج گرمایی و جزایر حرارتی شهری

مطالعه موردی: کلان شهر اهواز

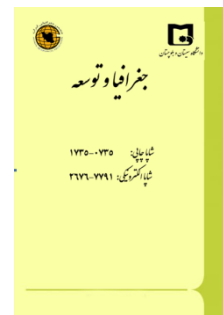
رقیه ملکی مرشد^۱، دکتر بهروز سبحانی^{۲*}، دکتر مسعود مرادی^۳

مقاله پژوهشی

چکیده

امواج گرمایی و جزایر حرارتی شهری از پدیده‌هایی هستند که جوانب مختلف حیات انسان را تحت تأثیر قرار می‌دهند. هدف از پژوهش حاضر، واکاوی رابطه امواج گرمایی و جزایر حرارتی شهری در کلان شهر اهواز از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۸ است. بدین منظور پس از آماده‌سازی داده‌های حداکثر دمای ایستگاه سینوپتیک اهواز طی دوره آماری مذکور، روزهای گرمی که دمای آن‌ها بالاتر از ۲+ انحراف معیار یا بالاتر از میانگین (NTD) بود و حداقل ۲ روز تداوم داشت، با استفاده از شاخص فومیایی و در محیط نرم‌افزار متلب به‌عنوان روزهایی توأم با موج گرمایی تعریف شد و سپس در جهت بررسی تأثیر امواج گرمایی بر تشدید جزایر حرارتی در ماه‌های گرم و سرد سال جزایر حرارتی برای روزهای گرم و شب‌هنگام و شب‌هنگام روزهای توأم با موج گرما و یک روز عادی با کمترین دمای حداکثر به‌عنوان روز بدون موج گرما حداکثر تا دو هفته قبل از وقوع هر موج گرمایی با استفاده از داده‌های سنجنده مودیس-آکوا، محاسبه شد. طبق نتایج، بیشترین امواج گرمایی شهر اهواز در اواخر دوره سرد سال رخ داده که در مارس ۲۰۱۰ بوده و از نظر تداوم، ۷ روزه و بلندمدت بوده‌است. یافته‌ها همچنین نشان دادند، اگرچه در هردو شرایط وجود و نبود موج گرمایی، در مرکز این شهر، اغلب در روز جزیره سرمایی و در شب جزیره گرمایی تشکیل یافته؛ اما در شرایط موج گرمایی در روزهای گرم اغلب جزیره سرمایی شدیدتر از روزهای عادی بوده‌است و در شب‌هنگام جزیره گرمایی اغلب نسبت به شرایط عادی شدت بیشتری داشته است. در مجموع، به نظر می‌رسد رخ داد امواج گرمایی در تشدید جزایر حرارتی شهر اهواز هم در ماه‌های گرم و هم در ماه‌های سرد تأثیر داشته که البته این شرایط در ماه‌های گرم محسوس‌تر از ماه‌های سرد سال بوده‌است.

جغرافیا و توسعه، شماره ۶۷، تابستان ۱۴۰۱
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۳۰
تاریخ بازنگری داوری: ۱۴۰۰/۱۱/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۲۳
صفحات: ۱۴۱-۱۲۱



واژه‌های کلیدی:
امواج گرمایی، جزایر حرارتی، کلان شهر اهواز.

مقدمه

نواحی کم‌تراکم‌تر اطرافش دارد، شناسایی می‌شود. دمای سطح زمین یکی از پارامترهای کلیدی در کنترل فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی، در پروسه‌های زمین و عامل مهمی برای مطالعه اقلیم شهری محسوب می‌شود (Khandelwal & et al, 2017: 1). شرایط اتمسفری راکد حاصل از امواج گرمایی، آلاینده‌ها را در مناطق شهری محبوس می‌سازد و با اضافه شدن تنش شدید آلاینده سمی، به تنش خطرناک هوای گرم موجود، یک مشکل زیست‌محیطی در ابعاد وسیع به‌وجود می‌آورد (Almusaed, 2011: 139).

پژوهشگران بر این باورند که طی سال‌های اخیر تغییر اقلیم و گرمایش جهانی منجر به افزایش بسامد و تداوم امواج گرمایی در نقاط مختلف جهان شده؛

موج گرمایی به‌عنوان تداوم غیرمعمول و استثنایی هوای گرم تعریف شده‌است (الماسی و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۳۷). امواج گرمایی از مهم‌ترین مخاطرات آب‌وهوایی است که بیش از ۵ روز دوام داشته و دما ۵ درجه از حالت نرمال بیشتر باشد و نیز برای انسان و محیط زیست ایجاد بحران کند (مجرد و همکاران، ۱۳۹۴: ۴۲) و کاهش پیامدهای ناشی از این مخاطره، در گرو شناسایی سامانه‌های جوی ایجادکننده و پیش‌بینی زمان و مکان وقوع آن‌ها است. شهرها در اغلب موارد شرایط اقلیمی خاصی با عنوان اقلیم شهری تجربه می‌کنند، اقلیم شهری به‌واسطه تفاوتی که در متغیرهای اقلیمی شهر (دما، رطوبت، باد، بارش) از

۱. دانشجوی دکترای آب و هواشناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲. استاد آب و هواشناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران (نویسنده مسئول)

۳. دکترای آب و هواشناسی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

۱. دانشجوی دکترای آب و هواشناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲. استاد آب و هواشناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران (نویسنده مسئول)

۳. دکترای آب و هواشناسی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

بنابراین افزایش مداوم دمای شهر با عنوان جزیره حرارتی شهری از یک سو و رخ داد ناگهانی امواج گرمایی به عنوان یکی از مخاطرات مهم اقلیمی از سوی دیگر، سبب نگرانی سیاست‌گذاران مدیریت شهری شده است؛ زیرا رخ داد این دو پدیده، می‌تواند سبب تشدید گرمای شهرها به خصوص در شهرهای گرمسیر شده و در نتیجه خسارات زیست‌محیطی فراوانی را به دنبال داشته باشد. طبق توضیحات ارائه شده و با توجه به پیامدهای زیست‌محیطی ناگوار و عواقبی که رخ داده‌ها فرین‌های اقلیمی همچون موج گرمایی به دنبال دارند، ضرورت پژوهش در این زمینه محسوس‌تر می‌شود.

هدف از پژوهش حاضر، واکاوی رابطه امواج گرمایی و جزایر حرارتی شهری در کلان‌شهر اهواز طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۸ است. شهر اهواز به دلیل قرارگیری در معرض نفوذ پراارتفاع آזור و هوای گرم و خشک بیابان‌های آفریقا و عربستان، سالانه امواج گرمایی فراوانی را تجربه می‌کند؛ از این رو پی‌بردن به ویژگی امواج گرمایی این شهر و تأثیر آن بر تشدید جزایر گرمایی شهری، مسئله مهمی است که می‌تواند به برنامه‌ریزی در بخش‌های مختلف از جمله: منابع آب، کشاورزی و محیط‌زیست کمک کند و آگاهی‌ها، توصیه‌ها و راه‌کارهای لازم را به کشاورزان، باغداران و مسئولان ستاد حوادث غیرمترقبه شهر اهواز ارائه کند تا در صورت افزایش ناگهانی دمای هوا در اثر وقوع هم‌زمان این دو پدیده، اقدامات لازم در جهت مدیریت بحران انجام گیرد. بررسی رابطه امواج گرمایی و جزایر حرارتی شهری طی سال‌های اخیر اغلب مورد توجه پژوهش‌گران خارجی قرار گرفته، با این حال در پژوهش‌های داخلی نیز مطالعه این دو پدیده به صورت جداگانه انجام شده است. در این بخش به چند مورد از پژوهش‌های داخلی و خارجی اشاره می‌شود: فتح و همکاران^۱ (۲۰۱۴) به شبیه‌سازی جزیره حرارتی در شرایط سینوپتیکی هوای گرم در شهر هنگزو در چین

پرداختند. آنان در پژوهش خود از مدل ترکیبی WRF/UCM استفاده کردند. نتایج به دست آمده نشان داده است که جزیره حرارتی عمدتاً حاصل از ذخیره زیاد گرما در صنایع شهری در طول روز و انتشار این گرما در شب است. وی و همکاران^۲ (۲۰۱۴) در جهت مطالعه امواج گرمایی سال ۲۰۱۱ گریتر هیستون، به بررسی تأثیر کاربری زمین بر دمای هوا پرداخته‌اند. طبق نتایج به دست آمده از پژوهش آنان، فاصله تا خط ساحلی و مناطق خیلی توسعه یافته، تأثیر بسیاری بر میانگین دمای روزانه داشته و آب‌های آزاد نیز اثر بیشتری بر حداقل دمای روزانه دارند. دابراوالنی و کراهولا^۳ (۲۰۱۵) تغییرات فضایی دمای هوا و شدت شبانه جزیره حرارتی شهر برنو، در جمهوری چک را بررسی کردند. طبق نتایج حاصل، شاخص‌های پوشش گیاهی طبیعی (NDVI) و تراکم ساختمان‌ها، مهم‌ترین عوامل توجیه‌کننده افزایش ۵ درجه‌ای شدت جزایر حرارتی اوایل شب در تابستان بوده‌اند که از مرکز شهر به سمت حومه، از شدت آن کاسته شده است. لیمونسو و همکاران^۴ (۲۰۱۵) به بررسی تأثیر سناریوی توسعه شهری بر جزیره گرمایی و استرس گرمایی در شهر پاریس (فرانسه) پرداختند. براساس نتایج به دست آمده، در شهرهای متراکم، با تمرکز ساکنان در مناطقی که بیشتر تحت تأثیر جزیره حرارتی هستند، آسیب‌پذیری کل جمعیت تشدید می‌شود.

حسینی^۵ (۲۰۱۶) جزیره گرمایی شهر تهران را بررسی کردند و نتایج حاصل نشان داده است که این شهر طی روز جزیره سرمایی و در شب جزیره گرمایی داشته است. کم‌ترین میزان جزیره سرمایی ۴- درجه کلون در ماه مارس و بیشترین مقدار جزیره گرمایی ۳/۹ درجه کلون در ماه مه بوده است. زهو و همکاران^۶ (۲۰۱۶) به ارزیابی فصلی بودن جزیره حرارتی سطحی

2. Weihe et al
3. Dobrovolny and Krahula
4. Lemonsu et al
5. Hosseini
6. Zhou et al

1. Feng et al

وجود داشته‌است. در شهرهای بزرگ در مقایسه با شهرهای کوچک، جزیره حرارتی هم‌زمان با رخداد امواج گرمایی تقویت شده‌است. پاراوانتیس و همکاران^۶ همکاران^۶ (۲۰۱۷) آثار دمای بالا، امواج گرمایی و جزیره حرارتی شهری را در مرگومیر روزانه قلب و عروقی و تنفسی افراد بالای ۶۵ سال طی سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۲ در یونان و آتن بررسی کرده و یافته‌های پژوهش آنان نشان داده‌است که همبستگی زیادی بین مرگومیر روزانه قلبی و عروقی و تنفسی افراد بالای ۶۵ سال و دماهای بالا وجود دارد. به‌طوری‌که در دمای متوسط مرگومیر کم‌تر بوده، اما در دماهای بالا و بسیار بالا، این مرگومیرها به میزان ۲۰ تا ۳۵ درصد افزایش یافته‌است. درنهایت طبق تجزیه و تحلیل خوشه‌ای، بیشترین میزان مرگومیر در اثر امواج گرمایی گزارش شده‌است. فوندا و سانتاموریس^۷ (۲۰۱۷) رابطه امواج گرمایی و جزایر حرارتی شهری در تابستان بسیار گرم ۲۰۱۲ در آتن را مطالعه کردند. طبق یافته‌های آنان، در روز حادثه، همبستگی قوی بین جزیره حرارتی شهری و امواج گرمایی وجود داشته‌است که این امر می‌تواند موجب افزایش چشم‌گیر خطر گرما در شهرها و آسیب‌پذیری جمعیت شهری شود. ای-آئل و همکاران^۸ (۲۰۱۷) به تحلیل آثار امواج گرمایی و سرمایایی بر بخش تولید انرژی پرداختند. بررسی‌های آنان نشان داد که رخداد امواج سرمایایی و گرمایی می‌تواند منجر به افزایش نیاز به تولید انرژی مصرفی شود.

باسارا و همکاران^۹ (۲۰۱۸) تأثیرپذیری جزیره حرارتی شهری، طی رخداد موج گرمایی شدید در شهر اوکلاهما را بررسی کرده و نتایج تجزیه و تحلیل آن‌ها نشان داده‌است که طی حاکمیت امواج گرمایی، یک جزیره حرارتی در مرکز شهر ایجاد شده‌است.

شهر لندن پرداختند. آنان با روش ترکیبی مشاهدات ماهواره‌ای به مدل‌سازی آب‌وهوای لایه مرزی شهر با استفاده از مدل اقلیم شهر (UrbClim)^۱ پرداختند. نتایج بررسی‌های آنان نشان داده‌است که مدل اقلیم شهری می‌تواند به‌طور رضایت‌بخشی، دمای سطح زمین (LST) شهری و روستای و دمای هوای ۲ متری سطح زمین را به‌طور رضایت‌بخشی بازسازی کند. همچنین نتایج به‌دست‌آمده نشان داده‌است که تغییرات دمای سطح زمین، می‌تواند عمدتاً با تغییرات فصلی تابش دریافتی خورشید در ارتباط باشد. دی راید و همکاران^۳ (۲۰۱۶) تشدید جزیره حرارتی شهری در طول رخداد امواج گرمایی در تابستان ۲۰۰۲ در پاریس را بررسی کردند. پژوهش آنان در مرحله اول، براساس دمای مشاهده‌شده از یک منطقه شهری و روستایی انجام شد و نتایج حاصل نشان داده‌است که شدت جزیره حرارتی شهری، در طول رخداد امواج گرمایی افزایش می‌یابد که میزان آن ۰/۱ درجه سلسیوس بوده‌است. قبادی و همکاران^۴ (۲۰۱۷) به پژوهش درباره تأثیر امواج گرمایی بر جزایر حرارتی در شهر کرج پرداختند. نتایج حاصل از بررسی‌های آماری-سینوپتیکی آنان نشان داده‌است که در روزهای حاکمیت امواج گرمایی، جزیره گرمایی شهری (UHI) در منطقه مورد مطالعه تشدید شده و درجه حرارت شهری در مقایسه با دمای مناطق روستایی، حدود ۱ درجه سلسیوس در روز و ۲/۵ درجه سلسیوس در شب گرم‌تر است. لی بای و همکاران^۵ (۲۰۱۷) در پژوهشی پژوهشی با تحلیل مقایسه‌ای، به بررسی امواج گرمایی و جزایر حرارتی در چند شهر پرداخته‌اند. طبق نتایج حاصل از پژوهش آنان، در شهرهایی با وسعت یکسان، رابطه متفاوتی بین امواج گرمایی و جزایر حرارتی

6. Paravantis & et al
7. Founda & Santamouris
8. A-Añel & et al
9. Basara & et al

1. Urban climate model
2. Land surface temperature
3. De Ridder et al
4. Ghobadi et al
5. Li Bai et al

با موج گرمایی شناسایی می‌شود. پدیده دیگر کلان‌شهرها، جزیره حرارتی شهری (UHI) است، این پدیده، دمای بالاتر شهرها نسبت به دمای نواحی روستایی حومه است که جزیره‌ای از هوای گرم ایجاد می‌کند که به آن جزیره گرمایی گفته می‌شود. این پدیده در شب‌های آرام و صاف بر روی شهر گسترش می‌یابد (عزیزی، ۱۳۸۳: ۴۳۴) و سنجنده مودیس-آکوا، یکی از سنجنده‌هایی است که با ارائه داده‌های دمای رویه زمین در محاسبه جزیره حرارتی کمک می‌کند. MODIS یا اسپکترو رادیومتر تصویربرداری با قدرت تفکیک مکانی متوسط، ابزاری است که بر روی ماهواره آکوا (EOS PM) راه‌اندازی شده در ماه مه ۲۰۰۲، نصب شده است. MODIS داده‌ها را در ۳۶ باند طیفی با عبور از بالای خط استوا در حوالی ۱۳:۳۰ و ۰۱:۳۰ برای ماهواره آکوا جمع‌آوری می‌کند. اعتبارسنجی در سطح ۳ برای تمام محصولات بازتابندگی سطح مودیس انجام شده است. MOD11_A2 و MYD11_A2، دمای سطح زمین (LST) و توان تشعشعی ۸ روزه در سطح ۳، تشکیل شده از محصول LST روزانه ۱ کیلومتر مادیس (MOD11A1 و MYD11A1) است و بر روی یک شبکه سینوسی ۱ کیلومتر به‌عنوان مقدار متوسط (LSTs) در آسمان صاف در طول ۸ روز در طول روز و شب (۱۳:۳۰ و ۰۱:۳۰ برای مودیس-آکوا) ذخیره شده است (Lazzarini & et al, 2013: 136)

محدوده مورد مطالعه

شهر اهواز یکی از کلان‌شهرهای ایران است که در بخش مرکزی شهرستان اهواز قرار دارد و از سال ۱۳۰۳ تاکنون به‌عنوان مرکز استان خوزستان شناخته می‌شود. جمعیت این شهرستان طبق سرشماری مرکز آمار ایران در سال ۱۳۹۵ حدود ۱۳۰۳۰۰۰ نفر است (که با احتساب ۴۰۰ هزار نفری حاشیه شهر، جمعیت این شهر به بالای ۱۷۰۰۰۰۰ نفر می‌رسد) که به‌عنوان هفتمین شهر پرجمعیت ایران به شمار می‌آید. اهواز در

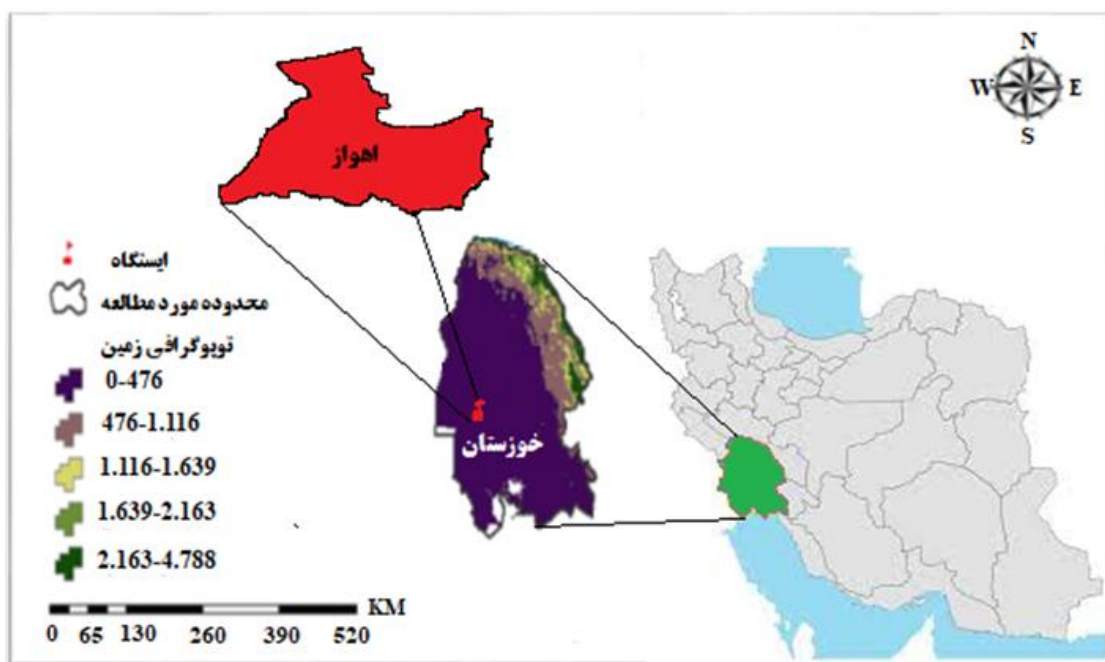
روهینی^۱ (۲۰۱۹) به بررسی امواج گرمایی هند با استفاده از مدل CMIP5 پرداخته و افزایش امواج گرمایی بلند را طی دهه‌های آتی تأیید کرده است. فرون و همکاران^۲، (۲۰۱۹) به بررسی امواج گرمایی جنوب آمریکا پرداختند. آنان از ۵ مدل CMIP5 تحت دو سناریوی 4.5 RCP و 8.5 RCP استفاده کرده و دریافتند که در دهه‌های اخیر سهم روزهای بسیار گرم حداقل در دسامبر - ژانویه - فوریه دو برابر شده است. مولودی و همکاران (۱۳۹۵) با کمک شاخص فومیایی و با استفاده از مدل CMIP5 اثر تغییر اقلیم بر امواج گرمایی سواحل شمالی خلیج فارس را بررسی کردند. نتایج حاصل، نشان داده‌اند که امواج گرمایی کوتاه مدت، رخداد بیشتری دارند و نیز فراوانی امواج گرمایی طی سال‌های اخیر افزایش یافته است. کاشکی و همکاران (۱۳۹۸) به واکاوی آماری امواج گرمایی زابل پرداختند. نتایج تجزیه و تحلیل آنان نشان داد که در منطقه مورد مطالعه آنان موج‌های گرمایی کم‌دوام، رخداد بیشتری داشته و امواج گرمایی پرتداوم کمتر رخ داده است. همچنین طبق یافته‌های آنان، امواج گرمایی روند افزایشی داشته است.

از نظر آماری، امواج گرمایی به نوسان‌های مثبت یا فرین‌های بالای میانگین دماهای حداکثر روزانه گفته می‌شود که طی روزها (گاه هفته‌ها و ماه‌های متوالی) در فضاهای جغرافیایی خاصی استمرار زمانی دارند (قویدل رحیمی، ۱۳۹۰: ۲). برای شناسایی روزهای فرین گرم شاخص‌های مختلفی وجود دارد، یکی از این شاخص‌ها، شاخص به‌هنگار شده دما، فومیایی^۳ است که با کمک آن و از طریق برنامه‌نویسی در محیط نرم‌افزار متلب^۴، روزهای گرم با دمای بالاتر از ۲+ انحراف معیار یا بیشتر از میانگین NTD^۵ که حداقل به مدت ۲ روز تداوم داشته باشد، به‌عنوان روزهایی توأم

1. Rohini et al
2. Feron et al
3. Fumiaki
4. MATLAB
5. Normalized Thermal Deviation

(نظرسیدی و گندمکار، ۱۳۹۹: ۱۵۵). شکل ۱ نقشه منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

موقعیت جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۶۵ دقیقه طول شرقی، در بخش جلگه‌ای وزستان و با ارتفاع ۲۲ متر از سطح دریا واقع شده است



شکل ۱:

موقعیت جغرافیایی ایستگاه مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۰

میانگین بلندمدت دما برای هریک از روزهای سال محاسبه شد تا انحراف دمای هر روز خاص نسبت به میانگین بلندمدت، مبنای داوری درباره وقوع موج گرمایی با تداوم دو روزه و بالاتر در آن روز قرار گیرد. میانگین بلندمدت دماهای هر روز با رابطه ۱ به دست می‌آید (اسمعیل‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۲: ۴۳):

$$\overline{T(i, j)} = \sum_{n=2003}^{2018} T(i, j, n) \div N \quad (1)$$

در این رابطه $T(i, j, n)$ دمای روز i ام از ماه j ام در سال n ام $\overline{T(i, j)}$ میانگین بلندمدت دمای روز i ام، از ماه j ام است. برای از بین بردن نوفه‌های (نویز) موجود در میانگین بلندمدت، فیلتر میانگین متحرک

داده‌ها و روش‌ها

روش شناسایی روزهای توأم با موج گرمایی با استفاده از شاخص فومیاکی

در جهت شناسایی و استخراج امواج گرم، داده‌های حداکثر دمای روزانه ایستگاه سینوپتیک اهواز، طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۸، از سازمان هواشناسی کشور اخذ شد و با کمک شاخص بهنجار شده دما فومیاکی^۱ و از طریق برنامه‌نویسی در محیط نرم‌افزار متلب، روزهای گرمی که دست کم ۲ روز تداوم داشته و دمای آن بالاتر از ۲+ انحراف معیار یا بالاتر از میانگین (NTD) بود، به عنوان روز توأم با موج گرمایی در نظر گرفته شد. به منظور محاسبه این نمایه، نخست

سرانجام نمایه فومیایکی یا انحراف دمای نرمال شده (NTD) از رابطه ۵ محاسبه شد:

(۵)

$$x(i, j, n) = \Delta T(i, j, n) \div \overline{\sigma(i, j)}$$

که $\overline{\sigma(i, j)} = \sqrt{\sigma^2(i, j)}$ است؛ بنابراین تعریف موج گرم در این پژوهش این گونه بیان می شود که: هرگاه ضریب (NTD) برای P روز متوالی ۲ انحراف معیار بالاتر از میانگین باشد، یک موج گرمایی P روزه داریم: به عبارتی اگر (i) NTD معرف دمای بهنجارشده روز نام باشد، آنگاه یک موج گرمایی P روزه داریم (اسمعیل نژاد و همکاران، ۱۳۹۲: ۴۳)، (رابطه ۶):

(۶)

$$NTD \text{ } NTD(i+p-1) \geq 2, NTD(i-1), NTD(i+p) \leq 2 \\ NTD(i), (i+1), \dots$$

روش محاسبه جزایر حرارتی شهری در ماه های گرم و سرد سال

در پژوهش حاضر، به منظور بررسی میزان تأثیرگذاری امواج گرمایی بر تشدید جزیره حرارتی شهری کلان شهر اهواز طی دوره مورد مطالعه، روزهای توأم با موج گرمایی و همچنین یک روز نمونه با کمترین دمای حداکثر تا دو هفته قبل از وقوع هر موج گرمایی در ماه های گرم و سرد انتخاب شد.

سپس داده های دمای رویه زمین سنجنده مودیس- آکوا (MYD11A1) برای شب هنگام ساعت ۰۳:۴۰-۰۲:۵۴ و روز هنگام ساعت ۱۵:۱۸-۱۳:۴۸، از وبسایت ناسا^۱ (<http://modis.gsfc.nasa.gov>)، با تفکیک مکانی اسمی ۱×۱ کیلومتر و تفکیک واقعی آن ۹۲۶/۸۸۲۹ متر (مسعودیان و ترکی، ۱۳۹۸: ۷۸) در سیستم تصویری سینوسی به صورت روزانه طی دوره آماری مورد مطالعه (۲۰۱۸-۲۰۰۳) دریافت شد. در جهت تعیین محدوده شهری، از میانگین دمای تمام

۹ روزه سه بار بر روی این داده ها انجام شد. به این ترتیب میانگین بلندمدت دمای هر روز بر مبنای دمای همان روز و ۲۹ روز همسایه آن محاسبه شد. به بیان دیگر دمای هر روز نماینده وضع کلی دما در همان روز و دمای دو هفته پیش و دو هفته پس از آن است. در نتیجه آثار عوامل زودگذر محلی که موجب نوسان دما شده اند، حذف و اثرات سامانه های همدید که تغییرات کلان دما را تعیین می کنند، تقویت می شود. سپس با استفاده از رابطه ۲، انحراف دمای هریک از روزهای مورد بررسی، نسبت به میانگین بلندمدت محاسبه شد (Fujibe et al, 2007: 65) اسمعیل نژاد و همکاران، ۱۳۹۲: ۴۳).

(۲)

$$\Delta T = (i, j, n) = T(i, j, n) - T(I, J)$$

در رابطه فوق $\Delta T = (i, j, n)$ انحراف مطلق دما از میانگین بلندمدت در روز نام از ماه نام، در سال نام نسبت به میانگین بلندمدت دمای همان روز تقویمی است. برای آنکه مقادیر انحراف دمای زمان های مختلف در یک نقطه جغرافیایی و مکان های مختلف در یک زمان معین با یکدیگر قابل مقایسه باشند، لازم است این مقادیر مطلق انحراف دما به کمک پراش دما، استانداردسازی شوند. همانند تغییرات روزبه روز، پراش ΔT در ۳۱ روز برای هر روز تقویمی طبق رابطه ۳ به دست آمد. سپس میانگین متحرک ۹ روزه سه بار انجام شد:

(۳)

$$\overline{\sigma^2(i, j)} = \sum_{n=2003}^{2018} \sum_{j=-16}^{j+16} [\Delta T(i, j', n) - \overline{\Delta T(i, j', n)}]^2 \div 31N$$

مقدار $\overline{\Delta T(i, j)}$ میانگین انحراف دما روی کرنل ۳۱ روزه است که از رابطه ۴ به دست آمد:

(۴)

$$\overline{\Delta T * (i, j)} = \sum_{n=2003}^{2018} \sum_{j=j-16}^{j+16} T(i, j', n) \div 31N$$

از رابطه ۷ محاسبه شد:

(۷)

$$SUHI = LST_{urban} - LST_{rural}$$

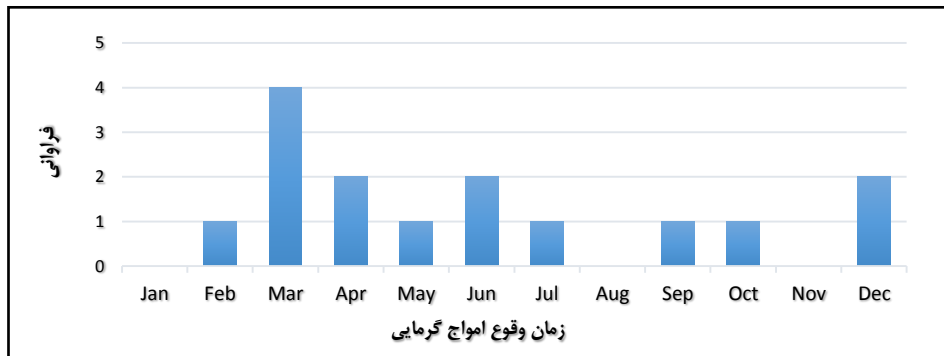
که در این رابطه، SUHI شاخص جزیره گرمایی سطحی شهری، LST_{rural} و LST_{urban} به ترتیب، میانگین دمای سطح زمین مناطق شهری و غیرشهری هستند. میانگین دمای مناطق شهری از میانگین دمای تمام یاخته‌های داخل شهر و میانگین دمای مناطق غیرشهری، از میانگین دمای تمام یاخته‌های محدوده بیرونی شهر به دست آمد. برای مطالعه نقطه‌ای SUHI، از اختلاف دمای دو یاخته معرف داخل و بیرون شهر استفاده شد (مجرد و همکاران، ۱۳۹۷: ۴۹۴).

نتایج و بحث

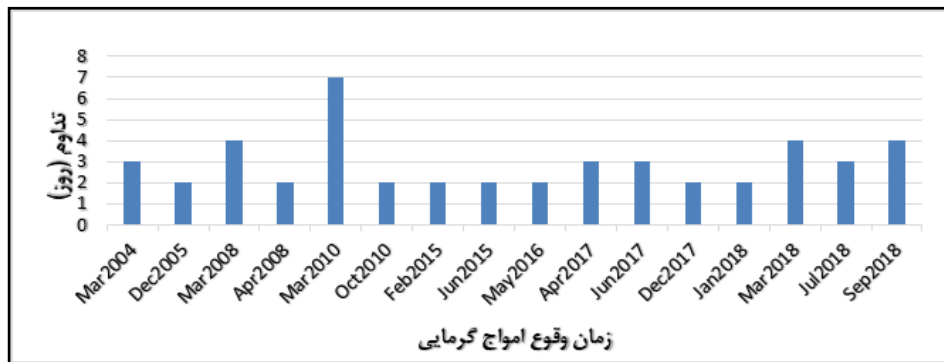
نتایج بررسی روزهای توأم با موج گرمایی

با اعمال شاخص فومیایکی، امواج گرمایی شهر اهواز شناسایی و به دو دسته امواج کوتاه و بلند تقسیم شد (امواج گرمایی با تداوم بین ۲ تا ۵ روزه با عنوان امواج گرمایی کوتاه‌مدت و امواج با تداوم ۶ روزه یا بیشتر، امواج گرمایی بلندمدت معرفی شد). براساس نتایج حاصل، طی دوره مورد مطالعه (۲۰۱۸-۲۰۰۳) بیشترین فراوانی رخداد مخاطره موج گرما در شهر اهواز در ماه مارس بوده است (شکل ۲). از نظر تداوم، طی ۱۶ سال مورد مطالعه، حداکثر تداوم امواج گرمایی در سال ۲۰۱۰ بوده و ۷ روز تداوم داشته است؛ بنابراین امواج گرمایی در این شهر بلندمدت بوده است (شکل ۳).

یاخته‌های داخل شهر استفاده شد و منطقه روستایی به فاصله ۵ کیلومتر در اطراف آن در نظر گرفته شد. سپس توزیع فراوانی دمای رویه زمین در این گستره روستایی از کمترین تا بیشترین مقدار ثبت شده محاسبه شد. در ادامه، دمایی که بیشترین فراوانی را در منطقه روستایی داشت به عنوان نماینده منطقه روستایی انتخاب شد و سپس جزایر گرمایی در روزهای مورد نظر در نرم افزار MATLAB محاسبه شد. در نهایت شدت جزایر گرمایی در روزهای همراه با موج گرمایی و روزهای بدون موج گرمایی مقایسه شد. یکی از دلایل انتخاب سنجنده مودیس در جهت بررسی جزیره گرمایی شهر اهواز این است که این سنجنده قادر است دمای رویه زمین را با دقتی بهتر ۱ درجه سلسیوس برآورد کند (مسعودیان و ترکی، ۱۳۹۸: ۷۸). برداشت‌های مودیس-آکوا به این دلیل انتخاب شدند که نسبت به مودیس ترا به ساعات میانه روز و میانه شب (مقادیر فرین روزانه) نزدیک‌تر بودند. در جهت تأیید درستی نتایج تصاویر ماهواره‌ای، وضعیت باد و رطوبت نسبی، در روزهای مورد مطالعه، از سایت سازمان هواشناسی کشور اخذ و واکاوری شد. معمولاً برای بررسی جزیره حرارتی سطحی، از تفاوت دمای سطح مناطق شهری با مناطق غیرشهری یا روستایی استفاده می‌شود. با این حال، تمایز میان مناطق شهری و غیرشهری، هنوز متنوع است. علاوه بر شاخص SUHI که تفاوت دمای سطح مناطق شهری با غیرشهری را اندازه‌گیری می‌کند، بسته به کاربری غالب اطراف شهر، شاخص‌های دیگری از جمله تفاوت دمای سطح مناطق شهری-کشاورزی، شهری-آب نیز استفاده شده است. در پژوهش حاضر، جزیره حرارتی با استفاده



شکل ۲: فراوانی ماهانه امواج گرمایی شهر اهواز طی دوره آماری مورد مطالعه (۲۰۱۸-۲۰۰۳) تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۰

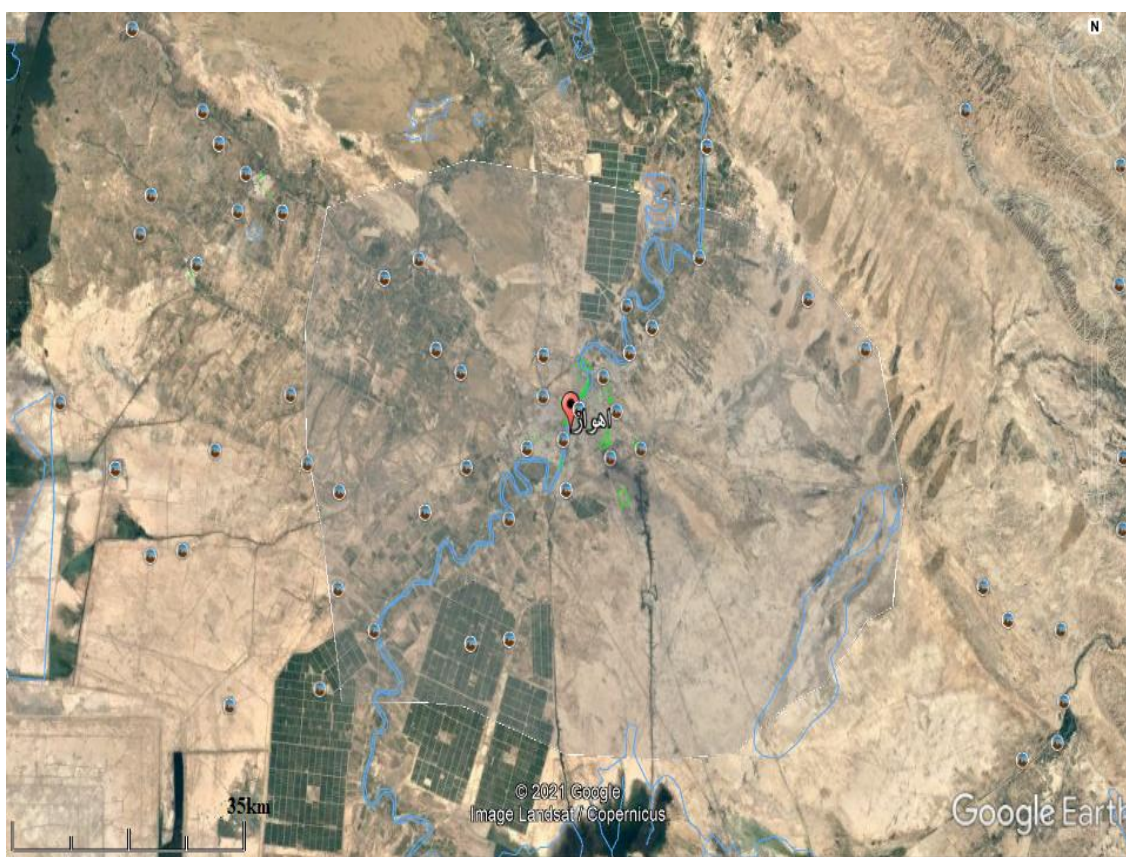


شکل ۳: زمان وقوع و تداوم امواج گرمایی در شهر اهواز طی دوره آماری مورد مطالعه (۲۰۱۸-۲۰۰۳) تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۰

محاسبه شده در جدول ۱ ارائه شده است. طبق جدول مذکور، در مواردی که میزان اختلاف دمای رویه زمین در مناطق شهری و غیرشهری مثبت است، جزیره گرمایی شهری و در موارد منفی، جزیره سرمایگی در مرکز شهر اهواز ایجاد شده است. همچنین در جدول ۱ مقادیر دمای حداکثر، سرعت و جهت باد و درصد رطوبت نسبی در هر دو شرایط وجود و عدم موج گرمایی ارائه شده است. با توجه به ابری بودن هوا و ثبت نشدن دمای رویه زمین توسط مودیس-آکوا در دوره سرد سال، امکان محاسبه و بررسی چگونگی جزایر حرارتی در شرایط حاکمیت امواج گرمایی تنها در زمان حاکمیت دو موج گرمایی کوتاه مدت پرداخته شد.

نتایج واکاوی تأثیر امواج گرمایی بر تشدید جزایر حرارتی

در این بخش، به منظور بررسی میزان تأثیرپذیری شدت جزایر حرارتی از رخداد امواج گرمایی شهر اهواز (در روزهای بدون ابر)، در ماه های گرم و سرد سال و مقایسه آن با روزهای عادی قبل از وقوع امواج گرمایی با کمترین دمای حداکثر، از داده های دمای رویه زمین (LST) در برداشت های روز هنگام و شب هنگام مودیس-آکوا طی دوره آماری ۱۶ ساله (۲۰۱۸-۲۰۰۳) استفاده شد. در تصویر ۴، محدوده شهر اهواز و حومه آن، تا فاصله ۵ کیلومتری از مرکز این شهر (شامل مرکز شهر و مناطق غیرشهری اطراف آن) به منظور بررسی جزیره حرارتی نشان داده شده و مقادیر جزیره حرارتی



شکل ۴: محدوده شهر اهواز

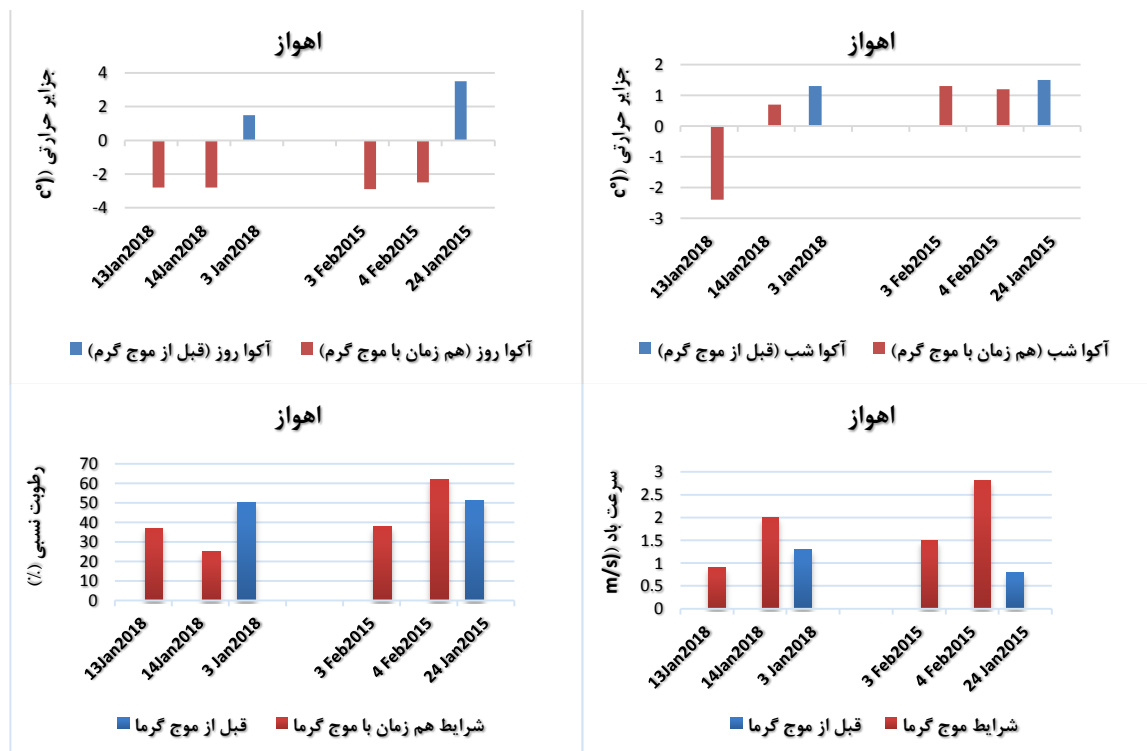
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۰

۲۰۱۸، در بقیه موارد در زمان حاکمیت امواج گرمایی درصد رطوبت نسبی بیشتر از روزهای عادی بوده است. همچنین در این شهر جهت باد در زمان وقوع امواج گرمایی اغلب شمال غربی بوده، اما در روزهای بدون موج گرمایی اغلب باد غربی در منطقه جریان داشته است. همان طور که ذکر شد، هم در زمان وقوع امواج گرمایی و هم در شرایط عادی در روز هنگام جزیره سرمایی وجود داشته که شدت این جزیره سرمایی در زمان حاکمیت امواج گرمایی بیشتر از شرایط عادی بوده به طوری که به جز یک مورد، در بقیه موارد قبل از موج گرمایی جزیره سرمایی وجود داشته، اما با وقوع موج گرمایی جزیره سرمایی نسبتاً قوی در مرکز این شهر تشکیل یافته است. بررسی نمودار مربوط به جزیره حرارتی در شب هنگام نیز نشان داد که به

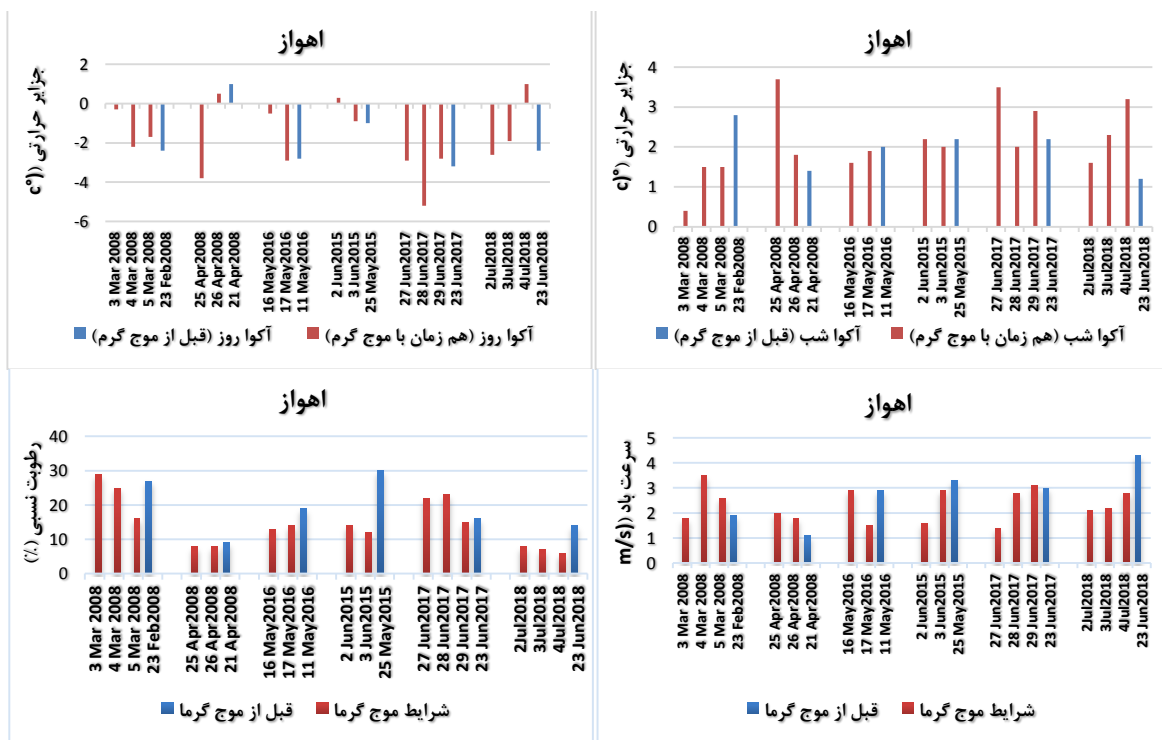
براساس نتایج حاصل، چه قبل از امواج گرمایی و چه همزمان با رخداد امواج گرمایی هم در ماه های گرم و ماه های سرد، اغلب در روز هنگام دمای رویه زمین در مرکز شهر از دمای مناطق غیرشهری اطراف آن کمتر ولی در شب هنگام، بیشتر بوده است؛ بنابراین اغلب در روز جزیره سرمایی و در شب جزیره گرمایی در مرکز شهر تشکیل شده است. همچنین طبق نتایج، تداوم امواج گرمایی نقش چندانی بر تشدید جزایر حرارتی نداشته و تأثیرپذیری جزایر حرارتی از امواج گرمایی کوتاه مدت و بلندمدت، تقریباً یکسان بوده است. طبق جدول ۱ و تصویر ۵ در ماه های سرد در شهر اهواز همزمان با رخداد امواج گرمایی حداکثر سرعت باد بیشتر از شرایط عادی بوده است. بررسی وضعیت رطوبتی نسبی نیز نشان داد که به استثنای ژانویه

بالاترین میزان اختلاف در شدت جزایر گرمایی شبانه در ۴ ژوئیه ۲۰۱۸ بوده که به میزان ۲ درجه سلسیوس بیشتر از روز عادی (۲۳ ژوئن ۲۰۱۸) بوده است. مقایسه جزایر حرارتی در شرایط وجود و عدم موج گرمایی در ماه‌های گرم و سرد سال نشان داد که اگرچه رخداد امواج گرمایی در تشدید جزایر حرارتی شهر اهواز هم در ماه‌های گرم و هم در ماه‌های سرد تأثیر داشته و شدت جزیره گرمایی شبانه هم در ماه‌های گرم و هم در ماه‌های سرد دست‌کم در یک مورد تا ۲ درجه سلسیوس نسبت به شرایط عادی افزایش یافته است و اغلب شدت جزیره گرمایی روز هنگام هم‌زمان با رخداد امواج گرمایی بیشتر از شرایط بدون موج گرمایی بوده و در شب هنگام اغلب جزیره گرمایی در زمان حاکمیت امواج گرمایی شدیدتر از روزهای عادی بوده، اما در مجموع تأثیر امواج گرمایی بر تشدید جزایر حرارتی در ماه‌های گرم محسوس‌تر بوده است. در شکل ۷ نقشه‌های شدت جزیره حرارتی کلان‌شهر اهواز براساس داده‌های روز هنگام و شب هنگام مودیس-آکوا، به ترتیب برای سوم فوریه ۲۰۱۵ (الف، ب) به عنوان نماینده دوره سرد سال و چهارم ژوئیه ۲۰۱۸ (ج، د) به عنوان نماینده دوره گرم سال، ارائه شده است. در روزهای منتخب، دو پدیده موج گرمایی و جزیره حرارتی به‌طور هم‌زمان رخ داده که طبق نقشه‌های ارائه شده، تحت حاکمیت موج گرمایی در هر دو تاریخ در شب هنگام جزیره گرمایی و در روز هنگام جزیره گرمایی در مرکز این کلان‌شهر تشکیل شده که البته شدت جزایر گرمایی و سرمای در دوره گرم سال (چهارم ژوئیه ۲۰۱۸) بیشتر از دوره سرد سال (سوم فوریه ۲۰۱۵) بوده است.

استثنای ۱۳ ژانویه ۲۰۱۸، در بقیه موارد در زمان حاکمیت امواج گرمایی در منطقه، جزیره گرمایی در مرکز شهر اهواز تشکیل شده است که البته در شب‌های بدون موج گرمایی نیز جزیره گرمایی تجربه شده است؛ اما تفاوتی که مشاهده شد این است که به استثنای موج گرمایی دو روزه آوریل ۲۰۰۸ که جزیره گرمایی ۲ درجه سلسیوس در روز نخست آن (۲۵ آوریل) بالاتر از شرایط عادی بوده، در بقیه موارد شدت جزایر گرمایی شبانه در شرایط نبود موج گرمایی بیشتر از شرایط حاکمیت موج گرمایی بوده است. در ماه‌های گرم سال (جدول ۱ و تصویر ۶) در زمان وقوع امواج گرمایی در شهر اهواز، درصد رطوبت نسبی به استثنای موج گرمایی ۳ روزه در ژوئن ۲۰۱۷، در بقیه موارد کمتر از روزهای عادی بوده است. همچنین بررسی حداکثر سرعت باد نشان داد که در زمان حاکمیت امواج گرمایی، اغلب سرعت باد کمتر از روزهای عادی بوده است. در این شهر در هر دو شرایط وجود و عدم موج گرمایی باد اغلب جریان شمال غربی داشته است. تحلیل شدت جزایر حرارتی نشان داد که به استثنای ۴ ژوئیه ۲۰۱۸ و ۲ ژوئن ۲۰۱۵، اغلب در روز هنگام در زمان وقوع امواج گرمایی، جزیره سرمای در مرکز شهر اهواز تشکیل شده که در هر موج گرمایی دست‌کم در یک روز شدت آن بیشتر از روز عادی بوده است. همچنین طبق نمودار مربوط به مقایسه جزایر حرارتی در شب هنگام (شکل ۶)، چه قبل از موج گرمایی و چه هم‌زمان با رخداد این پدیده، اغلب جزیره گرمایی در مرکز شهر اهواز وجود داشته است که به استثنای موج گرمایی ۲ روزه ماه مه ۲۰۱۶، در بقیه امواج گرمایی شدت جزایر گرمایی شبانه به‌طور محسوس بیشتر از شدت آن در شرایط عادی بوده است.



شکل ۵: مقایسه جزایر حرارتی، باد و رطوبت نسبی شهر اهواز در شرایط وجود و عدم موج گرمایی در ماه‌های سرد (۲۰۰۳-۲۰۱۸) تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۰



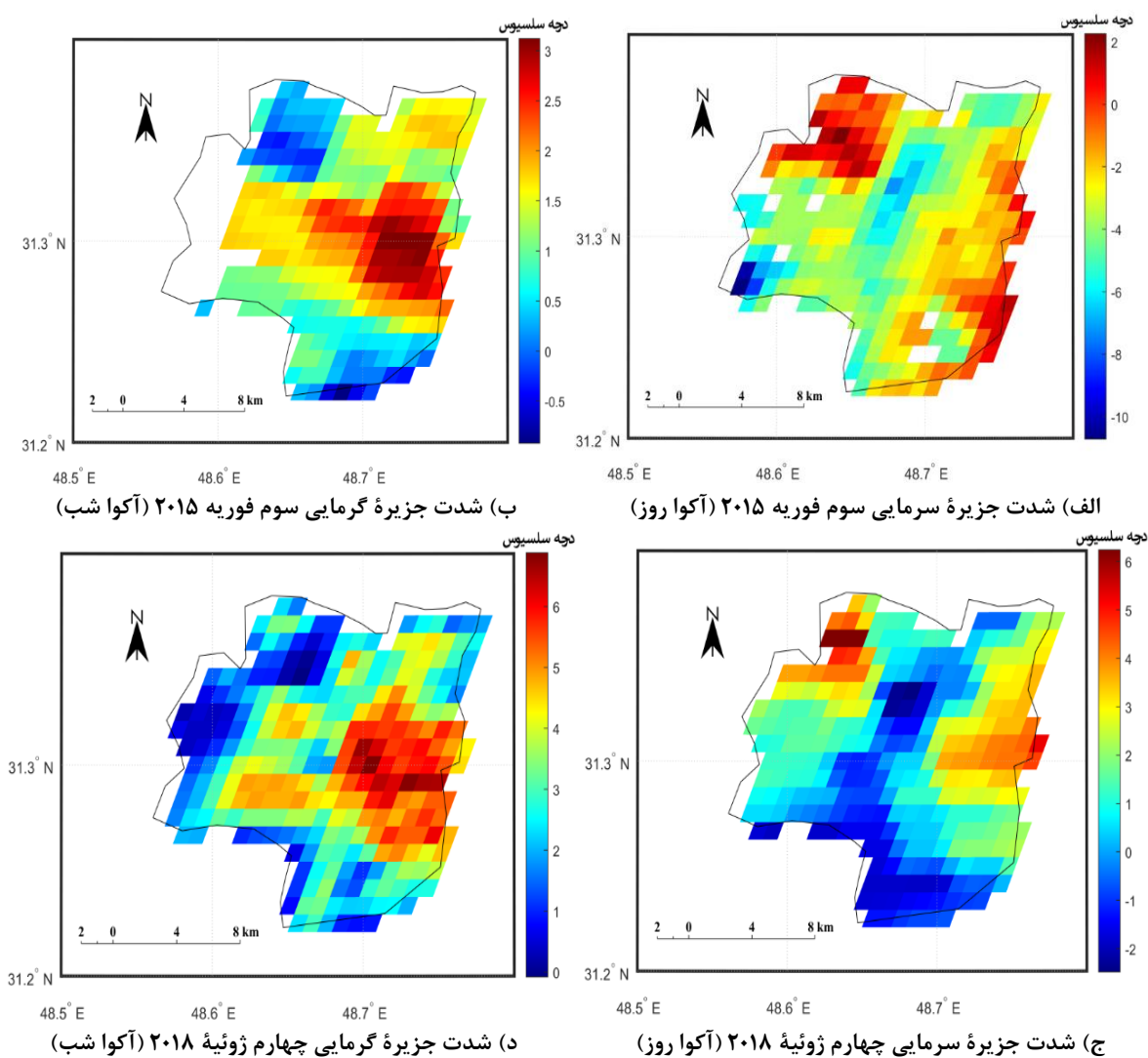
شکل ۶: مقایسه جزایر حرارتی، باد و رطوبت نسبی شهر اهواز در شرایط وجود و عدم موج گرمایی

در ماه‌های گرم (۲۰۰۳-۲۰۱۸) (تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۰)

جدول ۱: جزیره حرارتی محاسبه شده در ماه‌های سرد و گرم در شرایط وجود و عدم موج گرمایی (۲۰۰۳-۲۰۱۸)

جزیره حرارتی سطحی شهر اهواز (SUHI)(°C)		رطوبت نسبی (%)	سرعت باد M/S	جهت باد	حداکثر دما (°C)	پارامترهای مورد بررسی	شرایط وجود و عدم موج گرمایی
مودیس آکوا							
شب	روز						
۰۲:۳۱-۰۳:۵۳							
ماه‌های سرد سال							
-۲/۴	-۲/۸	۳۷	۰/۹	NE	۲۳/۹	۱۳ ژانویه ۲۰۱۸	HW
۰/۷	-۲/۸	۲۵	۲	S	۲۵/۴	۱۴ ژانویه ۲۰۱۸	
۱/۳	۱/۵	۵۰	۱/۳	N	۲۰	۳ ژانویه ۲۰۱۸	NHW
۱/۳	-۲/۹	۳۸	۱/۵	S	۲۶/۶	۳ فوریه ۲۰۱۵	HW
۱/۲	-۲/۵	۶۲	۲/۸	SE	۲۶/۴	۴ فوریه ۲۰۱۵	
۱/۵	۳/۵	۵۱	۰/۸	W	۲۲	۲۴ ژانویه ۲۰۱۵	NHW
جزیره حرارتی سطحی شهر اهواز (SUHI)(°C)		رطوبت نسبی (%)	سرعت باد M/S	جهت باد	حداکثر دما (°C)	پارامترهای مورد بررسی	شرایط وجود و عدم موج گرمایی
مودیس آکوا							
شب	روز						
۰۲:۳۱-۰۳:۵۳							
ماه‌های گرم سال							
۰/۴	-۰/۳	۲۹	۱/۸	NW	۳۰	۳ مارس ۲۰۰۸	HW
۱/۵	-۲/۲	۲۵	۳/۵	W	۲۳/۲	۴ مارس ۲۰۰۸	
۱/۵	-۱/۷	۱۶	۲/۶	NW	۲۵/۲	۵ مارس ۲۰۰۸	
۲/۸	-۲/۴	۲۷	۱/۹	W	۲۱/۶	۲۳ فوریه ۲۰۰۸	NHW
۳/۷	-۳/۸	۸	۲	NW	۴۲/۲	۲۵ آوریل ۲۰۰۸	HW
۱/۸	۰/۵	۸	۱/۸	SE	۴۲/۶	۲۶ آوریل ۲۰۰۸	
۱/۴	۱	۹	۱/۱	S	۳۷/۲	۲۱ آوریل ۲۰۰۸	NHW
۱/۶	-۰/۵	۱۳	۲/۹	NW	۴۵/۱	۱۶ مه ۲۰۱۶	HW
۱/۹	-۲/۹	۱۴	۱/۵	NW	۴۵/۶	۱۷ مه ۲۰۱۶	
۲	-۲/۸	۱۹	۲/۹	NW	۳۶/۶	۱۱ مه ۲۰۱۶	NHW
۲/۲	۰/۳	۱۴	۱/۶	NW	۴۸/۸	۲ ژوئن ۲۰۱۵	HW
۲	-۰/۹	۱۲	۲/۹	W	۴۹/۶	۳ ژوئن ۲۰۱۵	
۲/۲	-۱	۳۰	۳/۳	NW	۴۱/۲	۲۵ مه ۲۰۱۵	NHW
۳/۵	-۲/۹	۲۲	۱/۴	E	۵۰	۲۷ ژوئن ۲۰۱۷	HW
۲	-۵/۲	۲۳	۲/۸	W	۵۲/۹	۲۸ ژوئن ۲۰۱۷	
۲/۹	-۲/۸	۱۵	۳/۱	W	۵۳/۷	۲۹ ژوئن ۲۰۱۷	
۲	-۳/۲	۱۶	۳	NW	۴۳/۳	۲۳ ژوئن ۲۰۱۷	NHW
۱/۶	-۲/۶	۸	۲/۱	NW	۵۲/۴	۲ ژوئیه ۲۰۱۸	HW
۲/۳	-۱/۹	۷	۲/۲	NW	۵۰/۶	۳ ژوئیه ۲۰۱۸	
۳/۲	۱	۶	۲/۸	E	۵۰/۵	۴ ژوئیه ۲۰۱۸	
۱/۲	-۲/۴	۱۴	۴/۳	W	۴۳/۵	۲۳ ژوئن ۲۰۱۸	NHW

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۰



شکل ۷: نقشه شدت جزیره حرارتی کلان‌شهر اهواز سوم فوریه ۲۰۱۵ و چهارم ژوئیه ۲۰۱۸

بر اساس داده‌های مودیس-آکوا روز و شب (تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۰)

نتیجه

و باغ‌داران منطقه متضرر شوند. همچنین طبق یافته در هر دو شرایط وجود و عدم موج گرمایی، در روز هنگام جزیره سرماییه و در شب هنگام جزیره گرمایی در مرکز اهواز تشکیل شده است که ظرفیت گرمایی پایین، آسمانی صاف، نبود پوشش گیاهی و منابع آب سطحی، در گرمایش سریع‌تر حومه تحت تأثیر موج گرمایی و تشکیل جزیره سرماییه روزانه نقش مؤثری داشته است و در شب هنگام حومه شهر به دلیل شرایط مذکور، سریع‌تر سرد شده و از

در پژوهش حاضر، به واکاوی رابطه امواج گرمایی و جزایر حرارتی شهری در کلان‌شهر اهواز از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۸ پرداخته شد. نتایج نشان داد طی دوره مورد مطالعه، بیشترین فراوانی رخداد مخاطره موج گرما در ماه مارس ۲۰۱۰ (اواخر دوره سرد) و هم‌زمان با فصل جوانه‌زنی گیاهان بوده که ممکن است با وقوع سرمای دیررس بهاره به امواج گرمایی، در صورت ناآگاهی و نداشتن آموزش کافی، کشاورزان

پیشنهادهات

طبق نتایج حاصل، از آنجا که جزایر حرارتی شهری حتی در صورت عدم موج گرمایی در مرکز شهر اهواز وجود داشته و با رخداد موج گرمایی تحت تأثیر قرار گرفته است، نوع کاربری اراضی، تراکم ساختمان‌ها، وجود کارخانه‌ها، میزان پوشش گیاهی، منابع آب سطحی، سرعت و جهت باد در مراکز شهری قطعاً از عواملی هستند که در تأثیرپذیری جزایر حرارتی شهری از مخاطره موج گرمایی نقش دارند؛ بنابراین در جهت کاستن شدت جزایر حرارتی راهکارهای زیر مناسب به نظر می‌رسد:

پوشاندن سطوح و ساختمان‌ها به وسیله مصالحی با ظرفیت گرمایی و ضریب انعکاس بالا داشته باشند، استفاده از درختان و پوشش گیاهی که موجب افزایش رطوبت نسبی هوا و خنک شدن هوای اطراف ساختمان‌ها می‌شود، جلوگیری از قطع درختان در حومه شهرها و افزودن فضاهای سبز و ایجاد بام سبز در مناطق مرکزی شهر، همچنین توجه به جهت باد در معماری شهری، تراکم مناسب ساختمان‌ها و عدم احداث متمرکز آن‌ها در مرکز شهر به گونه‌ای که امکان کانالیزه شدن باد و تخلیه حرارتی در بین آن‌ها وجود داشته باشد.

تقدیر

ضمن سپاس از سازمان هواشناسی کشور، مقاله حاضر مستخرج از رساله دکتری است.

سوی دیگر ساختمان‌های بلند مرکز شهر سبب به دام افتادن گرما در مرکز شهر و تشکیل جزیره گرمایی شبانه شده است. همچنین در دوره گرم سال، به دلیل گرمایش شدیدتر حومه شهر در شرایط حاکمیت امواج گرمایی، شدت جزایر سرمای شهری نسبت به دوره سرد سال بیشتر بوده است. در مجموع می‌توان گفت که تحت حاکمیت امواج گرمایی، جزایر گرمایی شبانه و جزایر سرمای روزانه در ماه‌های گرم سال نسبت به ماه‌های سرد سال بیشتر تأثیر پذیرفته است. سرعت باد در ماه‌های سرد در زمان حاکمیت امواج گرمایی نسبت به شرایط عادی بیشتر بوده که می‌تواند یکی از دلایل کاهش شدت جزایر سرمای روزانه و جزایر گرمایی شبانه باشد. طبق نتایج مذکور، باتوجه به اینکه در دوره مورد مطالعه، بیشترین فراوانی و تداوم موج گرمایی در ماه مارس یعنی در اواخر دوره سرد سال بوده و رخداد امواج گرمایی در تشدید جزایر حرارتی این دوره نیز بی‌تأثیر نبوده، انتظار می‌رود طی سال‌های آتی نیز با از بین رفتن پوشش‌های طبیعی و توسعه ساختمان‌سازی و در نتیجه افزایش سطوح مصنوعی با ظرفیت حرارتی پایین در مرکز این شهر، جزایر گرمایی شبانه و جزایر سرمای روزانه تحت تأثیر مخاطره موج گرمایی شدت بیشتری بیابد. یافته‌های پژوهش حاضر با یافته‌های اکثر پژوهشگران از جمله الی بودن (۲۰۱۳)، قبادی و همکاران (۲۰۱۷)، بوزید و رامورتی (۲۰۱۷)، جفری و همکاران (۲۰۱۸)، لی و همکاران (۲۰۱۸) هم راستا بود.

منابع

اسمعیل نژاد، مرتضی؛ محمود خسروی؛ بهلول علیجانی؛ سید ابوالفضل مسعودیان (۱۳۹۲). شناسایی امواج گرمایی ایران، جغرافیا و توسعه، شماره ۳. صفحات ۵۴-۳۹.

https://gdij.usb.ac.ir/article_1321.html

الماسی، فائقه؛ طاووسی، تقی؛ حسین آبادی، نسرين (۱۳۹۵). واكوی رفتار و تغییرات بسامد رخداد امواج گرمایی شهر اهواز، آمایش جغرافیایی فضا. شماره ۱۹. صفحات ۱۵۰-۱۳۷.

عزیزی، قاسم. (۱۳۸۳). تغییر اقلیم، تهران. نشر قومس. چاپ اول. ۴۳۴.

http://www.sepehr.org/article_28899.html

قویدل رحیمی، یوسف (۱۳۹۰). شناسایی، طبقه‌بندی و تحلیل سینوپتیک موج ابر گرم تابستان ۱۳۸۹ در ایران، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک. شماره ۳. صفحات ۱۰۰-۸۵.

<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=177582>

کاشکی، عبدالرضا؛ مختار کرمی؛ محمد باعقیده؛ محمدرضا علیمردادی (۱۳۹۸). واكوی آماری امواج گرمایی زابل، دگرگونی‌ها و مخاطرات آب‌وهوایی. شماره ۱. صفحات ۵۵-۴۰.

http://cccd.znu.ac.ir/article_36081.html

مجرد، فیروز؛ جعفر معصوم‌پور؛ طیبه رستمی (۱۳۹۷). بررسی تغییرات دوره‌های و فصلی جزیره گرمایی شهر کرمانشاه در شب و روز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، فیزیک زمین و فضا. شماره ۲. صفحات ۴۹۴-۴۷۹.

<https://www.sid.ir/fa/Journal/ViewPaper.aspx?ID=467195>

مجرد، فیروز؛ جعفر معصوم‌پور؛ طیبه رستمی (۱۳۹۴). تحلیل آماری-همدیدی امواج گرمایی بالای ۴۰ درجه سلسیوس در غرب ایران، جغرافیا و مخاطرات طبیعی. شماره ۱۳. صفحات ۵۷-۴۱.

<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=303234>

مسعودیان، سید ابوالفضل؛ مسلم ترکی (۱۳۹۸). واكوی تغییرات زمانی و مکانی جزیره گرمایی کلان‌شهر اهواز با کمک از داده‌های مودیس، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شماره ۱. صفحات ۹۲-۷۵.

https://journals.ui.ac.ir/article_24004.html

مولودی، گلاره؛ اسدالله خورانی؛ عباس مرادی (۱۳۹۵). اثر تغییر اقلیم بر امواج گرمایی سواحل شمالی خلیج فارس، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی. شماره ۱. صفحات ۱۴-۱.

<https://jsaeh.khu.ac.ir/https://journals.ui.ac.ir/>

نظر صیدی، علی؛ امیر گندمکار (۱۳۹۹). بررسی تغییرات اقلیم شهر اهواز در رابطه با توسعه منطقه‌ای و برنامه‌ریزی شهری، فصلنامه نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی. شماره ۲. صفحات ۱۷۰-۱۵۱.

http://geography.journals.iau-garmsar.ac.ir/article_680433_6444b5c156e841480764215f0c63275d.pdf

References

Añel J, Fernández-González M, Labandeira X, López-Otero X, de la Torre L (2017). Impact of Cold Waves and Heat Waves on the Energy Production Sector. *Atmosphere* 10: 1-13.

<https://www.mdpi.com/2073-4433/8/11/209>

Almusaed A (2011). The Urban Heat Island Phenomenon upon Urban Components. *Biophilic and Bioclimatic Architecture* 21: 139-150.

https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-84996-534-7_10

Basara J, Basara H, Bradley I, Kenneth C (2018). The Impact of the Urban Heat Island during an Intense Heat Wave in Oklahoma City. *Advances in Meteorology* 7: 1-10.

<https://www.hindawi.com/journals/amete/2010/230365/>

De Ridder K, Maiheu B, Lauwaet D, Daglis I A, Keramitsoglou I, Kourtidis K, Manunta P, Paganini M (2016). Urban Heat Island Intensification during Hot Spells-The Case of Paris during the Summer of 2003. *Urbanscience* 1: 1-11.

<https://www.mdpi.com/2413-8851/1/1/3>

- Dobrovolsky P, Krahula L (2015). The spatial variability of air temperature and nocturnal urban heat island intensity in the city of Brno, Czech Republic, *Moravian Geographical Reports* 23: 8-16.
<https://sciendo.com/article/10.1515/mgr-2015-0013>
- Feng C, Xuchao Y, Weiping Z (2014). WRF simulations of urban heat island under hot-weather synoptic conditions: The case study of Hangzhou City, China. *Atmospheric Research* 138: 364-377.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809513003542>
- Feron- Sarah R, Cordero R, Alessdro- Damiani P, Llanillo J, Jorquera J, sepulveda E, Asencio V, Laroze D, Labbe F, Carrasco J, torres G (2019). Observations and projections of Heat Waves in south Americas. *Scientific reportst* 9: 1-15.
<https://www.nature.com/articles/s41598-019-44614-4>
- Founda D, Santamouris M (2017). Synergies between Urban Heat Island and Heat Waves in Athens (Greece), during an extremely hot summer (2012), *Scientific Reports* 7: 1-16.
<https://www.nature.com/articles/s41598-017-11407-6>
- Fujibe F, Yamazaki N, Kobayashi K, Nakamigawa H(2007).Long-term changes of temperature extremes and day-to-day variability in Japan, *papers in Meterology and Geophysics, IPCC* 85: 63-70.
<https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/joc.3707>
- Ghobadi A, Khosravi M, Tavousi T (2017). Surveying of Heat waves Impact on the Urban Heat Islands: Case study, the Karaj City in Iran. *Urban Climate* 10: 1-16.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212095517301104>
- Hosseini A (2016). Assessment of Urban Heat Island based on the relationship between land surface temperature and Land Use/Land Cover in Tehran, *Sustainable Cities and Society* 23: 94-104.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670716300403>
- Khandelwal S, Goyal R, Kaul N, Mathew A (2017). Assessment of land surface temperature variation due to change in elevation of area surrounding Jaipur, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science* 21): 1-8.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S111098231730011X>
- Lazzarini M, Marpu PR, Ghedira H (2013). Temperature-land cover interactions: the inversion of urban heat island phenomenon in desert city areas. *Remote Sensing of Environment* 130: 136-152.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425712004312>
- Lemonsu A, Vigiú V, Daniel M, Masson V (2015). Vulnerability to heat waves: Impact of urban expansion scenarios on urban heat island and heat stress in Paris (France). *Urban Climate* 14: 586-605.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212095515300316>
- Bai L, Gangqiang D, Shaohua G, Peng B, Buda S, Dahe Q, Ramamurthy P, Bou-Zeid E (2017). Heatwaves and urban heat islands: A comparative analysis of multiple cities. *Journal of geophysical research Atmospheres an Agu Journal* 122: 168-178.
<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2016JD025357>
- Paravantis J, Santamouris M, Constantinou C, Efthymiou C, Kontoulis N (2017). Mortality Associated with High Ambient Temperatures Heatwaves, and the Urban Heat Island in Athens, Greece, *Sustainability* 606: 2-22.
<https://www.mdpi.com/2071-1050/9/4/606>
- Ramamurthy P, Bou-Zeid E (2017). Heatwaves and urban heat islands: A comparative analysis of multiple cities. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 1: 168-178.
<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2016JD025357>
- Rohini, P.; Pajeevan, m., and Mukhopahay, P. (2019). Future projections of heat waves over India from CMIP5 models, *Climate Dynamics*, (53), 975-988.
<https://www.semanticscholar.org/paper/Future-projections-of-heat-waves-over-India-from-Rohini-Rajeevan/9e7b40ab405ce2d4800f54a1e9db71e56956f5bd>
<https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-014-1353-2>
- Weihe Z, Shuang Ji, Tsun-Hsuan Ch, Hou Y, Zhang K (2014). The 2011 heat wave in Greater Houston: Effects of land use on temperature. *Environmental Research* 135: 81-87.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935114002916>
<https://www.elsevier.com/books/statistical-methods-in-the-atmospheric-sciences/wilks/978-0-12-385022-5>
- Zhou B, Lauwaet D, Hooyberghs H, De Ridder, Kropp K, D- Rybski J (2016). Assessing Seasonality in the Surface Urban Heat Island of London, *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 55: 493-505.
<https://journals.ametsoc.org/view/journals/apme/55/3/jamc-d-15-0041.1.xml> <http://modis.gsfc.nasa.gov>