

Climatology of Urban Heat/Cold Island of Metropolises of Iran

Moslem Torki¹, Dr. Syed Abolfazl Masoodian^{2*}, Dr. Majid Montazeri³

1-Ph.D Student of Climatology, Department of Physical Geography, University of Isfahan

2-Professor of Climatology, Department of Physical Geography, University of Isfahan

3-Associate Professor of Climatology, Department of Physical Geography, University of Isfahan



Torki, M & Masoodian, S.A & Montazeri, M. (2021). [Climatology of Urban Heat/Cold Island of Metropolises of Iran], *Geography and Development*, 19 (64), 1-20.

doi: <http://dx.doi.org/10.22111/J10.22111.2021.6368>

Received: 18/08/2020
Accepted: 17/01/2021

Keywords:
Heat island,
Modis Terra,
Modis Aqua,
Iran.

ABSTRACT

Urban development and industrial activities have led to dramatic changes in the physical characteristics of the land surface, energy balance and, as a result, local climate change in big cities. To investigate heat/cold island intensity, Modis Terra and Aqua data were used to obtain land surface temperature from 2002 to 2016 and all cities with a population of more than 500,000 were selected. Modis land cover data were used to extract urban and non-urban areas. And so the difference between the maximum and minimum latitude and longitude of the urban area was obtained and on every side, the city was expanded to its size To specify the non-urban area. I

n the next step, a representative temperature of the non-urban had to be selected from non-urban cells. For this purpose, for each day the temperature that had the highest frequency among all cells of the non-urban was selected as the representative temperature of the non-urban. And the urban heat/cold island intensity was obtained from the difference between the Representative temperature of non-urban and all urban cells. The result shows that at the day in all metropolises except Rasht from a cold island. At night, except Zahedan, which has a weak cold island, in the other city form a heat island.

Copyright©2021, Geography and Development. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-noncommercial 4.0 International License which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cited.

Extended Abstract

1- Introduction

Urbanization is one of the most important human activities that creates incremental changes in the environment. Urban heating and the formation of the urban heat island are attributes of urban land

transformation that are of interest across science disciplines because the urban heat island signal reflects a broad suite of important land surface changes impacting human health, ecosystem function, local weather, and possibly climate. The heat island phenomenon is mostly made by the reduction of latent heat and the increase in sensible heat in urban area due to the replacement of evaporative bar soils and vegetated surfaces with non-evaporating impervious surfaces, asphalt and building materials that establish the temperature deviation between the urban center and the surrounding region. Typically, the most common source of climate data, such as air temperature, is ground stations. Because the density of in situ weather station networks is sparse and potentially influenced by very local conditions, it is difficult to

*Corresponding Author:

Dr. Syed Abolfazl Masoodian

Address: Department of Physical Geography,
University of Isfahan

Tel: +98 (9133131101)

E-mail: s.a.masoodian@geo.ui.ac.ir

rely on these data alone for obtaining information about urban heat island at the spatial scale of a city. Satellite remote sensing now offers the opportunity to characterize spatial and temporal structures of solid ground surface temperature with sufficient resolution to distinguish between urban cores and rural environment. Research on heat island in Iran is limited to a few metropolises and no comprehensive study has been carried out on all metropolises of Iran and has been used low temporal resolution Sensors in these studies. Therefore, in this study, attempted to investigate the urban heat island of Iran metropolises by new way and climate type in which the city is located. A deep understanding of the spatiotemporal patterns of the heat island will provide many applied needs of urban planners and environmental managers.

2-Material and Methods

In this study, Modis Terra and Aqua data were used to obtain land surface temperature from 2002 to 2016. For this aim, all cities with a population of more than 500,000 were selected, comprising 17 cities. Modis land cover data (MCD12Q1, 500 m spatial resolution) were used to extract urban and non-urban area. And so the remainder between the maximum and minimum latitude and longitude of the urban center was obtained and on every side the urban center was blown up to its size to fix a non-urban field and a blue-ribbon area of each city were taken. In the next step, a representative temperature of the non-urban had to be selected from non-urban cells. For this purpose, a new method was used in this study, so for each day the temperature that had the highest frequency among all cells of the non-urban was selected as the representative temperature of the non-urban. The relation between precipitation days was also investigated using ground station data obtained from the Meteorological Organization.

3-Results and Discussion

Survey of heat / cold island of Iran's metropolises shows that depending on the background climate and city density, heat / cold island intensity varies. At midday the highest intensity of cold island was -6.1 °C, -4.8 °C and -4.1 °C degrees Celsius in Qom, Tehran and Yazd, respectively. Qom is located in the semi-arid desert and Tehran and Yazd are in the temperate desert and the Severe desert and very hot, respectively. In Tehran, the Extensive expansion of

impervious surfaces is also affecting the intensity of the cold island because part of the solar radiation is converted into latent heat. Rasht is the only city with a heat island in midday due to its location in moist and temperate Caspian climate zone. During the day, the sensible heat flux in the non-urban increases due to the presence of bare soil, especially in hot and dry climati zones, and the latent heat flux in the city due to the presence of overcrowded urban practices as well as urban green spaces and cold island is formed in all metropolises of Iran (except Rasht metropolis). In most metropolises, the core of cold island is located in overcrowded urban areas. Also, in cities with extensive vegetation cover, such as Isfahan, Shiraz, and Mashhad, the cold island core has Matches to these areas. In the marginal areas of the Metropolises, due to the lower density of buildings and the presence of open plots and increased sensible heat flux, the intensity of the cold island is lower than in the central and densely populated areas of the city. In fact, the day time cold island form due to the increase of heat flux of non-urban area due to solar radiation and low heat capacity of these surfaces and increased latent heat flux of urban area due to congestion of buildings and urban green spaces. At midnight, except Zahedan, which has a weak cold island, in the other city heat island was between 0.5 °C and 3°C. The most intense nightly heat island is formed in Arak and Shiraz that located in cold Mountain and semi-warm mountainous and Mashhad in cold and semi-arid climate zone. Cities that are located in a desert climate zone like Zahedan, Yazd, Qom and Kerman also have a weak heat island. Seasonal variations of the heat / cool island of Iran metropolises indicate that daytime, cool island variations are higher than night time heat island. In most metropolises, the strongest cold island occurs during the summer. During this season, which is the hottest and driest season of the year, due to the increased sensible heat flux in the non-urban area as well as the increase in latent heat flux in the urban area, the temperature difference between the urban and non-urban increases more than other seasons. The weakest cold island also occurs in most metropolises in winter. During the day, most of the cold island occurred in cities with bare soil by grassy and shrub land covers, respectively. In the cities that located in the grassy land cover, from the strong heat island due to the evapotranspiration

cooling. At night, the most intense heat island form in cities that located in a shrub land coverage area and the weakest value is found in grassland and bar soil area. The relation between wind speed and precipitation days with heat /cold island indicates that precipitation occurrence and increased wind speeds reduce heat and cold island intensity.

4-Conclusion

The results show that because of the increase in sensible heat flux in the non-urban area due to low heat capacity procedures, especially in arid areas and also increase the latent heat flux due to high albedo procedures, urban green spaces and shading of buildings in urban areas from a cold island during the day, especially in the warm season. The intensity of the cold island is higher in cities such as Qom, Zahedan, and Yazd, which located in warm and dry climate zone that relate to bare soil. Rasht is the only city which has a heat island on the day due to its location in humid and forest biome. At night, the sensible heat flux in the non-urban area decreases and the heat island forms over most metropolises. The Zahedan is the only city at night has a weak cold island. The most intense cold island forms in th in cities that non-urban area is covered by bare soil but strong heat island forms in the cities that non-urban area is covered with crop land. At night, the most intense heat island forms in the cities that is covered with shrub land. And the weakest nightly heat island forms in the cities with land cover and bare soil and cropland.

Keywords: Heat island, Modis Terra, Modis Aqua, Iran.

5-References

- Anniballe, R., Bonafoni, S., & Pichierri, M. (2014). Spatial and temporal trends of the surface and air heat island over Milan using MODIS data. *Remote Sensing of Environment*, 150, 163-171. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S003442571400193X>
- Anniballe, R., Bonafoni, S., & Pichierri, M. (2014). Spatial and temporal trends of the surface and air heat
- Fung W, Lam K, Nichol J, Wong MS. (2009). Derivation of nighttime urban air temperatures using a satellite thermal image. *Journal of Applied Meteorology & Climatology*. 48(4): 863-872. <https://journals.ametsoc.org/view/journals/apme/48/4/2008jamc2001.1.xml>
- Cheval, S., & Dumitrescu, A. (2009). The July urban heat island of Bucharest as derived from MODIS images. *Theoretical and Applied Climatology*, 96 (1-2), 145-153. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-008-0019-3>
- Friedl, M., Sulla-Menashe, D (2015). MCD12Q1 MODIS/Terra+Aqua Land Cover Type Yearly L3 Global 500m SIN Grid V006 [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. [doi: 10.5067/MODIS/MCD12Q1.006](https://doi.org/10.5067/MODIS/MCD12Q1.006). <https://adsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/missions-and-measurements/products/MCD12Q1/>
- Haashemi, S., Weng, Q., Darvishi, A., and Alavipanah, S.K. (2016). Seasonal Variations of the Surface Urban Heat Island in a Semi-Arid City. *Remote Sensing* 8, 352. <https://www.mdpi.com/2072-4292/8/4/352>
- Hafner, J. and Kidder, S.Q. (1999). Urban heat island modeling in conjunction with satellite-derived surface/soil parameters. *Journal of applied meteorology* 38, 448-465. https://journals.ametsoc.org/view/journals/apme/38/4/1520-0450_1999_038_0448_uhmic_2.0.co_2.xml
- Heydari, H., Alijani, B. (2000). Climatic Classification of Iran Using Multivariate Statistical Techniques. *Physical Geography Research*, 37(0), 57-74. https://journals.ut.ac.ir/article_17201.html
- Imhoff, M.L. Zhang, P. Wolfe, R.E. and Bounoua, L. (2010). Remote sensing of the urban heat island effect across biomes in the continental USA. *Remote Sensing of Environment* 114, 504-513. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425709003174>
- Jin, M., Dickinson, R. E., & Zhang, D. A. (2005). The footprint of urban areas on global climate as characterized by MODIS. *Journal of climate*, 18(10), 1551-1565. <https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/18/10/jcli3334.1.xml>
- Kataoka, K., Matsumoto, F., Ichinose, T., Taniguchi, M (2009). Urban warming trends in several large Asian cities over the last 100 years. *Sci. Total Environ*. 407 (9),3112e3119. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969708009558>
- Schwarz, N., Lautenbach, S., & Seppelt, R. (2011). Exploring indicators for quantifying surface urban heat islands of European cities with MODISlandsurfacetemperatures. *Remote Sensing of Environment*, 115(12),3175-3186. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425711002471>

- Grimm, N. B., Faeth, S. H., Golubiewski, N. E., Redman, C. L., Wu, J., Bai, X., & Briggs, J. M. (2008). Global change and the ecology of cities. *Science*, 319(5864), 756-760.
<https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.1150195>
- Martinelli, A., Kolokotsa, D. D., & Fiorito, F (2020). Urban Heat Island in Mediterranean Coastal Cities: The Case of Bari (Italy). *Climate*, 8(6), 79.
<https://www.mdpi.com/2225-1154/8/6/79>
- Peng, S., Piao, S., Ciais, P., Friedlingstein, P., Otle, C.,éré on, F. M., & Myneni, R. B (2011). Surface urban heat island across 419 global big cities. *Environmental science & technology*, 46(2), 696-703.
<https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es2030438>
- Rasul, A., Balzter, H., & Smith, C. (2015). Spatial variation of the daytime Surface Urban Cool Island during the dry season in Erbil, Iraqi Kurdistan, from Landsat 8. *Urban climate*, 14, 176-186.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212095515300237>
- Rizwan, A. M. Dennis, L. Y. and Chunho, L. (2008). A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *Journal of Environmental Sciences* 20, 120-128.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1001074208600194>
- Wang, K., Wang, J., Wang, P., Sparrow, M., Yang, J., & Chen, H (2007). Influences of urbanization on surface characteristics as derived from the Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer: A case study for the Beijing metropolitan area. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 112(D22).
<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2006JD007997>
- Wan, Z., Hook, S., Hulley, G (2015). MOD11A1 MODIS/Terra Land Surface Temperature/Emissivity Daily L3 Global 1km SIN Grid V006 [Data set]. NASA EOSDIS LP DAAC.
[doi: 10.5067/MODIS/MOD11A1.006](https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD11A1.006).
- Wang, W., Liu, K., Tang, R., & Wang, S. (2019). Remote sensing image-based analysis of the urban heat island effect in Shenzhen, China. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 110, 168-175.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474706518302249>
- Yuan, F., and Bauer, M.E(2007). Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. *Remote Sensing of environment* 106, 375-386.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425706003191>
- Zhang P, Imhoff ML, Wolfe RE, Bounoua L. (2010). Characterizing urban heat islands of global settlements using MODIS and nighttime lights products. *Canadian Journal of Remote Sensing*. 36(3):185-196.
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.5589/m10-039>
- Zhou, D. Zhao, S. Zhang, L. Sun, G. and Liu, Y (2015). The footprint of urban heat island effect in China. *Scientific reports* 5, 11160.
<https://www.nature.com/articles/srep11160>

آب و هواشناسی جزایر گرمایی - سرمایای شهرهای بزرگ ایران

مسلم ترکی^۱، دکتر سید ابوالفضل مسعودیان^{۲*}، دکتر مجید منتظری^۳

چکیده

توسعه شهرنشینی و فعالیت‌های صنعتی منجر به تغییرات چشمگیری در مشخصات فیزیکی سطح زمین، ترازمندی انرژی و در نتیجه سبب تغییر آب‌وهوای محلی در شهرهای بزرگ شده است؛ از این رو برای بررسی نقش شهر در تغییر آب‌وهوای محلی، جزیره گرمایی-سرمایی رویه پایه شهرهای بزرگ ایران مورد سنجش قرار گرفت. در پژوهش حاضر برای ارزیابی جزیره گرمایی-سرمایی رویه پایه شهرهای بزرگ ایران، ابتدا شهرهای با جمعیت بیشتر از ۵۰۰ هزار نفر انتخاب شدند. برای واکاوی شدت جزیره گرمایی-سرمایی رویه پایه، از داده‌های دمای رویه سنجنده مودیس ترا و آکوا در بازه زمانی ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۶ به صورت روزانه استفاده شد. بدین منظور ابتدا مناطق ساخته شده شهری به کمک داده‌های کاربری اراضی مودیس انتخاب شد؛ سپس اختلاف بیشترین و کمترین طول و عرض جغرافیایی شهر به دست آمد و از هر طرف محدوده شهر به اندازه آن گسترش داده شد تا محدوده حومه طبیعی مشخص شود. برای آنکه بتوان جزیره گرمایی-سرمایی رویه پایه هر شهر را براساس زیوم شهر مورد سنجش قرار داد، از روش بیشترین فراوانی دما در این پژوهش استفاده شد؛ بدین صورت که بیشترین فراوانی دما در میان یاخته‌های حومه طبیعی در هر روز، به عنوان نماینده دمای حومه طبیعی همان روز انتخاب شد و شدت جزیره گرمایی-سرمایی رویه پایه شهر در هر روز براساس اختلاف تمامی یاخته‌های شهر از دمای نماینده حومه طبیعی به دست آمد. نتایج این تحقیق نشان داد در روز هنگام در همه شهرهای ایران غیر از شهر رشت که در زیمان مرطوب و معتدل خیزی قرار دارد، جزیره سرمایی با شدت ۰/۳- تا ۶/۱- درجه سلسیوس تشکیل می‌شود. شدت جزیره سرمایی روز هنگام در شهرهای واقع در زیمان بیابانی بیشتر است. در شب هنگام بر روی همه شهرهای بزرگ ایران جزیره گرمایی با شدت ۰/۵ تا ۳ درجه سلسیوس تشکیل می‌شود. شدت جزیره گرمایی در شهرهای واقع در زیمان بیابانی کمتر از سایر شهرها است و حتی بر روی شهر زاهدان به دلیل تراکم کم ساختمان‌ها و واقع شدن در ناحیه آب‌وهوایی بیابانی در شب نیز جزیره سرمایی ضعیفی تشکیل می‌شود.

جغرافیا و توسعه، شماره ۶۴، پاییز ۱۴۰۰
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۲۸
صفحات: ۱-۲۰



واژه‌های کلیدی:

جزیره گرمایی-سرمایی، سنجنده مودیس ترا، سنجنده مودیس آکوا، ایران، فراوانی دما.

مقدمه

گرمای نهان و افزایش گرمای محسوس در منطقه شهری به دلیل جایگزینی حیات گیاهی و رویه‌های خاکی تبخیرپذیر، با رویه‌های سخت، آسفالت و مصالح ساختمانی، شکل می‌گیرد که در نتیجه آن، تفاوت دمای بین شهر و مناطق اطراف ساخته نشده به وجود می‌آید (Yuan & Bauer, 2007: 376). جزیره گرمایی شهری عبارت است از تفاوت میانگین مکانی دمای پهنه‌های شهری و پهنه‌های پیرامون شهری یا پهنه‌های روستایی (Rizwan et al, 2008: 122). لوک هاوارد نخستین کسی است که در کتاب آب‌وهوای لندن بر پایه دیده‌بانی‌های هوا که جلد اول آن را در سال ۱۸۱۸ و نسخه کامل‌تری را در سال

شهرسازی یکی از فعالیت‌های مهم بشر است که تغییرات فزاینده‌ای را در محیط‌های زمین به وجود می‌آورد (Grimm et al, 2008: 756). گرمایش شهری و شکل‌گیری جزیره گرمای شهری یکی از ویژگی‌های تغییر شکل زمین‌های شهری است که در میان بسیاری از رشته‌های علمی مورد توجه است؛ زیرا جزیره گرمایی اطلاعات وسیعی از تغییرات عمده زمین منعکس می‌کند که بر سلامت انسان‌ها، عملکرد زیست‌بوم، هوای محلی و شاید آب‌وهوا اثر می‌گذارد (Zhang et al, 2010: 186). به نظر می‌آید پدیده جزیره گرمایی به‌طور کلی به سبب کاهش

باشیم (Wang et al, 2007: 1)؛ بنابراین انتخاب درست شهر و حومه طبیعی در تعیین درست شدت جزیره گرمایی به ما کمک خواهد کرد. روش‌های گوناگونی برای تمیز شهر از حومه طبیعی پیشنهاد شده‌است. برخی پژوهشگران رویه‌های بسیار ناتراوا را ملاک تمیز شهر از پیراشهر گرفته‌اند. عده‌ای نیز پهنه‌هایی که دمای رویه زمین آن‌ها در مقایسه با پهنه‌های روستایی بالاتر است را ملاک دانسته‌اند (Schwarz et al, 2011: 3176). ایمهوف و همکاران (۲۰۱۰) برای بازشناسی شهر از حومه طبیعی، از درصد رویه‌های ناتراوا استفاده کردند. شهر و حومه طبیعی را می‌توان برحسب درصدی از زمین (مثلاً آستانه ۲۵ درصد) که از رویه ناتراوا پوشیده شده، از یکدیگر بازشناخت و جدا کرد. مساحت رویه‌های ناتراوا شدت تغییرات رویه طبیعی زمین و در نتیجه تغییر ویژگی‌های زیستی فیزیکی رویه (از جمله شار گرمای نهان و محسوس) را نمایندگی می‌کند. نور شبانه شهرها یکی از راه‌هایی بوده که به یاری داده‌های دورسنجی برای جانمایی شهرها به کار گرفته شده‌است؛ اما این روش بیش از آنکه نماینده وجوه آب‌وهوایی شهر باشد، نمایانگر مصرف برق شهر است (Jin, 2005:1558)؛ اما در بسیاری از پژوهش‌ها از نور شبانه برای تشخیص شهر از حومه طبیعی استفاده شده‌است.

پس از آن‌که شهر و حومه طبیعی را از هم بازشناختیم، برای اندازه‌گیری شدت جزیره گرمایی رویه‌پایه، توجه به این که کدام یاخته را به‌عنوان نماینده شهر و حومه طبیعی در نظر بگیریم، از اهمیت بالایی برخوردار است. انتخاب یاخته مربوط به حومه طبیعی بسته به خصوصیات زمین‌ساختی آن بر شدت جزیره گرمایی شهری تأثیرگذار است (Kataoka et al, 2009: 408). در بررسی جزیره گرمایی رویه‌پایه، انتخاب مکانی که نماینده مناطق روستایی (حومه طبیعی) باشد و مکانی در داخل

۱۸۳۳ میلادی منتشر ساخت، تفاوت دمای شهر و پیراشهر را مطرح کرد. پس از او گوردون منلی ۱۹۵۶ تباین دمایی شهر و روستا را جزیره گرمایی نامید (Haffner & Kidder, 1999:448). در حالت معمول، منبع اصلی و رایج داده‌های آب‌وهوایی مانند دمای هوا، ایستگاه‌های زمینی هستند. داده‌های این ایستگاه‌ها تنها آمار مناطق خاصی را ارائه می‌کنند؛ با این حال با توجه به اندازه شهر، کمبود ایستگاه‌ها در شهر و اثرپذیری ایستگاه‌ها از شرایط مجاورشان نمی‌توان تنها با تکیه بر داده‌های حاصل از چنین روشی، اطلاعاتی درباره جزیره گرمای شهر به‌دست آورد. درحالی‌که به کمک داده‌های ماهواره‌ای می‌توان ساختار زمانی و مکانی دمای رویه زمین را با چنان تفکیکی آشکار ساخت که شهر و حومه طبیعی به‌خوبی از هم متمایز شوند (Peng et al, 2011: 698). در مقیاس جهانی، جزیره گرمایی روزانه شهری در فصل تابستان در شهرهای واقع در زیبوم جنگل ۳/۸ درجه سانتی‌گراد است که به‌طور قابل توجهی بیشتر از زیبوم با پوشش گیاهی کوتاه، مانند بوته‌زارها (۱/۹ درجه سانتی‌گراد)، زیمان خشک (۰/۲ درجه سانتی‌گراد) و زیمان نیمه‌خشک (صفر درجه سانتی‌گراد) است. همچنین شدت جزیره گرمای شبانه به‌نسبت باثبات‌تر است و پراش کمی در زیبوم‌های مختلف دارد. میانگین جهانی جزیره گرمای شبانه زمستانه در زیبوم جنگل ۱/۲ درجه سانتی‌گراد، بوته‌زار ۱/۵ درجه سانتی‌گراد، خشک ۱/۸ درجه سانتی‌گراد و نیمه‌خشک ۱ درجه سانتی‌گراد است. جزیره گرمایی شبانه تابستانه در زیبوم جنگل ۱/۵ درجه سانتی‌گراد، بوته‌زار ۱/۷ درجه سانتی‌گراد، خشک ۱/۵ درجه سانتی‌گراد و نیمه‌خشک ۱/۶ درجه سانتی‌گراد است (Zhang et al, 2010:191).

شدت جزیره گرمایی و وردش‌های فصلی آن بستگی به این دارد که برای محاسبه جزیره گرمایی چه پهنه‌هایی را به‌عنوان حومه طبیعی منظور کرده

دمای ۴ ایستگاه شهری مطالعه کردند. به دلیل قرارگرفتن شهر و اهمیت فاصله نسبت به دریا، ایستگاه مینا در داخل شهر با تراکم ساختمانی کمتر در نظر گرفته شد. نتایج این تحقیق نشان داد که پدیده جزیره گرمایی در مناطق مرکزی شهر که تراکم ساختمانی بیشتری وجود دارد، شدت جزیره گرمایی بیشتر است و با حرکت به سمت مناطق ساحلی از بین می‌رود. شدت جزیره گرمایی به عواملی مانند وجود یا نبود پوشش گیاهی، هندسه شهری و سطح شهرنشینی که باعث ایجاد گرمای انسان‌ساخت می‌شود، بستگی دارد.

جزیره گرمایی برخی از شهرهای بزرگ ایران نیز با روش‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته است. رضانی و دخت‌محمد (۱۳۸۹) با استفاده از داده‌های ۹ ایستگاه احداث‌شده در داخل شهر و یک ایستگاه سینوپتیک در بیرون شهر نشان دادند که بر روی شهر رشت جزیره گرمایی تشکیل می‌شود که شدت آن در زمان کمینه دمایی بیشتر است. موسوی بایگی و همکاران (۱۳۹۱) جزیره گرمایی شهر مشهد را با استفاده از تصاویر ماهواره لندست مورد بررسی قرار دادند. یافته‌های این تحقیق نشان داد که دمای تابشی مشهد طی دهه ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۲ افزایش داشته است و این افزایش در مناطق مسکونی بیشتر بوده است. همچنین نیمرخ شمال‌غربی-جنوب‌شرقی به دلیل گسترش بیشتر و عدم یکنواختی رویه‌ها، نسبت به سایر نیمرخ‌ها بعد فرکتالی بیشتری دارد. میزان افزایش دما در منطقه پرجمعیت شهر نسبت به منطقه باغ ملک‌آباد بیشتر است. احمدی و داداشی رودباری (۱۳۹۶) جزیره گرمایی شهر اصفهان را با استفاده از تصاویر ماهواره لندست و با رویکرد زیست‌محیطی بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که دمای شهر اصفهان کمتر از مناطق اطراف است. جزیره سرمایی در مرکز شهر تشکیل می‌شود

شهر که نماینده دمای شهر باشد، دارای اهمیت بالایی است؛ به طوری که نتایج مطالعه ژائو و همکاران (۲۰۱۵) بر روی ۳۲ شهر چین نشان داد که شدت جزیره گرمایی هنگامی که تباین دمای بین مناطق شهری و مناطق روستایی تحت تأثیر شهر قرار نگرفته در نظر گرفته شود؛ به طور قابل توجهی بزرگ‌تر از زمانی است که تباین دمای بین مناطق شهری و حومه شهری مبنای بررسی جزیره گرمایی قرار بگیرد. اگر اثر جزیره گرمایی نادیده گرفته شود، به احتمال زیاد شدت جزیره گرمایی دارای کم‌برآوردی خواهد شد؛ به عنوان مثال وقتی شهر لانژو با مناطق روستایی مقایسه شد، در طول روز دارای جزیره سرمایی بود، ولی هنگامی که با مناطق حومه شهری مقایسه شد، جزیره گرمایی ضعیف داشت؛ از سوی دیگر نمایه‌های مختلفی برای تعریف جزیره گرمای شهری به کمک داده‌های دورسنجی استفاده شده است. شوارتز و همکاران (۲۰۱۱) برخی از این نمایه‌ها را بیان کرده است. این نمایه‌ها در پژوهش‌های انجام‌شده مورد استفاده قرار گرفته است. آنیمل و همکاران (۲۰۱۴) برای سنجش شدت جزیره گرمایی میلان از داده‌های سنجنده مودیس و نمایه گسترده گوسی استفاده کردند.

چوال و دومیترسکیو (۲۰۰۹) برای اندازه‌گیری جزیره گرمایی بخارست، از نمایه تفاضل شهر-روستا استفاده کردند. وانگ و همکاران (۲۰۱۹) برای بررسی ارتباط جزیره گرمایی، شهر شنزن را با کاربری اراضی از نمایه شهر-روستا استفاده کردند. نتایج تحقیق نشان داد که دمای رویه زمین شهر شنزن به تدریج از شمال غرب به جنوب شرق کاهش پیدا می‌کند و دمای رویه سطوح نفوذناپذیر به طور قابل توجهی بیشتر از مناطق با پوشش گیاهی است؛ بنابراین جزیره گرمایی قابل توجهی بر روی شهر تشکیل می‌شود. مارتینلی و همکاران (۲۰۲۰) جزیره گرمایی شهر باری در سواحل مدیترانه را با بررسی

زیبومی که شهر در آن قرار گرفته است، میزان گسترش و شدت جزیره گرمایی رویه پایه شهرهای بزرگ ایران بررسی شود. شناخت عمیق تر الگوهای مکانی و زمانی جزیره گرمایی، بسیاری از نیازهای کاربردی برنامه ریزان شهری و مدیران محیطی را فراهم خواهد کرد.

داده‌ها و روش

منطقه مورد مطالعه

ایران با ۱۶۴۸۱۹۵ کیلومترمربع مساحت، در جنوب غرب آسیا و منطقه خاورمیانه واقع شده است. کشور ایران به دلیل گستردگی و وجود کوهستان‌های بسیار و همجواری با دو دریای بزرگ در شمال و جنوب، دارای تنوع آب‌وهوایی فراوانی است. مناطق شمالی در کنار دریای خزر آب‌وهوای معتدل و مرطوب دارند. مناطق داخلی و شرقی دارای آب‌وهوای گرم و خشک و شهرهای واقع شده در امتداد رشته کوه‌های البرز و زاگرس، آب‌وهوای کوهستانی دارند (حیدری و علیجانی، ۱۳۷۸: ۷۰). جمعیت ایران براساس سرشماری سال ۱۳۹۵، ۷۹۹۲۶۲۷۰ نفر است (درگاه مرکز آمار ایران). پایتخت ایران شهر تهران است که به همراه شهر کرج و شهرهای ری، اسلامشهر و شهریار، خوشه شهری تهران- کرج را تشکیل می‌دهد که ۱۰۲۸۶۱۹۸ نفر جمعیت دارد. جدول ۱ و شکل ۱ ویژگی‌ها و پراکندگی شهرهای مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

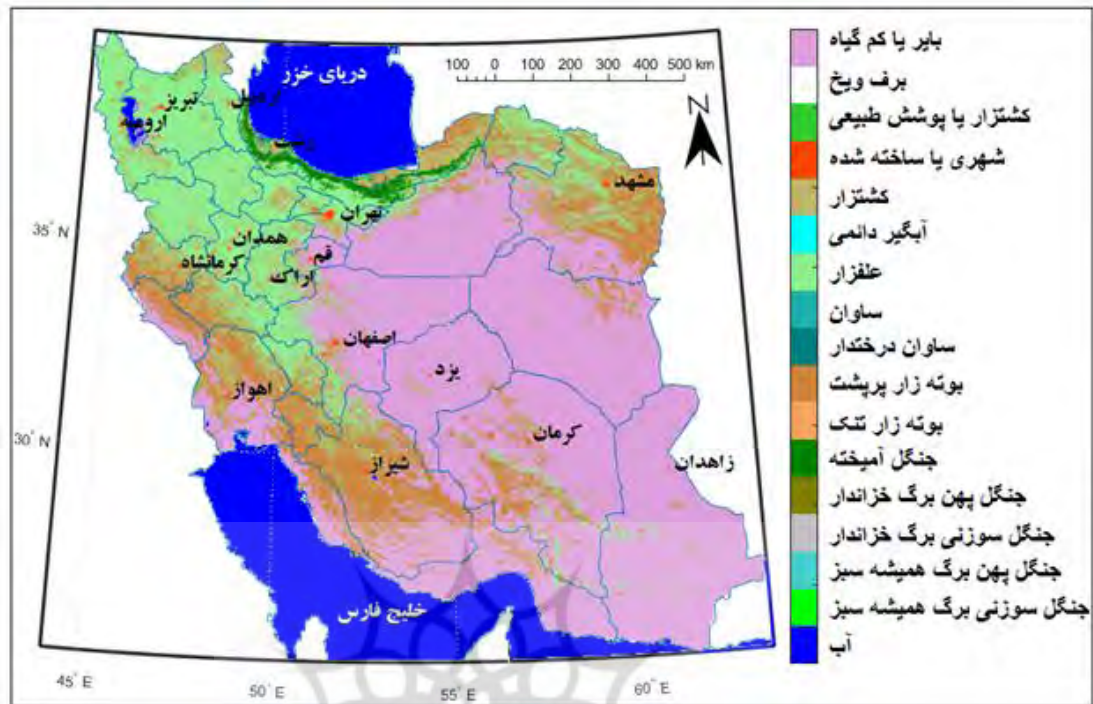
که به دلیل قرارگیری اصفهان در آب‌وهوای نیمه‌خشک و وجود پارک‌ها، دریاچه‌ها و آب‌نماهای مصنوعی و رودخانه زاینده‌رود است. بیشترین حساسیت زیست‌محیطی در مناطق جنوبی شهر است. مجرد و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از داده‌های ماهواره مودیس نشان دادند که مناطق شهری کرمانشاه در طی روز به خصوص در دوره گرم سال، نسبت به مناطق غیرشهری دمای سطح کمتری دارد و جزیره سرمایی تشکیل می‌شود؛ اما در شب، به خصوص در فصل بهار در مناطق شهری جزیره گرمایی سطحی تشکیل می‌شود. نیلیه بروجنی و احمدی ندوشن (۱۳۹۸) با استفاده از تصاویر ماهواره لندست پیوند میان پوشش گیاهی و درجه حرارت سطح زمین شهر اصفهان را بررسی کردند. نتایج این تحقیق بیانگر پیشرفت جزیره گرمایی شهر به سمت منطقه‌هایی است که با فقر پوشش گیاهی و توسعه کاربری‌های ساخت‌وساز شده (مسکونی و صنعتی) مواجه بوده‌اند. همچنین در دوره مورد مطالعه تخریب شدید در پوشش سبز منطقه رخ داده است و بخش عمده این تغییرها در جهت تبدیل شدن به منطقه شهری بوده است.

تحقیقاتی که در ایران در رابطه با جزیره گرمایی انجام گرفته، منحصر به چند شهر است و بررسی جامعی بر روی همه شهرهای بزرگ ایران انجام نگرفته است. از سوی دیگر در مطالعات انجام گرفته از سنجنده‌هایی با تفکیک زمانی کم استفاده شده است؛ از این رو در این تحقیق تلاش می‌شود با توجه به

جدول ۱: مشخصات محلی ایستگاه‌های مورد مطالعه براساس داده‌های مرکز آمار،
داده‌های کاربری اراضی مودیس و طبقه‌بندی آب‌وهوایی ایران

شهر	جمعیت	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)	مساحت (km ²)	زیبوم	زیر ناحیه	نوع رویه غالب حومه طبیعی
رشت	۶۷۹۹۹۵	۴۹،۵۸	۳۷،۲۸	۰	۷۴	مرطوب و معتدل خزری	مرطوب و معتدل خزری	کشتزار
اردبیل	۵۲۹۳۷۴	۴۸،۲۹	۳۸،۲۴	۱۳۵۰	۶۹	نیمه خشک	نیمه خشک سرد	علفزار
ارومیه	۷۳۶۲۲۴	۴۵،۰۷	۳۷،۵۵	۱۳۵۰	۸۹		نیمه خشک سرد	علفزار
تبریز	۱۵۵۸۶۹۳	۴۶،۳	۳۸،۰۸	۱۴۰۰	۱۴۱		نیمه خشک سرد	علفزار
مشهد	۳۰۰۱۱۸۴	۵۹،۵۸	۳۶،۳۲	۱۰۰۰	۳۱۹		نیمه خشک سرد	بوته‌زار
کرمانشاه	۹۴۶۶۵۱	۴۷،۰۹	۳۴،۳۵	۱۳۱۵	۹۲	زیمان زاگرس	نیمه مرطوب معتدل	علفزار
اراک	۵۲۰۹۴۴	۴۹،۷	۳۴،۰۹	۱۷۴۰	۷۰		کوهستانی سرد	علفزار
همدان	۵۵۴۴۰۶	۴۸،۵۲	۳۴،۷۹	۱۸۰۰	۱۱۷		کوهستانی سرد	علفزار
شیراز	۱۵۶۵۵۷۲	۵۲،۵۳	۲۹،۶	۱۵۵۰	۲۱۸		نیمه کوهستانی گرم	بوته‌زار
تهران	۱۰۲۸۶۱۹۸	۵۱،۳۹	۳۵،۶۸	۱۲۰۰	۱۱۲۵	بیابانی معتدل تا شدید خیلی گرم داخلی	بیابانی معتدل	علفزار
اصفهان	۱۹۶۱۲۶۰	۵۱،۶۶	۳۲،۶۵	۱۵۸۰	۴۱۵		بیابانی معتدل	خاک لخت
کرمان	۵۳۷۷۱۸	۴۷،۰۹	۳۴،۳۵	۱۳۰۰	۱۶۰		بیابانی شدید و خیلی گرم	خاک لخت
یزد	۵۲۹۶۷۳	۵۴،۳۶	۳۱،۹	۱۲۲۰	۱۳۳		بیابانی شدید و خیلی گرم	خاک لخت
زاهدان	۵۶۷۷۳۰	۶۰،۸۶	۲۹،۵	۱۳۸۰	۸۶		بیابانی شدید و خیلی گرم	خاک لخت
قم	۱۲۰۱۱۵۸	۵۰،۹	۳۴،۶۴	۹۳۰	۱۲۵	بیابانی نیمه گرم داخلی	بیابانی نیمه گرم داخلی	خاک لخت
اهواز	۱۱۸۴۷۷۸	۴۸،۷	۳۱،۳۲	۲۰	۱۵۰		بیابانی گرم ساحلی	بوته‌زار

مأخذ: حیدری و علیجانی، ۱۳۷۸



شکل ۱: پوشش رویه زمین و پراکندگی ایستگاه‌های مورد مطالعه براساس داده‌های کاربری اراضی مودیس سال ۲۰۱۳ تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۹

داده‌ها و روش

در پژوهش حاضر برای بررسی جزیره گرمایی-سرمایی رویه پایه شهرهای بزرگ ایران داده‌های روزانه دمای رویه سنجنده مودیس تررا و آکوا از تارنمای مودیس برای بازه زمانی ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۶ برداشت شد. سپس دمای رویه بر روی ایران، از کل پایگاه داده استخراج شد. بدین منظور شش کاشی با نام‌های H21v05، H22v05، H22v06، H23v05، H23v06، H21v06 انتخاب شد. اندازه هر یک از این کاشی‌ها ۱۲۰۰×۱۲۰۰ کیلومتر است. به دلیل اینکه ماهواره‌های تررا و آکوا هر همه مدارها را در یک روز کامل نمی‌کنند و در هر محل در روزهای پیاپی زمان برداشت تا ۱/۵ ساعت متغیر است. دمای رویه زمین برای نیمروز و نیمه شب با استفاده از گذرهای ماهواره‌های تررا و آکوا محاسبه شد. بدین منظور، نخست زمان برداشت و دمای رویه زمین هر دو ماهواره فراخوانی شد و سپس تغییرات دمای رویه زمین نسبت به اختلاف زمانی برداشت آن‌ها

برای هر یاخته و برای هر روز آماری برحسب درجه سلسیوس بر ساعت محاسبه شد (مرادی و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۰۴).

$$Dt = (tad - ttd) \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$Dlst = (lstad - lsttd) \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$SLP = \frac{Dlst}{Dt} \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این رابطه Dt فاصله زمانی دو برداشت مودیس تررا و آکوا در روز هنگام برحسب ساعت است. tad و ttd به ترتیب زمان برداشت روز هنگام مودیس آکوا و تررا برحسب ساعت محلی، $lstad$ و $lsttd$ به ترتیب دمای روز هنگام رویه زمین مودیس آکوا و تررا برحسب کلونین، $Dlst$ اختلاف دمای رویه زمین در دو برداشت روز هنگام دو ماهواره برحسب کلونین بر ساعت است که برای هر یاخته و هر روز دوره آماری موجود محاسبه شده است. با استفاده از شیب

از داده‌های کاربری زمین مودیس (MCD12Q1) برای تمیز شهر و حومه طبیعی استفاده شد. داده‌های کاربری زمین مودیس دارای تفکیک مکانی ۵۰۰ متر هستند. در این فرآورده پوشش زمین در شانزده گروه رده‌بندی شده‌است؛ به طوری که مناطق شهری با کد ۱۳ مشخص شده‌اند (شکل ۱). برای تمیز شهر از حومه طبیعی، رویه‌های شهری به کمک نقشه کاربری زمین مودیس بر روی هر شهر جدا شد. سپس اختلاف بیشترین و کمترین طول و عرض جغرافیایی شهر به دست آمد و از هر طرف محدوده شهر به اندازه آن گسترش داده شد تا محدوده حومه طبیعی مشخص شود. سپس از کل پایگاه داده، محدوده انتخابی هر شهر برش داده شد. در گام بعد، می‌بایست از میان یاخته‌های حومه طبیعی، دمای نماینده حومه طبیعی را انتخاب کرد. بدین منظور از روش نوینی در این پژوهش استفاده شد؛ به طوری که در هر روز، دمایی که بیشترین تکرار را در میان همه یاخته‌های حومه طبیعی داشت، به عنوان دمای نماینده حومه طبیعی انتخاب شد.

دمای رویه زمین به دست آمده، دمای رویه زمین برای ساعت ۱۲ محلی به کمک رابطه (۴) و برای هر یاخته در هر روز محاسبه می‌شود؛ بدین صورت علاوه بر برداشت‌های ماهواره دمای نیمروز و نیمه‌شب نیز به دست می‌آید.

رابطه (۴)

$$LST(12) = lstad - SLP \times (tad - 12)$$

عین این عملیات برای داده‌های شب نیز انجام شد. پس از آنکه پایگاه داده بر روی ایران تشکیل شد، با استفاده از آخرین سرشماری ایران (۱۳۹۵) شهرهای بزرگ ایران انتخاب شد. در این پژوهش همه شهرهای با جمعیت بیشتر از ۵۰۰ هزار نفر انتخاب شدند که شامل ۱۷ شهر است. این شهرها به ترتیب جمعیت عبارت‌اند از: تهران، مشهد، اصفهان، کرج، شیراز، تبریز، قم، اهواز، کرمانشاه، ارومیه، رشت، زاهدان، همدان، کرمان، یزد، اردبیل و اراک. شهرهای تهران و کرج، خوشه کلان‌شهری تهران را تشکیل می‌دهند که به صورت یکجا مورد بررسی قرار گرفتند.



شکل ۲: محدوده شهر و حومه طبیعی خوشه شهری تهران-کرج بر اساس داده کاربری اراضی مودیس

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۹

در نهایت برای محاسبه شدت جزیره گرمایی-سرمایی رویه پایه، اختلاف دمای نماینده حومه طبیعی از دمای یاخته‌های درون شهر، از رابطه زیر به دست آمد.

رابطه (۵)

$$SUHI_i = LST_{ui} - LST_{nu}$$

در این رابطه، $SUHI_i$: شدت جزیره گرمایی-سرمایی روی پایه برای هر یاخته، LST_{ui} : دمای رویه زمین برای هر یاخته درون شهر و LST_{nu} : دمای رویه نماینده حومه طبیعی است. همچنین برای آنکه داده‌های دمای روزانه در روزهای مختلف با یکدیگر قابل قیاس باشند؛ دمای بهنجار شده رویه زمین برای همه یاخته‌های منطقه مورد مطالعه، با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (Haashemi et al, 2016:5).

رابطه (۶)

$$NLST_i = \frac{LST_i - LST_{min}}{LST_{max} - LST_{min}}$$

در این رابطه، $NLST_i$: دمای بهنجار شده رویه زمین برای هر یاخته، LST_i : دمای رویه زمین برای هر یاخته، LST_{min} : دمای کمینه و LST_{max} : دمای بیشینه در محدوده انتخابی است.

به دلیل آنکه در روزهای ابری امکان سنجش رویه زمین توسط سنجنده مودیس وجود ندارد و در بعضی از روزها در نتیجه ابرناکی، تعداد کمی از یاخته‌های درون شهر توسط سنجنده مودیس مورد سنجش قرار می‌گیرند و جزیره گرمایی-سرمایی رویه پایه شهر براساس تعداد یاخته‌های کم محاسبه می‌شود، از پالایه‌ای استفاده شد که جزیره گرمایی-سرمایی رویه پایه را تنها در روزهایی محاسبه می‌کند که حداقل ۴۰ درصد از یاخته‌های درون شهر توسط سنجنده مودیس سنجیده شده باشند. برای آنکه از دمای پس‌زمینه هر شهر شناخت کاملی داشته

باشیم، از شگرد دورسو استفاده کردیم. در این شگرد، نقطه‌ای در وسط شهر به‌عنوان مبنا در نظر گرفته شد و میانگین دمای رویه زمین در سمت جغرافیایی معین و فاصله مشخصی به‌دست آمد؛ بدین طریق میانگین دما در همه جهات جغرافیایی و با فاصله‌های مشخص از شهر به‌دست می‌آید. برای به‌دست آوردن پیوند جزیره گرمایی رویه پایه و ناحیه آب‌وهوایی نیز از طبقه‌بندی آب‌وهوایی حیدری و علیجانی استفاده شد (حیدری و علیجانی، ۱۳۷۸: ۷۲).

برای بررسی پیوند جزیره گرمایی-سرمایی رویه پایه با تندی باد و روزهای بارشی و برفی، از داده‌های ایستگاه‌های زمینی که از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد، استفاده شد. به دلیل اینکه وقوع بارش (باران یا برف) باعث تغییر در خصوصیات رویه زمین می‌شود؛ پیوند شدت جزیره گرمایی-سرمایی رویه پایه در زمان وقوع بارش شایسته بررسی است و همچنین به دلیل اینکه در زمان وقوع بارش به دلیل ابرناکی، سنجنده مودیس نمی‌تواند دمای رویه را برداشت کند و از طرفی در بارش‌های بیشتر از ۱۰ میلی‌متر تا یک یا دو روز بعد رطوبت رویه زمین مهیا است. بارش‌های بزرگ‌تر و مساوی ۱۰ میلی‌متر انتخاب شد و روزهای بارشی تا ۲ روز بعد از وقوع بارش، در نظر گرفته شد. برای بررسی پیوند شدت جزیره گرمایی-سرمایی رویه پایه و روزهای برفی نیز، روزهایی که در ایستگاه زمینی پوشش برف (کد 4EssS) بزرگ‌تر یا مساوی ۱ سانتی‌متر گزارش شده‌است، به‌عنوان روز برفی انتخاب شد.

بحث و نتایج

بررسی جزیره گرمایی-سرمایی رویه پایه شهرهای بزرگ ایران نشان می‌دهد که بسته به آب‌وهوای پس‌زمینه و تراکم شهر، شدت جزیره گرمایی-سرمایی رویه پایه متفاوت است. در طی روز بیشترین شدت جزیره سرمایی در شهرهای قم، تهران و یزد،

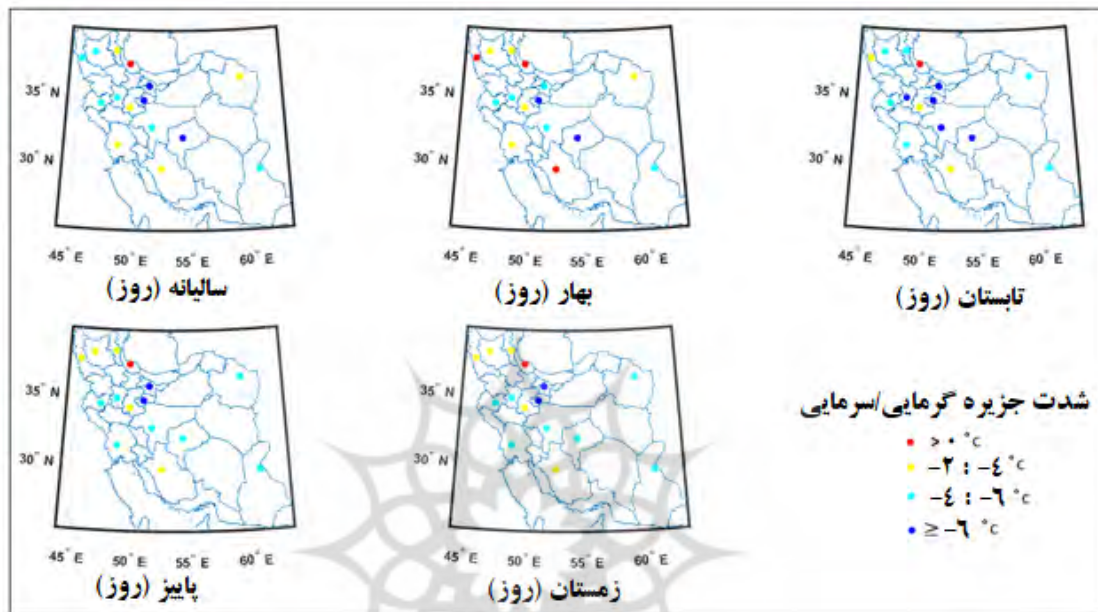
می‌گیرد؛ به طوری که هرچه به اواسط روز نزدیک‌تر می‌شویم؛ شدت جزیره‌ سرمای‌ روز هنگام شدیدتر می‌شود. در شهر رشت به دلیل اینکه رویه‌های پیرامون شهر را پوشش گیاهی تشکیل می‌دهد، افزایش شار گرمای نهان در پیرامون شهر نسبت به شهر بیشتر است و بر روی شهر جزیره‌ گرمایی رویه‌پایه تشکیل می‌شود. در بیشتر شهرها، هسته‌ جزیره‌ سرمای‌ در مناطق پرتراکم شهری قرار دارد. همچنین در شهرهایی که رویه‌های سبز گسترده‌ای دارند، همانند: اصفهان، شیراز و مشهد، کانون جزیره‌ سرمای‌ منطبق بر این مناطق شده‌است. در شهر اصفهان و اهواز به دلیل عبور رودخانه‌های زاینده‌رود و کارون و رویه‌های سبز اطراف رودخانه، هسته‌ جزیره‌ سرمای‌ در اطراف رودخانه شکل گرفته‌است. در فضاهای حاشیه‌ای شهرهای بزرگ ایران به دلیل تراکم کمتر ساختمان‌ها و همچنین وجود قطعه زمین‌های باز و افزایش شار گرمای محسوس، شدت جزیره‌ سرمای‌ نسبت به مناطق مرکزی و پرتراکم شهر کمتر است. در حقیقت جزیره‌ سرمای‌ روز هنگام در اثر افزایش شار گرمای محسوس رویه‌های حومه‌ طبیعی در نتیجه تابش خورشیدی و ظرفیت گرمایی کم این رویه‌ها و افزایش شار گرمای نهان رویه‌های شهری به دلیل تراکم ساختمان‌ها و وجود رویه‌های سبز شهری شکل می‌گیرد. در شهر اهواز که رویه‌های سبز در حومه‌ طبیعی و اطراف شهر زیاد است؛ با وجود اینکه در زیوم بیابانی گرم ساحلی قرار گرفته‌است؛ شدت جزیره‌ سرمای‌ نسبت به سایر شهرهای واقع در زیوم بیابانی و گرم کمتر است. شهر ارومیه نیز به سبب وجود رویه‌های سبز زیاد در اطراف شهر، جزیره‌ سرمای‌ ضعیفی دارد. بیشترین شدت جزیره‌ سرمای‌ در شهرهایی همانند: قم، تهران، یزد و اصفهان دیده می‌شود که در زیوم بیابانی قرار دارند و علاوه بر آن تراکم ساختمانی

به ترتیب با $۶/۱-، ۴/۸- و ۴/۱-$ درجه‌ سلسیوس شکل می‌گیرد (شکل ۳ و جدول ۳). شهر قم در زیوم بیابانی نیمه‌گرم داخلی و شهرهای تهران و یزد در زیوم بیابانی معتدل و بیابانی شدید و خیلی گرم قرار دارند. در شهر تهران گسترش زیاد رویه‌های ناتراوا نیز در شدت جزیره‌ سرمای‌ تأثیرگذار است؛ زیرا بخشی از تابش خورشیدی به گرمای نهان تبدیل می‌شود. شهر رشت به دلیل قرارگرفتن در زیوم مرطوب و معتدل خزری، تنها شهری است که در نیمروز جزیره‌ گرمایی رویه‌پایه دارد. مطالعات انجام‌گرفته در سایر نقاط جهان نیز نشان می‌دهد که در شهرهایی که در زیوم مرطوب قرار دارند و رویه‌های حومه‌ طبیعی را پوشش گیاهی تشکیل می‌دهد، جزیره‌ گرمایی تشکیل می‌شود. به طوری که شدت جزیره‌ گرمایی در آن دسته از شهرهای ایالات متحده که در دل زیمان جنگل‌های پهن‌برگ، جنگل‌های آمیخته و جنگل‌های سوزنی‌برگ معتدله جا گرفته‌اند بین ۷ تا ۹ درجه‌ سلسیوس است (Amhoff et al, 2010:509). همچنین مقدار جزیره‌ گرمایی در هنگ‌کنگ بین ۲ تا ۳/۵ درجه‌ سانتی‌گراد به دست آمد (Fung et al, 2009:781). شهرهای ارومیه و شیراز نیز کمترین جزیره‌ سرمای‌ را به ترتیب برابر با $۰/۳-$ و $۰/۷-$ درجه‌ سلسیوس دارند. شهرهای ارومیه و شیراز به ترتیب در زیوم نیمه‌خشک سرد و نیمه‌کوهستانی گرم قرار دارند (جدول ۳).

با طلوع خورشید به دلیل افزایش شار گرمای محسوس در حومه‌ طبیعی، به سبب وجود رویه‌های لخت به خصوص شهرهای واقع در زیوم گرم و خشک و همچنین افزایش شار گرمای نهان در شهر به سبب وجود رویه‌های پرتراکم شهری و همچنین وجود فضاهای سبز شهری، بر روی همه‌ شهرهای بزرگ ایران (غیر از شهر رشت) جزیره‌ سرمای‌ شکل

در بیشتر روزها در این شهر جزیره سرمایه تشکیل می‌شود؛ به طوری که در ۹۸ درصد موارد در این شهر جزیره سرمایه تشکیل می‌شود.

بالایی نیز دارند. شهر کرمان با وجود آنکه در زیبوم بیابانی شدید و خیلی گرم قرار دارد، به دلیل آنکه تراکم ساختمانی کمی دارد؛ جزیره سرمایه شدیدی مانند سایر شهرهای واقع در زیبوم بیابانی ندارد؛ اما

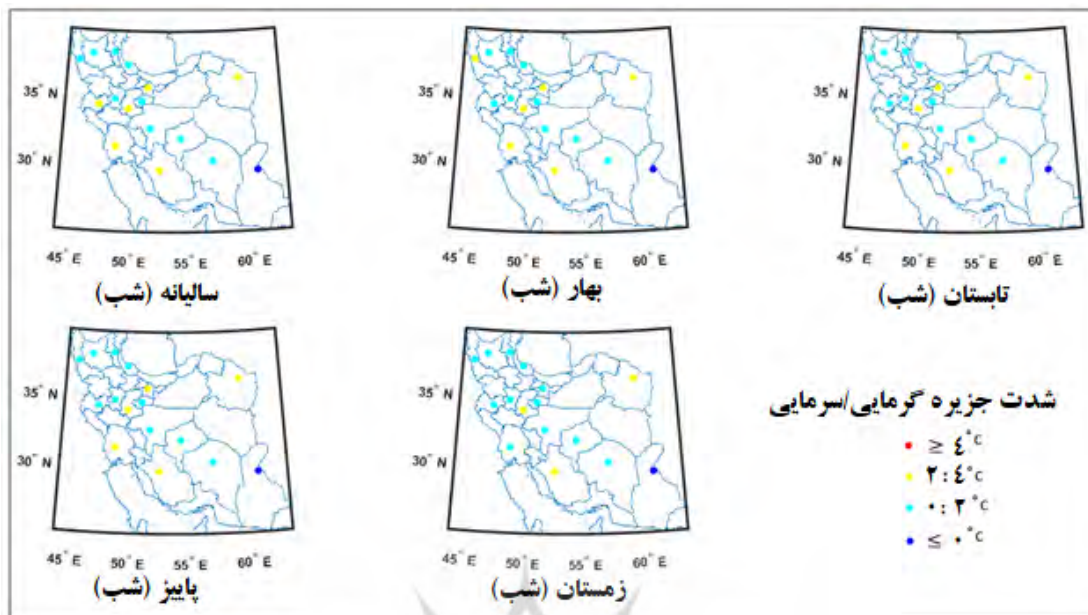


شکل ۳: شدت جزیره سرمایه - گرمایی رویه پایه روز هنگام سالانه و فصلی در زیبومهای مختلف

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۹

نیز جزیره گرمایی رویه پایه ضعیفی دارند. در میان شهرهای واقع در زیبوم بیابانی، شهرهایی مثل تهران و اصفهان که در زیر ناحیه بیابانی معتدل قرار دارند و شهر اهواز که در زیر ناحیه بیابانی گرم ساحلی قرار دارد؛ شدت جزیره گرمایی رویه پایه نسبت به سایر شهرهای واقع در زیبوم بیابانی و خیلی گرم بیشتر است. نتایج به دست آمده از مطالعات انجام گرفته نیز نشان می‌دهد که نمایه جزیره گرمایی اکثر شهرهای بزرگ در هنگام شب بین صفر تا دو درجه سلسیوس است و مکزیکوسیتی با نمایه ۳/۴ درجه سلسیوس صدرنشین است (Peng et al, 2011: 698).

در شب، غیر از شهر زاهدان که جزیره سرمایه ضعیفی دارد، بر روی سایر شهرها جزیره گرمایی رویه پایه بین ۰/۵ تا ۳ درجه سلسیوس تشکیل می‌شود. هر چند در مناطق مرکزی شهر زاهدان جزایر گرمایی رویه پایه ضعیفی وجود دارد؛ اما در مناطق حاشیه‌ای شهر به دلیل تراکم کم ساختمان‌ها و واقع شدن در ناحیه آب‌وهوایی بیابانی، جزیره سرمایه تشکیل می‌شود. شدیدترین جزیره گرمایی رویه پایه شبانه در شهرهای اراک و شیراز در زیبوم کوهستانی سرد و نیمه کوهستانی گرم و شهر مشهد در زیبوم نیمه خشک سرد تشکیل می‌شود (شکل ۴ و جدول ۳). شهرهای واقع در زیبوم بیابانی، مانند: زاهدان، یزد، قم و کرمان



شکل ۴: شدت جزیره گرمایی-گرمایی رویه پایة شب هنگام سالانه و فصلی در زیبومهای مختلف

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۹

گرمایی رویه پایة شهرهای بزرگ ایران بود؛ به طوری که در شهرهایی که در روز هنگام شاهد تشکیل جزیره گرمایی رویه پایه بودیم، دمای رویه شهر نسبت به حومه طبیعی کمتر بود. به عبارتی در این شهرها ویژگی های رویه زمین در شهر و حومه طبیعی باعث شده است که انرژی تابشی در حومه طبیعی به گرمای محسوس تبدیل شود و در شهر بخشی از انرژی دریافتی به گرمای نهان تبدیل می شود و شهر همانند یک واحه، دمای کمتری نسبت به حومه طبیعی دارد. در شب هنگام نیز از یک سو به دلیل گرمای انسان ساخت و به دام افتادن گرما در میان ساختمان ها در درون شهر و از سوی دیگر به دلیل ازدست رفتن سریع دمای رویه های حومه طبیعی، در بیشتر شهرها، جزیره گرمایی رویه پایة شبانه بر روی شهر تشکیل می شود. همچنین بررسی توزیع فراوانی دمای شهرهای مورد مطالعه در روز و شب، همسویی کامل با نتایج حاصل از بررسی شدت جزیره گرمایی رویه پایه و دمای نرمال شده شهر نشان داد.

در همه شهرها بین مناطق پرتراکم و شلوغ شهر و حاشیة شهر، شیب دمایی تندی وجود دارد. می توان گفت که در شب هنگام، دو نوع جزیره گرمایی رویه پایه بر روی شهرهای بزرگ ایران دیده می شود. ۱- جزیره گرمایی کانونی که در مناطق شلوغ و پرتراکم شهر تشکیل می شود و هسته جزیره گرمایی را تشکیل می دهد. ۲- جزیره گرمایی ضعیف حاشیه ای که در مناطق کم تراکم و حاشیة شهر تشکیل می شود که منطبق بر مناطق کم تراکم شهر با قطعه زمین های باز و حتی در بعضی شهرها مانند اصفهان، شیراز و مشهد منطبق بر فضاهای سبز گسترده درون شهر است. نتایج مطالعات انجام گرفته بر روی جزیره گرمایی رویه پایة تعدادی از شهرهای بزرگ ایران نیز نتایج مشابهی را نشان می دهد. از جمله تحقیقات (کارکن سیستمی و دوستان، ۱۳۹۴: ۱۲۳، رضانی و دخت محمد، ۱۳۸۹: ۱۱۱؛ احمدی و داداشی رودباری، ۱۳۹۶: ۱؛ هاشمی دره بادامی و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۱۳).

توزیع فراوانی دمای رویه زمین در شهر و حومه طبیعی همسو با نتایج به دست آمده از بررسی جزیره

می‌افتد. در فصل زمستان وقوع بارش سبب کاهش شدت جزیره گرمایی می‌شود. همچنین در زمان گذر شبانه مودیس آکوا شدت جزیره گرمایی نسبت به گذر مودیس ترا بیشتر است. در زمان گذر مودیس ترا، رویه‌های حومه طبیعی، گرمای خود را کمتر از دست داده‌اند و در زمان مودیس آکوا که نزدیک به نیمه شب است، رویه‌های حومه طبیعی گرمای بیشتری از دست می‌دهند.

جدول ۲ شدت جزیره گرمایی - سرمای رویه پایه را براساس نوع پوشش رویه زمین نشان می‌دهد. در روزها بیشترین شدت جزیره سرمای در شهرهایی اتفاق افتاده است که پوشش رویه زمین حومه طبیعی را خاک لخت تشکیل می‌دهد و پس از آن رویه‌های علفزار و بوته‌زار قرار دارند. در شهرهایی که پوشش رویه زمین حومه طبیعی را کشتزار تشکیل می‌دهد، به دلیل سرمای ناشی از تبخیر و تعرق گیاهی، جزیره گرمایی نیرومندی بر روی شهر تشکیل می‌شود. در شب شدیدترین جزیره گرمایی بر روی شهرهایی تشکیل می‌شود که پوشش رویه زمین حومه طبیعی را بوته‌زار تشکیل می‌دهد و کمترین مقدار در پوشش رویه زمین کشتزار و خاک لخت دیده می‌شود.

تغییرات فصلی جزیره گرمایی - سرمای رویه پایه شهرهای بزرگ ایران نشان می‌دهد که وردش فصلی جزیره سرمای روزها نسبت به جزیره گرمایی شبانه بیشتر است. در بیشتر شهرها، شدیدترین جزیره سرمای روزها در فصل تابستان تشکیل می‌شود. در این فصل که گرم‌ترین و خشک‌ترین فصل سال است، به دلیل افزایش شار گرمای محسوس در حومه طبیعی و همچنین افزایش شار گرمای نهان در شهر، اختلاف دمای شهر و حومه طبیعی، نسبت به سایر فصلها بیشتر می‌شود. ضعیف‌ترین جزیره سرمای روزها نیز در بیشتر شهرها در فصل زمستان اتفاق می‌افتد. در این فصل که فصل بارشی ایران است، به دلیل افزایش رطوبت خاک، شار گرمای نهان در حومه طبیعی افزایش می‌یابد و اختلاف دمای شهر و حومه طبیعی به کمترین مقدار خود می‌رسد. همچنین بین گذر روزها ماهواره‌های آکوا و ترا اختلاف معنی‌داری دیده نمی‌شود. در شبها نیز با وجود اینکه وردش فصلی جزیره گرمایی رویه پایه کم است و اختلاف زیادی بین جزیره گرمایی فصلهای مختلف سال وجود ندارد؛ اما کمترین مقدار جزیره گرمایی در بیشتر شهرها در فصل زمستان اتفاق

جدول ۲: شدت جزیره گرمایی - سرمای رویه پایه سالانه و فصلی در رویه‌های مختلف حومه طبیعی

نوع پوشش رویه زمین حومه طبیعی	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	میانگین سالانه
روز	بوته‌زار	-۰/۸	-۲/۳	-۲	-۰/۳
	خاک لخت	-۴/۲	-۳/۴	-۳/۸	-۲/۹
	علفزار	-۱/۳	-۳/۱	-۲/۲	-۱/۲
	کشتزار	۳/۶	۴/۹	۱/۶	۱/۲
شب	بوته‌زار	۲/۷	۲/۸	۲/۷	۲/۲
	خاک لخت	۰/۸	۱	۱/۲	۰/۹
	علفزار	۲	۱/۹	۱/۸	۱/۵
	کشتزار	۰/۲	۱/۱	۰/۷	۰/۶

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۹

جزیره گرمایی شهر کاسته می‌شود و اختلاف دمای شهر و حومه طبیعی نسبت به روزهای غیربارشی کمتر می‌شود (جدول ۳). پیوند بین روزهای با پوشش برف و جزیره گرمایی-سرمایی رویه پایه نشان می‌دهد که به سبب سپیدایی زیاد برف، در تمامی شهرهایی که در روز هنگام جزیره سرمایی حاکم است؛ از شدت جزیره سرمایی کاسته می‌شود و جزیره گرمایی با شدت ۰/۰۶ تا ۱/۶ درجه سلسیوس تشکیل می‌شود. در طی شب نیز در بیشتر شهرها، در زمان‌هایی که پوشش برف بر روی زمین وجود دارد، از شدت جزیره گرمایی کاسته می‌شود و تنها در شهرهای تبریز و اردبیل شدت جزیره گرمایی کمی افزایش می‌یابد (جدول ۳).

پیوند بین روزهای بارشی و جزیره گرمایی-سرمایی رویه پایه در زمان وقوع بارش نشان می‌دهد که در بیشتر شهرها در زمان وقوع بارش که زمین مرطوب است، از شدت جزیره سرمایی روز هنگام بین ۰/۵ تا ۳/۸ کاسته می‌شود. به دلیل اینکه رویه‌های حومه طبیعی رطوبت خود را نسبت به رویه‌های ناتراوا دیرتر از دست می‌دهند و همچنین به دلیل ظرفیت گرمایی زیاد آب، در طی روزهای بارشی، انرژی دریافت شده توسط رویه‌های حومه طبیعی، به گرمای نهان تبدیل می‌شود و تفاوت دمای شهر و حومه طبیعی کمتر می‌شود. در طول شب نیز به دلیل اینکه گرمای انباشته رویه‌های حومه طبیعی آزاد می‌شود؛ از شدت

جدول ۳: پیوند بین شدت جزیره گرمایی-سرمایی رویه پایه و روزهای بارشی و برفی

میانگین جزیره گرمایی با تندی باد بیشتر از ۶ متر بر ثانیه	میانگین جزیره گرمایی شب هنگام در شب‌های برفی	میانگین جزیره گرمایی شب هنگام در شب‌های بارشی	میانگین جزیره گرمایی شب هنگام	میانگین جزیره سرمایی با تندی باد بیشتر از ۶ متر بر ثانیه	میانگین جزیره گرمایی روز هنگام در روزهای برفی	میانگین جزیره سرمایی روز هنگام در روزهای بارشی	میانگین جزیره سرمایی روز هنگام	شهرهای بزرگ
۱	۱/۵	۰/۳	۲/۳	-۳/۴	۱	-۱/۲	-۴/۸	تهران
۰/۸	۱/۲	۱/۳	۲/۷	-۲/۳	۱/۶	-۰/۴	-۲	مشهد
۱/۸	۱/۴	۱	۱/۸	-۳/۲	۰/۴	-۱/۴	-۳/۸	اصفهان
۲/۶	-	۰/۹	۳	-۰/۷	-	۰/۸	-۰/۷	شیراز
۰/۷	۱/۸	۰/۴	۱/۴	-۲/۴	۱	-۰/۷	-۲/۲	تبریز
۰/۷	-	۰	۱/۳	-۶/۱	-	-۳/۷	-۶/۱	قم
۲	-	۰/۲	۲/۲	-۱/۳	-	-۰/۳	-۱/۸	اهواز
۱/۹	۱	۰/۸	۲/۱	-۱/۶	۰/۸	-۰/۳	-۱/۹	کرمانشاه
۱/۶	۰/۶	۰/۴	۱/۸	-۱/۳	۰	-۰/۲	-۳	ارومیه
۰	-	۰/۲	۰/۸	۱/۵	۰	۱/۲	۳	رشت
-۰/۷	-	-۰/۸	-۰/۳	-۳	۰	-۲/۶	-۳/۲	زاهدان
۰/۶	۰/۲	۰/۱	۰/۷	-۲/۹	۰	۰/۹	-۳/۱	همدان
۰/۹	-	-۰/۲	۱/۴	-۲/۶	-	-۱/۸	-۲,۲	کرمان
۰	-	-۱/۹	۰/۵	-۴	-	-۲	-۴/۱	یزد
۰/۹	۱/۵	۰/۹	۱/۸	-۱/۱	۱/۶	۰/۱	-۱/۷	اردبیل
۲/۳	۱/۳	۰/۲	۳	-۰/۹	۰/۸	-۰/۲	-۱/۴	اراک

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۹

حومه طبیعی در شکل‌گیری و شدت جزیره گرمایی - سرمای شهری بزرگ ایران نقش بسزایی دارند. عوامل زیر در شکل‌گیری جزیره گرمایی - سرمای شهری بزرگ ایران نقش دارند. در روز هنگام به سبب تابش خورشیدی و وجود رویه‌هایی با ظرفیت گرمایی پایین به خصوص در مناطق خشک، شار گرمای محسوس در حومه طبیعی افزایش می‌یابد و از سوی دیگر در درون شهر وجود رویه‌هایی با سپیدایی زیاد و سایه‌اندازی ساختمان‌ها باعث کاهش شار گرمای محسوس و همچنین وجود فضاهای سبز شهری باعث افزایش شار گرمای نهان می‌شود و جزیره سرمای بر روی شهر تشکیل می‌شود. در شب، وضعیت فوق معکوس می‌شود و شار گرمای محسوس در حومه طبیعی کاهش می‌یابد و جزیره گرمایی بر روی بیشتر شهرها تشکیل می‌شود.

منابع

- احمدی، محمود؛ عباسعلی داداشی رودباری (۱۳۹۶). شناسایی جزایر حرارتی شهری مبتنی بر رویکرد یست‌محیطی (مطالعه موردی: کلان‌شهر اصفهان) جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دوره ۲۸، شماره ۶۷. صفحات ۲۰-۱.
- https://gep.ui.ac.ir/article_22302.html
- حیدری، حسن؛ بهلول علیجانی (۱۳۷۸). طبقه‌بندی اقلیمی ایران با استفاده از تکنیک‌های آماری چندمتغیره، پژوهش‌های جغرافیایی. شماره ۳۷. صفحات ۷۴-۵۷.
- https://journals.ut.ac.ir/article_17201.html
- هاشمی‌دره‌بادامی، سیروس؛ سیدکاظم علوی‌پناه؛ محمدملکی؛ رضا بیات (۱۳۹۸). تحلیل تغییرات جزیره حرارتی سطوح شهری در روز و شب با استفاده از محصولات چندزمانه سنجنده مودیس (مطالعه موردی: کلان‌شهر تهران)، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. دوره ۱۹، شماره ۵۲. صفحات ۱۲۸-۱۱۳.
- <https://jgs.khu.ac.ir/article-1-2745-fa.html&sw>

پیوند میان شدت جزیره گرمایی - سرمای رویه پایه و سرعت وزش باد نشان می‌دهد که میان سرعت وزش باد و شدت جزیره گرمایی شبانه پیوند نیرومندتری نسبت به جزیره سرمای روزانه وجود دارد. در طول روز به دلیل اینکه دمای رویه حومه طبیعی از دو عامل تابش خورشیدی و ویژگی‌های رویه زمین اثر می‌پذیرد و یکی از عوامل تشکیل جزیره سرمای روز هنگام شار گرمای محسوس در حومه طبیعی است، وزش باد به خصوص بادهای با سرعت‌های کم در بعضی از شهرها مانند: تهران، اصفهان، تبریز، قم، ارومیه، کرمان و یزد توانایی کاهش شدت جزیره سرمای را ندارد؛ اما در طول شب به دلیل اینکه گرمای انسان‌ساخت درون شهر و به دام افتادن گرما در میان ساختمان‌ها در شکل‌گیری جزیره گرمایی شبانه نقش دارند، وزش باد می‌تواند سبب کاهش جزیره گرمایی شود (جدول ۳).

نتیجه

شهرهای بزرگ ایران طی چند دهه گذشته رشد شتابناکی داشته‌اند؛ از سوی دیگر رشد کالبدی شهرهای بزرگ ایران موجب تغییراتی در کاربری اطراف شهر به ویژه تغییر کاربری کشاورزی به کاربری مسکونی و صنعتی شده است. همچنین نوع مصالح استفاده شده در ساخت و سازهای شهری، احداث مناطق سبز درون شهری و گرمای انسان‌ساخت ناشی از فعالیت‌های انسانی موجب تغییر بسیار محسوس وضعیت گرمایی شهر و حومه طبیعی شهر شده است که در نتیجه توزیع زمانی-مکانی دمای سطح زمین دچار تغییر شده است. بسیاری از شهرهای بزرگ ایران در مناطق آب‌وهوایی گرم و خشک قرار گرفته‌اند و نتایج بسیاری از تحقیقات نیز نشان می‌دهد که شهرهای واقع شده در مناطق بیابانی در روز هنگام همچون واحه عمل کرده و دمای کمتری نسبت به حومه طبیعی خود دارند و درحقیقت در روز بر روی این شهرها جزیره سرمای تشکیل می‌شود. می‌توان گفت که تابش خورشیدی و نوع رویه‌های شهر و

- Anniballe, R., Bonafoni, S., & Pichierri, M. (2014). Spatial and temporal trends of the surface and air heat island over Milan using MODIS data. *Remote Sensing of Environment*, 150, 163-171.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S003442571400193X>
- Cheval, S., & Dumitrescu, A. (2009). The July urban heat island of Bucharest as derived from MODIS images. *Theoretical & Applied Climatology*, 96(1-2), 145-153.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-008-0019-3>
- Friedl, M, Sulla-Menashe, D (2015). MCD12Q1 MODIS/Terra+Aqua Land Cover Type Yearly L3 Global 500m SIN Grid V006 [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC.
[doi: 10.5067/MODIS/MCD12Q1.006](https://doi.org/10.5067/MODIS/MCD12Q1.006)
<https://adsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/missions-and-measurements/products/MCD12Q1/>
- Fung W, Lam K, Nichol J, Wong MS. (2009). Derivation of nighttime urban air temperatures using a satellite thermal image. *Journal of Applied Meteorology & Climatology*. 48(4): 863-872.
<https://journals.ametsoc.org/view/journals/apme/48/4/2008jamc2001.1.xml>
- Grimm, N. B., Faeth, S. H., Golubiewski, N. E., Redman, C. L., Wu, J., Bai, X., & Briggs, J. M. (2008). Global change and the ecology of cities. *Science*, 319(5864), 756-760.
<https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.1150195>
- Haashemi, S., Weng, Q., Darvishi, A., and Alavipanah, S.K. (2016). Seasonal Variations of the Surface Urban Heat Island in a Semi-Arid City. *Remote Sensing* 8, 352.
<https://www.mdpi.com/2072-4292/8/4/352>
- Hafner, J. and Kidder, S.Q. (1999). Urban heat island modeling in conjunction with satellite-derived surface/soil parameters. *Journal of applied meteorology* 38, 448-465.
https://journals.ametsoc.org/view/journals/apme/38/4/1520-0450_1999_038_0448_uhimic_2.0.co_2.xml
- Imhoff, M.L. Zhang, P. Wolfe, R.E. and Bounoua, L. (2010). Remote sensing of the urban heat island effect across biomes in the continental USA. *Remote Sensing of Environment* 114, 504-513.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425709003174>
- کارکن سیستانی، مرضیه؛ رضا دوستان (۱۳۹۴). جزیره گرمایی کلان شهر مشهد، جغرافیا و توسعه فضای شهری. دوره ۲، شماره ۳، صفحات ۱۳۸-۱۲۳.
https://jgusd.um.ac.ir/article_25327.html
- مجرد، فیروز؛ مهتاب ناصریه؛ سیروس هاشمی (۱۳۹۷). بررسی تغییرات دوره‌ای و فصلی جزیره گرمایی شهر کرمانشاه در شب و روز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، فیزیک زمین و فضا. دوره ۴۴، شماره ۲، صفحات ۴۹۴-۴۷۹.
https://jesphys.ut.ac.ir/article_65886.html
- مرادی، مسعود؛ برومند صلاحی؛ سیدابوالفضل مسعودیان (۱۳۹۵). پهنه‌بندی دمای رویه زمین ایران با داده‌های مودیس، مخاطرات محیط طبیعی. دوره ۵، شماره ۷، صفحات ۱۱۶-۱۰۱.
https://jneh.usb.ac.ir/article_2657.html
- مرکز ملی آمار ایران (۱۳۹۶). سالنامه آماری ایران (۱۳۹۵). Available online at
<https://www.amar.org.ir>
- موسوی بایگی، محمد؛ بتول اشرف؛ علیرضا فریدحسینی؛ آمنه میان‌آبادی (۱۳۹۱). بررسی جزیره حرارتی شهر مشهد با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نظریه فرکتال، جغرافیا و مخاطرات محیط طبیعی. دوره ۱، شماره ۱، صفحات ۴۸-۳۵.
https://geoeh.um.ac.ir/article_25372.html
- نیلیه بروجنی، مرضیه؛ مژگان احمدی دوشن (۱۳۹۸). بررسی رابطه پوشش گیاهی شهری و درجه حرارت سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و شاخص LST در شهر اصفهان، فصلنامه علوم محیطی. دوره ۱۷، شماره ۴، صفحات ۱۷۸-۱۶۳.
https://envs.sbu.ac.ir/article_98105.html
- رضانی، بهمن؛ سیدمریم دخت محمد (۱۳۸۹). شناخت محدوده مکانی تشکیل جزیره گرمایی در شهر رشت، فصلنامه برنامه ریزی شهری. دوره ۱، شماره ۱، صفحات ۱۲۵-۱۱۱.
http://jupm.miau.ac.ir/article_1574.html

- Wang, K., Wang, J., Wang, P., Sparrow, M., Yang, J., & Chen, H. (2007). Influences of urbanization on surface characteristics as derived from the Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer: A case study for the Beijing metropolitan area. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 112(D22). <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2006JD007997>
- Wang, W., Liu, K., Tang, R., & Wang, S. (2019). Remote sensing image-based analysis of the urban heat island effect in Shenzhen, China. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 110, 168-175. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474706518302249>
- Yuan, F., and Bauer, M.E.(2007). Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. *Remote Sensing of environment* 106, 375-386. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425706003191>
- Zhang P, Imhoff ML, Wolfe RE, Bounoua L. (2010). Characterizing urban heat islands of global settlements using MODIS and nighttime lights products. *Canadian Journal of Remote Sensing*. 36(3):185-196. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.5589/m10-039>
- Zhou, D. Zhao, S. Zhang, L. Sun, G. and Liu, Y (2015). The footprint of urban heat island effect in China. *Scientific reports* 5, 11160. <https://www.nature.com/articles/srep11160>
- Jin, M., Dickinson, R. E., & Zhang, D. A. (2005). The footprint of urban areas on global climate as characterized by MODIS. *Journal of climate*, 18(10), 1551-1565. <https://journals.ametsoc.org/view/journals/cli/18/10/jcli3334.1.xml>
- Kataoka, K., Matsumoto, F., Ichinose, T., Taniguchi, M (2009). Urban warming trends in several large Asian cities over the last 100 years. *Sci. Total Environ.* 407 (9),3112e3119. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969708009558>
- Martinelli, A., Kolokotsa, D. D., & Fiorito, F (2020). Urban Heat Island in Mediterranean Coastal Cities: The Case of Bari (Italy). *Climate*, 8(6), 79. <https://www.mdpi.com/2225-1154/8/6/79>
- Peng, S., Piao, S., Ciais, P., Friedlingstein, P., Otle, OC., Bréon, F. M., & Myneni, R. B (2011). Surface urban heat island across 419 global big cities. *Environmental science & technology*, 46(2), 696-703. <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es2030438>
- Rasul, A., Balzter, H., & Smith, C. (2015). Spatial variation of the daytime Surface Urban Cool Island during the dry season in Erbil, Iraqi Kurdistan, from Landsat 8. *Urban climate*, 14, 176-186. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212095515300237>
- Rizwan, A. M. Dennis, L. Y. and Chunho, L. (2008). A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *Journal of Environmental Sciences* 20, 120-128. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1001074208600194>
- Schwarz, N., Lautenbach, S., & Seppelt, R. (2011). Exploring indicators for quantifying surface urban heat islands of European cities with MODIS landsurface temperatures. *Remote Sensing of Environment*, 115(12),3175-3186. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425711002471>