

An Analysis of Frequency Distribution of LST in Iran

Dr. Seyed Abolfazl Masoodian¹

1- Professor of Water and Meteorology, University of Isfahan



Masoodian, A (2020). [An Analysis of Frequency Distribution of LST in Iran]. *Geography and Development*, 18 (60), 21-30, <http://dx.doi.org/10.22111/GDIJ.2020.5639>

doi: <http://dx.doi.org/10.22111/GDIJ.2020.5639>

Received: 29/08/2019

Accepted: 12/10/2019

Keywords:

MODIS LST,
Frequency signature,
Land features,
Environmental
changes, Iran.

ABSTRACT

Any land feature (lake, sand dune, playa, forest, ...) has its own thermal properties (specific heat and thermal conductivity). So, different land features show different frequency distribution of LST. On the other hand, environmental changes affect the LST. As a result, the frequency distribution of LST over a given area may change by deforestation, desertification, drying of lakes, and disappearing of snowcaps. The high spatial and temporal resolution of MODIS LST data makes it possible to investigate the changes in the frequency distribution of LST. Using 15 years of LST data shows that the frequency distribution of LST in Iran depend on altitude, atmospheric moisture, snowcaps, surface and subsurface water respectively. Different land features such as lakes, river systems, deserts, playas, sand dunes, forest, and urban areas possess their LST frequency signature. Consequently, LST frequency distribution may be used as a powerful tool to delineate such land features. At the same time, some environmental changes like drying of lakes, deforestation and land use changes may be detected and tracked using frequency analysis of LST.

Copyright©2020, 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

The scientific community climate is typically characterized in terms of suitable averages of the climate system over periods of a month or more, taking into consideration the variability in time of these averaged quantities (American Meteorological

Society 2018). Climate change studies has extensively used trend analysis approach to show how these averages change by time.

Satellite remote sensing has facilitated environmental studies in areas with no or sparse ground-based observations. Land Surface Temperature (*LST*) is an important factor controlling many other parameters of the Earth system (Liu et al., 2006). On the other hand, changes in land cover may affect frequency distribution of LST. So, urbanization, desertification, deforestation, and shrinkage of lakes may be detected via analyzing the changes in the frequency distribution of *LST*. Likewise, for land features that have their own frequency distribution of LST,

***Corresponding Author:**

Dr. Seyed Abolfazl Masoodian

Address: Department of Water and Meteorology,
University of Isfahan

Tel: +98(311-7933133)

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

frequency analysis may be used as a tool for delineation of the features like sand dunes, salt lakes, lakes, woodlands, and metropolises.

Many environmental issues have been investigated using LST. The urban heat islands (Imhoff et al., 2010, Wang & Li, 2016, Zhou et al., 2016), air temperature estimation (Benali et al., 2012, Colombi et al., 2007, Mostovoy et al., 2005), land surface temperature in mountainous regions (Neteler, 2010), forest fire risk assessment (Guangmeng & Mei, 2004), temporal and spatial prediction of temperature (Hengl et al., 2012, Langer et al., 2010, Westermann et al., 2011), agricultural drought monitoring (Son et al., 2012), and analysis of extremes (Mildrexler et al., 2011) are among such researches. However, LST frequency analysis i.e. the study of changes in the frequency distribution of land surface temperature has been overlooked. LST frequency changes may be used as a powerful tool to detect environmental changes as well as identifying the boundaries of various land features. Nevertheless, any change in LST distribution may be attributed to a wide variety of environmental changes. So we need to understand what specific environmental change, is related to what changes in LST frequency distribution. In other words, comparison of the frequency distribution of LST in a given location at two different times not only reveals environmental changes but also shows which classes of temperatures have undergone more changes. At the same time, comparing the distribution of the frequency of LST of two different locations over a given period of time can open up a new window to the researchers and poses the question of whether any particular geographical phenomenon such as forests, woodlands, sand dunes, deserts, cities, etc., has a given frequency pattern (frequency signature). Frequency signature may be defined as a pattern of percentage frequency of a given variable (e.g. LST) which is statistically attributable to a given land feature.

Regionalization and climate change studies are the two major fields that dominated by statistics like mean and standard deviation.

Iran is located in the subtropical dry zone. Meanwhile, the climate of Iran is remarkably complex mainly due to elevated and elongated Zagros, Alborz

and Markazi mountains. For instance, long-term daily mean temperature difference between the hottest and the coldest stations is up to 22° C. Despite the fact that the southern coasts of the country have never experienced snowfall at least during the last six decades, in Alamkooch-Alborz, land is covered with snow over 150 days annually (Keikhosravi Kiany & Masoodian, 2017b). Mean annual precipitation in Bam-south of Lut sand dune is less than 60 mm/year, and over 1730 mm/year in Anzali- Southwest of Caspian Sea coast and 1360 mm/year in Koohrang-Central Zagros. On the other hand, as Iran is experiencing a strong increasing temperature trend by a factor of 2°C/100years (Masoodian, 2005) it is losing its capability to supply enough water for a country that during the last six decades its population has been quadrupled.

2-Methods and Materials

This study is based on MODIS A1 (collection 6) LST product (MYD11A1) obtained by the satellite Aqua at the study area. The data are obtained from the National Aeronautics and Space Administration Land Processes Distributed Active Archive Center (Wan, 2008). Observation period covers 5480 successive days (15 years) from 4 July 2002 to 4 July 2017. In order to evaluate the effect of elevation on LST, we use the additional MODIS DEM_SN_A product. Among all data only pixels within Iran mainland border selected to evaluate. So, selected spatial-temporal data are two 1884077×5480 matrices, LST_{ij} , for day and night in which i counts pixels and j counts days. During the study period, LST\Aqua night varies between -50°C to 57°C and LST\Aqua day varies between -46°C to 80°C. Hence, 127 and 107 LST classes with interval of 1°C considered for the day (CLST= [-46:1:80]) and the night (CLST= [-50:1:57]) respectively. For every single pixel frequency of LST\day and LST\night is counted separately using the following formula:

$$F_{ik} = \sum_{j=1}^z 1_{LST_{ij} \in CLST_k}$$

Where F_{ik} is the frequency of LST over ith pixel in kth LST class, LST_{ij} is Land surface Temperature in ith pixel ($i=1 \dots n$) in jth time ($j=1 \dots z$), and $CLST_k$ is

LST classes ($k=1\dots m$) and $CLST=[-46:1:80]$ for day and $CLST=[-50:1:57]$ for night. In this way, we have two frequency matrices for the day ($F_{1884077 \times 127}$) and night ($F_{1884077 \times 107}$). Day and night frequency matrices converted to percentage frequency matrices using the following formula:

$$PF_{ik} = \frac{F_{ik}}{SF_i} \times 100 \quad SF_i = \sum_{k=1}^m F_{ik}$$

Where PF_{ik} is percentage frequency of LST over the i th pixel in k th LST class, SF_i is the total sum of observations over i th pixel ($i=1\dots n$) in all LST classes.

As a matter of fact, PF_{ik} contains histogram of LST for every single pixel over mainland Iran. As Iran is climatically diverse, different patterns of the frequency distribution of LST may be recognized in the country. Principal Component Analysis (PCA) is a powerful mapping technique to extract such major patterns from original variables. In fact, PCA is a linear transformation of original data (PF) to principal components (S) as follow $S = (PF - O \times \overline{PF}) \times E$

Where $S_{1884077 \times 234}$ is the principal component, $PF_{1884077 \times 234}$ is percentage frequency of LST, $O_{1884077 \times 1}$ is a vector of ones, $\overline{PF}_{1 \times 234}$ is mean of $PF_{1884077 \times 234}$, and $E_{234 \times 234}$ is coefficient (eigenvector or mapping) matrix. As $E \times \hat{E} = I$ then $S \times \hat{E}$ gives deviation from the mean ($PF - O \times \overline{PF}$).

3-Results and Discussion

Temperature plays a key role in climatic regionalization of Iran (Masoodian, 2011). Therefore, recognizing the major patterns of the frequency distribution of LST helps to understand the structure of Iran's climate zones. Iran is a mountainous country with a diverse climate. At the same time, the density of weather stations is low and the distribution of stations is uneven. Hence, fine resolution satellite data reveals some details about the climatic regions of the country that are unattainable with station data.

Applying PCA on percentage frequency of LST (PF) shows that about 75 percent of total variance may be explained by four leading components. These four components reveal some of the most important climatic and geographical features of Iran.

PCA1-Climatic component: This component mainly reflects the effect of the factors like topography, inland water bodies, and river systems on land surface temperature. It describes 43.6 percent of the total variance of LST frequency distribution. Spatial structure of PC1 largely resembles the main mountain ranges of the country.

PC2 - Diurnal component: It divides warm Iran into two different parts. Central Iran is warm during day time and southern coasts are warmer during night.

PCA3 - Snowcap component: A very tiny part of Iran has capability to preserve snow cover for a few months. This component represents snow caps of the country.

PC4 -Surface and subsurface water. This component is sensitive to water content of the surface. So it reveals different land features like Zagros woodland, lakes, playas, and urban areas.

4-Conclusion

Any land feature (lake, sand dune, playa, forest,...) has its own thermal properties (specific heat and thermal conductivity). So, different land features show different frequency distribution of LST. On the other hand, environmental changes affect the LST. As a result, the frequency distribution of LST over a given area may change by deforestation, desertification, drying of lakes, and disappearing of snowcaps. The high spatial and temporal resolution of MODIS LST data makes it possible to investigate the changes in the frequency distribution of LST. Using 15 years of LST data shows that the frequency distribution of LST in Iran depend on altitude, atmospheric moisture, snowcaps, surface and subsurface water respectively. Different land features such as lakes, river systems, deserts, playas, sand dunes, forest, and urban areas possess their LST frequency signature. Consequently, LST frequency distribution may be used as a powerful tool to delineate such land features. At the same time, some environmental changes like drying of lakes, deforestation and land use changes may be detected and tracked using frequency analysis of LST.

Keywords: MODIS LST, Frequency signature, Land features, Environmental changes, Iran.

5-References

- Benali, A., Carvalho, A. C., Nunes, J. P., Carvalhais, N., & Santos, A. (2012). Estimating air surface temperature in Portugal using MODIS LST data. *Remote Sensing of Environment*, 124, 108-121.
https://www.researchgate.net/publication/230660797_Estimating_air_surface_temperature_in_Portugal_using_MODIS_LST_data
- Colombi, A., De Michele, C., Pepe, M., Rampini, A., & Michele, C. D. (2007). Estimation of daily mean air temperature from MODIS LST in Alpine areas. *EARSeL eProceedings*, 6(1), 38-46.
<https://pdfs.semanticscholar.org/813f/55d5e136c702a03f9108414a701b79cc18dd.pdf>
- Guangmeng, G., & Mei, Z. (2004). Using MODIS land surface temperature to evaluate forest fire risk of northeast China. *IEEE Geoscience and Remote sensing letters*, 1(2), 98-100.
https://www.researchgate.net/publication/3449515_Using_MODIS_Land_Surface_Temperature_to_Evaluate_Forest_Fire_Risk_of_Northeast_China
- Hengl, T., Heuvelink, G. B., Tadić, M. P., & Pebesma, E. J. (2012). Spatio-temporal prediction of daily temperatures using time-series of MODIS LST images. *Theoretical and applied climatology*, 107(1-2), 265-277.
- Imhoff, M. L., Zhang, P., Wolfe, R. E., & Bounoua, L. (2010). Remote sensing of the urban heat island effect across biomes in the continental USA. *Remote Sensing of Environment*, 114(3), 504-513.
- Keikhosravi Kiany, M.S., & Masoodian, S. A. (2017). Identification of Seasonal Snow-covered Seasons of Iran based on MODIS Data. *Geography and Environmental Planning*, 63(3), 33-48.
<https://www.sid.ir/en/Journal/ViewPaper.aspx?ID=567945>
- Langer, M., Westermann, S., & Boike, J. (2010). Spatial and temporal variations of summer surface temperatures of wet polygonal tundra in Siberia-implications for MODIS LST based permafrost monitoring. *Remote Sensing of Environment*, 114(9), 2059-2069.
https://www.researchgate.net/publication/222113865_Spatial_and_temporal_variations_of_summer_surface_temperatures_of_wet_polygonal_tundra_in_Siberia_implications_for_MODIS_LST_based_permafrost_monitoring
- Liu, Y., Hiyama, T., & Yamaguchi, Y. (2006). Scaling of land surface temperature using satellite data: A case examination on ASTER and MODIS products over a heterogeneous terrain area. *Remote Sensing of Environment*, 105 (2), 115-128.
https://www.researchgate.net/publication/222946781_Scaling_of_land_surface_temperature_using_satellite_data_A_case_examination_on_ASTER_and_MODIS_products_over_a_heterogeneous_terrain_area
- Masoodian, S. A. (2011). *The climate of Iran*. Iran: Sharia Toos Publication
<https://scholar.google.com/citations?user=-N2LhoAAAAJ&hl=en>
- Mildrexler, D. J., Zhao, M., & Running, S. W. (2011). Satellite finds highest land skin temperatures on earth. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 92(7), 855-860.
https://watermark.silverchair.com/2011bams3067_1.pdf?token=AOECAHi208BE49Ooan9kkhW_Ercy7Dm3ZL_9Cf3qfKAc485ysg
- Mostovoy, G. V., King, R., Reddy, K. R., & Kakani, V. G. (2005, May). Using MODIS LST data for high-resolution estimates of daily air temperature over Mississippi. In *Analysis of Multi-Temporal Remote Sensing Images, 2005 International Workshop on the* (PP.76-80).IEEE.
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1469844>
- Neteler, M. (2010). Estimating daily land surface temperatures in mountainous environments by reconstructed MODIS LST data. *Remote sensing*, 2(1), 333-351.
<file:///C:/Documents%20and%20Settings/Kh.Mir%20Teymuri/My%20Documents/Downloads/remotesensing-02-00333.pdf>
- Son, N. T., Chen, C. F., Chen, C. R., Chang, L. Y., & Minh, V. Q (2012). Monitoring agricultural drought in the Lower Mekong Basin using MODIS NDVI and land surface temperature data. *International Journal of Applied Earth Observation & Geoinformation*, 18, 417-427.
https://www.researchgate.net/publication/329642889_Monitoring_drought_via_TVDI_derived_from_2000_-_2015_MODIS_data_a_case_study_of_Vietnamese_Mekong_River_Delta
- Wang, X., & Li, Y (2016). Predicting urban heat island circulation using CFD. *Building and Environment*, 99, 82-97.
- Westermann, S., Langer, M., & Boike, J. (2011). Spatial and temporal variations of summer surface temperatures of high-arctic tundra on Svalbard-implications for MODIS LST based permafrost monitoring. *Remote Sensing of Environment*, 115(3), 908-922.
- Zhou, B., Lauwaet, D., Hooyberghs, H., De Ridder, K., Kropp, J. P., & Rybski, D (2016). Assessing seasonality in the surface urban heat island of London. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 55(3), 493-505.
https://www.researchgate.net/publication/283697230_Assessing_Seasonality_in_the_Surface_Urban_Heat_Island_of_London

واکاوی توزیع فراوانی دمای رویه زمین ایران با داده‌های مودیس آکوا

دکتر سید ابوالفضل مسعودیان^۱

چکیده

عوارض جغرافیایی گوناگون (دریاچه‌ها، شنزارها، پلایاها، جنگل‌ها و...) ویژگی‌های دمایی (گرمای ویژه و رسانایی گرمایی) متفاوتی دارند؛ از این رو توزیع فراوانی دمای رویه زمین بر روی هر یک از این عوارض متفاوت است. از سوی دیگر، تغییرات محیطی سبب تغییر دمای رویه زمین می‌شود؛ بنابراین تغییرات محیطی مانند آب شدن یخ‌ها و برف‌پوش‌ها، خشک شدن دریاچه‌ها، جنگل‌زدایی، بیابان‌زایی و مانند آن می‌تواند توزیع فراوانی دمای رویه زمین را تغییر دهد. داده‌های مودیس به دلیل تفکیک مناسب زمانی و مکانی، بررسی تغییرات توزیع فراوانی دمای رویه زمین را ممکن می‌سازد. داده‌های مودیس آکوا به مدت پانزده سال به کمک واکاوی مؤلفه اصلی بررسی شد. این بررسی نشان داد که توزیع فراوانی دمای رویه زمین در ایران تا اندازه زیادی وابسته به ارتفاع و پس از آن وابسته به عوارض جغرافیایی است. توزیع فراوانی دمای رویه زمین بر روی عوارض جغرافیایی مختلف متفاوت است. دریاچه‌ها، شبکه‌های رودخانه‌ای، کویرها، شنزارها، درختزارها، جنگل‌ها و کلان‌شهرها از جمله عوارض جغرافیایی هستند که بر توزیع فراوانی دمای رویه زمین اثر می‌گذارند؛ از این رو بررسی توزیع فراوانی دمای رویه زمین به شناسایی مرز جغرافیایی این پدیده‌ها کمک می‌کند. از سوی دیگر می‌توان تغییر قلمرو این پدیده‌ها را نیز در طی زمان ردگیری کرد و ابزار نوینی برای پایش تغییرات محیطی به دست آورد.

جغرافیا و توسعه، شماره ۶۰، پاییز ۱۳۹۹

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۶/۰۷

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۷/۲۰

صفحات: ۳۰-۲۱



واژه‌های کلیدی:

دمای رویه زمین مودیس، امضای بسامدی، عوارض زمین، تغییرات محیطی، ایران.

مقدمه

دمای دو پهنه جغرافیایی متمایز مرز پدیده‌های جغرافیایی (ریگزار، کویر، دریاچه، درختزار، کلان‌شهرها و...) را شناسایی کرد. مسائل محیطی زیادی به کمک داده‌های دمای رویه زمین بررسی شده‌اند. جزایر گرمایی شهری (Imhoff et al, 2010: 504-513) Wang & Li, 2016: 82-97; Zhou et al, 2016: 493-505) برآورد دمای هوا (Benali et al, 2012: 108-121; Colombi et al, 2007: 38-46; Mostovoy et al, 2005: 76-80) دمای رویه زمین در مناطق کوهستانی (Neteler, 2010: 333-351) ارزیابی خطر آتش‌سوزی جنگل‌ها (Guangmeng & Mei, 2004: 98-100).

داده‌های ماهواره‌ای، پژوهش‌های آب و هوایی را در مناطقی که ایستگاه دیدبانی ندارند یا چگالی ایستگاه‌ها کم است، آسان ساخته است. دمای رویه زمین از جمله متغیرهایی است که نقشی کلیدی در رفتار دیگر متغیرهای محیطی دارد (Liu et al, 2006: 115). به دلیل اندرکنش دما با طیف گسترده‌ای از متغیرهای محیطی می‌توان با بررسی تغییرات توزیع فراوانی دما با گذشت زمان، تغییرات محیطی (گسترش شهرها، بیابان‌زایی، جنگل‌زدایی، خشک شدن دریاچه‌ها و...) را آشکارسازی کرد، یا با بررسی تفاوت توزیع فراوانی

داده‌های تابش در باند سی‌ویک (۱۱/۰۳ میکرومتر) و باند سی‌ودو (۱۲/۰۲ میکرومتر) و گسلیندگی این دو باند (MYD021KM)، دوم داده‌های موقعیت زمینی (MYD03)، سوم داده‌های پوشش ابر (MYD35_L2)، چهارم داده‌های نیمرخ دما و بخار آب هواسپهر (MYD07_L2)، پنجم داده‌های پوشش زمین (KM1MCDLC) و ششم داده‌های پوشش برف (MYD10_L2).

تفکیک مکانی داده‌های دمای رویه زمین یک کیلومتر است. ماهواره آکوا دو بار در شبانه‌روز (ساعت حدود یک بعدازظهر محلی و ساعت دو بامداد محلی) از روی ایران گذر می‌کند. به این ترتیب مودیس آکوا در هر شبانه‌روز دو بار دمای رویه زمین را اندازه‌گیری می‌کند. بازه زمانی داده‌ها در این پژوهش از ۱۳۸۱/۰۴/۱۳ تا ۱۳۹۶/۰۴/۱۳ به مدت ۱۵ سال (۵۴۸۰ روز) بوده است. در این بازه زمانی تنها داده‌های یاخته‌هایی که در درون خاک اصلی ایران بوده‌اند (۱۶۲۲۵۳۷ کیلومتر مربع) بررسی شده است؛ بنابراین آرایه‌ای زمان-مکان به ابعاد ۱۸۸۴۰۷۷ سطر و ۵۴۸۰ ستون (LST_{ij}) داده‌های دمای همه یاخته‌های درون سرزمین اصلی ایران را در طی ۱۵ سال مورد بررسی، پوشش می‌دهد. بررسی آرایه روزهنگام و شب‌هنگام نشان داد که دامنه دمای رویه زمین در ایران در بازه زمانی بررسی شده در هنگام شب، ۵۰- تا ۵۷ درجه سلسیوس و در هنگام روز، ۴۶- تا ۸۱ درجه سلسیوس بوده است.

بر این اساس، ۱۲۷ طبقه دمایی ($z = 127$) با بازه یک درجه سلسیوس برای روز ($CLST = [80: 1: -46]$) و ۱۰۷ طبقه دمایی ($z = 107$) برای شب ($CLST = [57: 1: -50]$) در نظر گرفته شد؛ سپس فراوانی دمای هر یک از طبقات بر روی هر یک از یاخته‌ها جداگانه برای شب و روز شمارش شد:

پیش‌بینی زمانی و مکانی دما (Hengl et al, 2012: 265-277; Langer et al, 2010: 2059-2069; Westermann et al, 2011: 908-922) پایش خشکسالی کشاورزی (Son et al, 2012: 417-427)، شناسایی فرین‌ها (Mildrexler et al, 2011: 855-860)، نمونه‌هایی از این مسائل هستند. با این حال، بررسی تغییرات توزیع فراوانی دمای رویه زمین به منظور آشکارسازی تغییرات محیطی و شناسایی مرز پدیده‌های جغرافیایی کم‌تر بررسی شده است. این در حالی است که تغییرات توزیع فراوانی می‌تواند ابعاد گوناگون تغییرات محیطی را به نیرومندی آشکار سازد. مقایسه توزیع فراوانی دمای رویه زمین در یک محل معین در دو زمان مختلف نه تنها تغییرات محیطی را آشکار می‌سازد؛ بلکه نشان می‌دهد که کدام دسته دماها دستخوش تغییرات بیش‌تری شده‌اند. در عین حال مقایسه توزیع فراوانی دمای رویه زمین دو محل مختلف در یک بازه زمانی ثابت می‌تواند دریچه تازه‌ای به روی پژوهشگران بگشاید و این پرسش را مطرح سازد که آیا هر پدیده جغرافیایی معین مانند ریگزار، جنگل، دق، کویر، شهر و... دارای توزیع فراوانی دمایی ویژه‌ای (امضای بسامدی) است یا خیر. امضای بسامدی، توزیع درصد فراوانی مشخصی از دمای رویه زمین است که بتوان آن را از دیدگاه آماری به یک پدیده جغرافیایی معین نسبت داد. این پژوهش می‌کوشد تا به این پرسش پاسخ دهد که در قلمرو ایران کدام عوارض زمینی امضای بسامدی از خود نشان می‌دهند.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش داده‌های دمای رویه زمین سنجنده مودیس که بر روی ماهواره آکوا سوار است، به کار گرفته شده است. این داده‌ها با نام فراورده MYD11A1 V06 شناخته می‌شوند. برای تولید این داده‌ها چندین فراورده دیگر مودیس به کار گرفته شده‌اند. نخست

مستقل موجود در داده‌ها را آشکار می‌سازد. انجام واکاوی مؤلفه اصلی بر روی یک آرایه زمان-مکان از این نظر نیز سودمند است که قلمرو مکانی (نمرات مؤلفه‌ها) حاکمیت الگوها (بردارهای ویژه) را نشان می‌دهد.

یافته‌های تحقیق

دما مهم‌ترین عنصر آب و هوایی متمایزکننده نواحی آب و هوایی ایران است (Masoodian, 2011)؛ از این رو شناخت تفاوت توزیع فراوانی دمای رویه زمین در ایران به شناخت ساختار نواحی آب و هوایی ایران کمک زیادی می‌کند. از یک سو ایران کشوری ناهموار و از دیدگاه آب و هوایی متنوع است. در عین حال چگالی ایستگاه‌ها در ایران کم و پراکندگی ایستگاه‌ها نایک‌نواخت است؛ از این رو داده‌های ماهواره‌ای خوش تفکیک جزئیاتی را در مورد نواحی آب و هوایی ایران آشکار می‌سازد که با داده‌های ایستگاهی دست‌نیافتنی است. به کارگیری روش‌های تحلیل چندمتغیری بر روی داده‌های ماهواره‌ای می‌تواند اختلافات اصلی دمایی نقاط مختلف ایران با یکدیگر را روشن سازد. پراش کل توزیع درصد فراوانی دمای رویه زمین ایران (آرایه $PF_{1884077 \times 234}$) ۱۲۷/۲۳ است. واکاوی مؤلفه اصلی نشان داد که بیش از ۷۵ درصد این پراش کل تنها با چهار مؤلفه نخستین تبیین می‌شود؛ بنابراین واکاوی مؤلفه اصلی در تجمیع پراش و تخلیص داده‌ها کارآمد است.

مؤلفه اول، مؤلفه آب و هوایی: برجسته‌ترین ویژگی آب و هوای ایران تقسیم کشور به دو بخش گرم و سرد است (Masoodian, 2011). مؤلفه اول بازتاب همین ویژگی است. این مؤلفه ۴۳/۵ درصد پراش کل توزیع درصد فراوانی دمای رویه زمین ایران را تبیین می‌کند که نشان از اهمیت چشمگیر آن نسبت به الگوهای دیگر است. از سوی دیگر، بردار ویژه این مؤلفه الگوی یکسانی را برای شب و روز نشان می‌دهد

$$F_{ik} = \sum_{j=1}^z 1_{LST_{ij} \in CLST_k}$$

در این جا F_{ik} فراوانی طبقه دمایی k ام بر روی یاخته i ام در طی ۵۴۸۰ روز مورد بررسی بوده‌است. به این ترتیب دو آرایه توزیع فراوانی دما یکی برای روز ($F_{1884077 \times 127}$) و دیگری برای شب ($F_{1884077 \times 107}$) به دست آمد. به کمک روابط زیر این دو آرایه به آرایه درصد فراوانی تبدیل شد:

$$PF_{ik} = \frac{F_{ik}}{SF_i} \times 100$$

$$SF_i = \sum_{k=1}^z F_{ik}$$

PF_{ik} درصد فراوانی طبقه دمایی k ام بر روی یاخته i ام در طی ۵۴۸۰ روز مورد بررسی و SF_i مجموع فراوانی همه طبقات دمایی بر روی یاخته i ام در طی ۵۴۸۰ روز مورد بررسی بوده‌است. کنار هم چیدن دو آرایه درصد فراوانی شب و روز هنگام، آرایه توزیع فراوانی دمای رویه زمین ($PF_{1884077 \times 234}$) به دست آمد. این آرایه نشان می‌دهد که در طی ۱۵ سال مورد بررسی، چه درصدی از دمای رویه زمین در هنگام شب و در هنگام روز بر روی هر یک از یاخته‌ها در کدام طبقه دمایی بوده‌است.

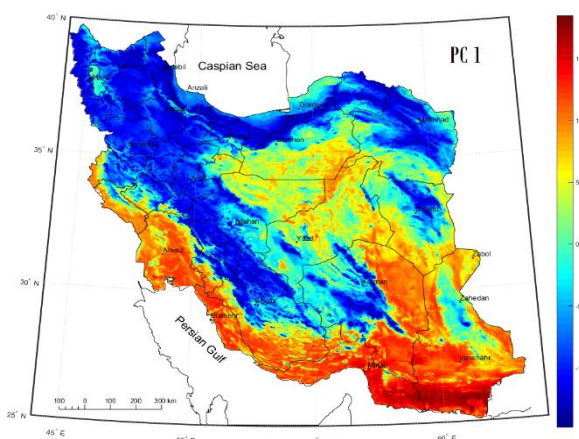
برای شناسایی الگوهای توزیع فراوانی دمای رویه زمین یک واکاوی مؤلفه اصلی بر روی آرایه درصد فراوانی دمای رویه زمین ایران ($PF_{1884077 \times 234}$) انجام شد. آرایه بردار ویژه ($E_{234 \times 234}$) و نمرات مؤلفه‌ها ($S_{1884077 \times 234}$) به صورت زیر با آرایه درصد فراوانی ($PF_{1884077 \times 234}$) و میانگین درصد فراوانی روی هر طبقه دمایی ($\overline{PF}_{1 \times 234}$) مرتبط هستند:

$$S = (PF - \overline{PF}) \times E$$

واکاوی مؤلفه اصلی گذشته از تخلیص داده‌ها، از راه تجمیع پراش مشترک میان متغیرها، الگوهای

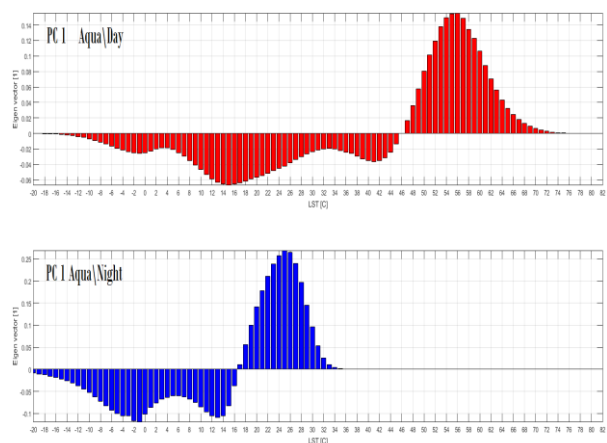
از این رو این پهنه‌ها را می‌توان ایران گرم نامید. از سوی دیگر، در بخش‌های کوهستانی، کرانه‌های خزر و شمال غرب و شمال شرق کشور فراوانی همین دماها پایین‌تر از متوسط است و این پهنه‌ها را می‌توان ایران سرد نامید. چون مؤلفه اول، ایران را به پهنه گرم و سرد بخش می‌کند می‌توان آن را مؤلفه آب و هوایی نامید. در ایران گرم عرض جغرافیایی و آسمان صاف نقش مهمی در گرمی آب و هوا دارد. در ایران سرد ارتفاع (در زاگرس و البرز و رشته‌کوه مرکزی) و فرافت دما (در شمال غرب و شمال شرق) نقش مهمی در سردی آب و هوا دارند (مسعودیان، ۲۰۱۱). در عین حال نقش ارتفاع در توزیع فراوانی دمای رویه زمین چشمگیرتر است؛ به طوری که میانه ارتفاعی ایران سرد ۸۰۰ متر و در ایران گرم ۱۷۰۰ متر است. در ایران گرم میانگین دمای رویه زمین در هنگام روز و شب به ترتیب ۴۴/۳ و ۱۵/۷ درجه سلسیوس است. ایران سرد ۴۹/۳ درصد ایران را می‌پوشاند. در این بخش از ایران میانگین دمای رویه زمین در هنگام روز و شب به ترتیب ۳۳/۶ و ۷/۰ درجه سلسیوس است.

(شکل ۱)؛ به این معنا که هم در هنگام روز و هم در هنگام شب فراوانی دماهای بالا بیش از فراوانی دماهای پایین بوده است. بردار ویژه اول نشان می‌دهد که در هنگام روز، فراوانی دماهای بیش‌تر از ۴۷ درجه سلسیوس در تقابل با فراوانی دماهای کم‌تر از ۴۷ درجه سلسیوس است. در هنگام شب فراوانی دماهای بیش از ۱۷ درجه سلسیوس در تقابل با فراوانی دماهای کم‌تر از ۱۷ درجه سلسیوس است. این بدان معناست که در سراسر بخش‌هایی از ایران که نمرات مؤلفه اول مثبت است ($S > 0$)، نسبت به بخش‌هایی که نمرات مؤلفه اول منفی است ($S < 0$) روز و شب‌های گرمی حاکم است (شکل ۲). اگر پراکندگی جغرافیایی نمرات مؤلفه اول بر روی ایران را در نظر بگیریم، این الگو به این معنا است که در سراسر کرانه‌های جنوبی، بخشی از غرب و در ایران مرکزی ($S > 0$) در هنگام شب و روز به ترتیب فراوانی دماهای بیش از ۴۷ و بیش از ۱۷ درجه سلسیوس بالاتر از متوسط است و یا فراوانی دماهای کم‌تر از ۴۷ در هنگام روز و کم‌تر از ۱۷ درجه سلسیوس در هنگام شب پایین‌تر از متوسط است ($[F - \bar{F}] \times E > 0$).



شکل ۲: قلمرو مکانی الگوی اول (S_1)

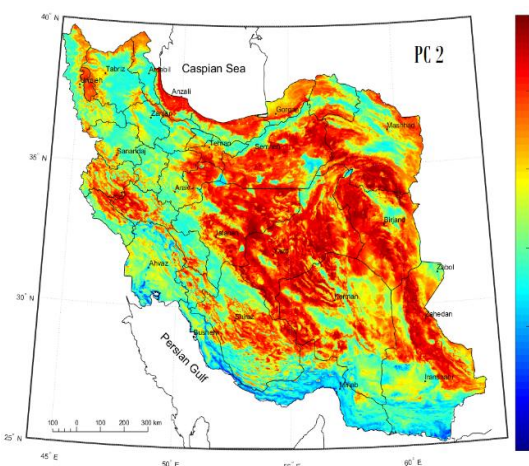
تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۳۹۷



شکل ۱: الگوی دمایی اول (E_1)

تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۳۹۷

از سوی دیگر، در ایران مرکزی ابرناکی بسیار ناچیز است و ساعات آفتابی بسیار زیاد است؛ از این رو این بخش‌ها در هنگام روز تابش زیادی دریافت کرده و بسیار گرم می‌شوند. در عین حال چون رطوبت هواسپهر در این بخش‌های ایران بسیار ناچیز است، در هنگام شب تابش خروجی زیاد است؛ به همین دلیل ایران مرکزی در قیاس با کرانه‌های جنوبی روزهایی گرم اما شب‌هایی سردتر را تجربه می‌کند. تضاد آب و هوایی این دو بخش از ایران گرم در مؤلفه دوم بازتاب یافته است (شکل ۴). این مؤلفه ۱۴/۶ درصد پراش کل را تبیین می‌کند؛ بنابراین تضاد شبانه‌روزی تابش دریافتی در هنگام روز و تابش خروجی در هنگام شب دومین عامل اثرگذار بر توزیع فراوانی دمای رویه زمین در ایران است. الگوی دمایی اول (E_1) نماینده آب و هوای گرم در برابر آب و هوای سرد و الگوی دمایی دوم (E_2) نماینده تضاد دمای شبانه و دمای روزانه است. ترکیب این دو مؤلفه چهار قلمرو دمای رویه زمین در ایران را آشکار می‌سازد (شکل ۵ و ۶).

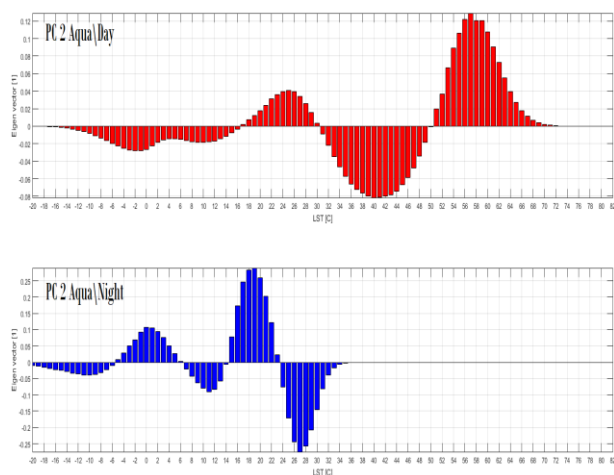


شکل ۴: قلمرو مکانی (نمرات مؤلفه) الگوی دوم

تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۳۹۷

مهمی در توزیع فراوانی دمای رویه زمین دارد. در بخش‌هایی که شب‌ها گرم است (کرانه‌های جنوبی و

مؤلفه دوم، مؤلفه چرخه شبانه‌روزی دما: دومین الگوی دمایی ایران نماینده تفاوت دمای شب و روز است (شکل ۳). تابش دریافتی روزانه و تابش خروجی شبانه به دلیل تنوع جغرافیایی، در بخش‌های مختلف ایران متفاوت است؛ از این رو ایران گرم و ایران سرد هر یک به دو بخش تقسیم می‌شود. بخش‌هایی که روزهای گرمی دارند؛ بخش‌هایی که شب‌های گرمی دارند؛ بخش‌هایی که روزهای سردی دارند؛ بخش‌هایی که شب‌های سردی دارند. در کرانه‌های جنوبی رطوبت جوی بسیار زیاد است. در هنگام شب رطوبت مانع خروج تابش‌های بلند شده و گرما حفظ می‌شود. از این گذشته در کویرها که در زیر لایه‌ای نازک از چندضلعی‌های نمکی، آب زیرسطحی وجود دارد (مانند گاوخونی و دریاچه نمک). در هنگام روز آب زیرسطحی گرما را انباشته کرده و در هنگام شب گرما را آزاد می‌کند. از این جهت اگرچه در این بخش‌های کشور هواسپهر بسیار خشک است، اما در هنگام روز از پیرامون خود سردتر و در هنگام شب گرم‌تر هستند؛ از این رو این بخش‌های ایران شب‌هایی گرم دارند.



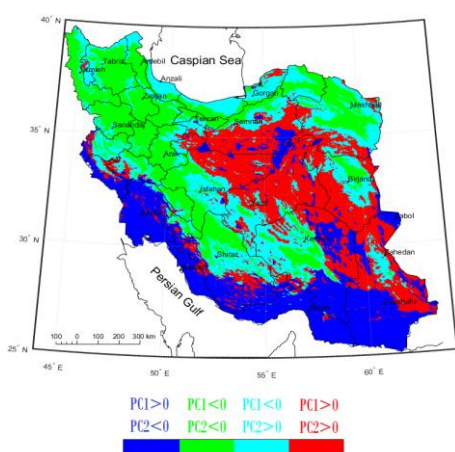
شکل ۳: الگوی دمایی دوم (بردار ویژه دوم)

تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۳۹۷

در بخش‌هایی از ایران (بیابان‌های ایران مرکزی) که روزها گرم است (شکل ۵)، آسمان بی‌ابر نقش

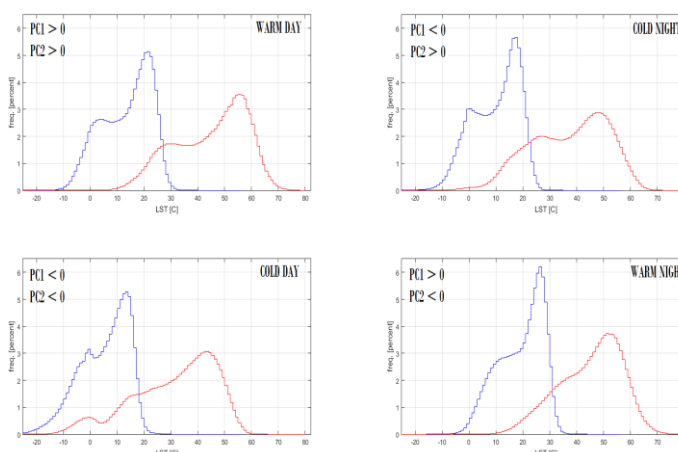
انرژی از دست می‌رود (شکل‌های ۵ و ۶). در دره‌ها و چاله‌ها (مانند چاله ساختمانی سنندج- سیرجان) نیز انباشت هوای سرد در گودی‌ها با سرمای شبانه مرتبط است. از سوی دیگر، در ارتفاعات زاگرس و البرز تشکیل ابرهای همرفتی در هنگام روز، تابش دریافتی را کاهش داده و سرمای شبانه را سبب می‌شود (شکل‌های ۵ و ۶).

کویرها)، رطوبت جوی و آب زیرسطحی بر توزیع فراوانی دمای رویه زمین اثرگذار است. در بخش‌هایی از ایران که شب‌های سرد را تجربه می‌کنند، آسمان صاف شبانه و گودی زمین عوامل اثرگذار بر توزیع فراوانی دمای رویه زمین هستند (Masoodian, 2011). در کرانه‌های خزر و کوهپایه‌های زاگرس و البرز درصد اوقات آسمان صاف در شب بسیار بیش از روز است (Masoodian, 2011) و شب‌ها



شکل ۶: ترکیب نمرات مؤلفه اول و دوم

تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۳۹۷

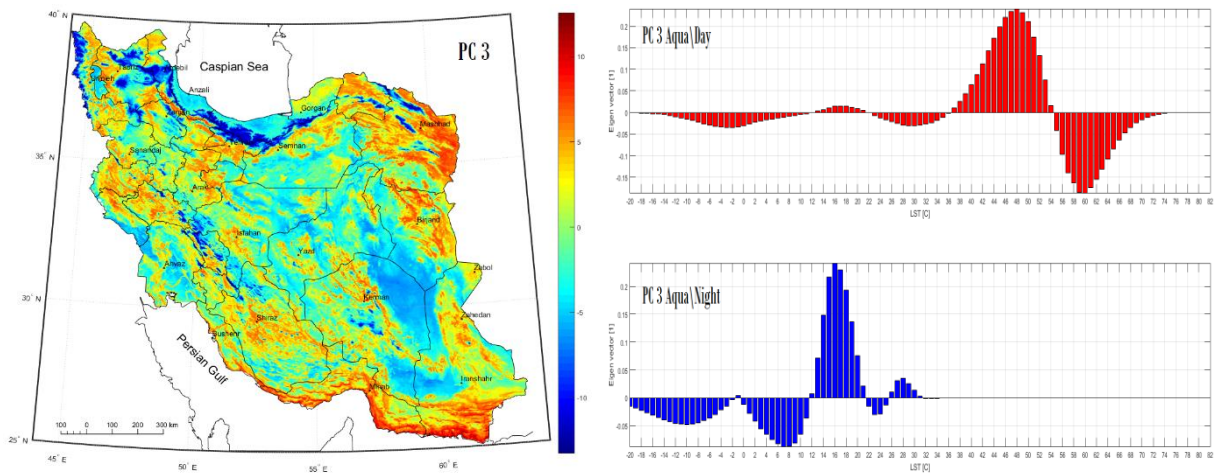


شکل ۵: توزیع فراوانی دمای رویه زمین در هنگام شب (آبی) و روز (سرخ)

تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۳۹۷

منطبق بر بخش‌هایی از کشور است که نمرات مؤلفه سوم بر روی آن کوچک‌تر از -۷ است. در این بخش‌ها تعداد روزهای برفپوشان تفاوت معناداری با دیگر بخش‌های ایران دارد. سی درصد از قلمرو این بخش از ایران دست‌کم ۶۸ روز در سال پوشیده از برف است. از سوی دیگر، در بخشی از ایران که نمرات مؤلفه سوم بزرگ‌تر از -۷ است، تعداد روزهای برفپوشان بسیار کم‌تر است. در هفتاد درصد این قلمرو تعداد روزهای برفپوشان از سه روز کم‌تر است.

مؤلفه سوم، مؤلفه برفخوان‌ها: بخش بزرگی از ایران آب و هوایی گرم و خشک دارد؛ از این رو زندگی در ایران وابسته به برفخوان‌هایی است که در ارتفاعات، آب رودخانه‌ها، چشمه‌ها و کاریزها را فراهم می‌آورند. در ارتفاعات کم‌تر از ۱۷۰۰ متر پوشش برفی ایران ناچیز است. از ارتفاع ۱۷۰۰ متر پوشش برفی با افزایش ارتفاع به صورت خطی افزایش می‌یابد (کیانی و مسعودیان، ۲۰۱۶). مؤلفه سوم چند پدیده جغرافیایی مهم را نمایندگی می‌کند. برفخوان‌های ایران یکی از این پدیده‌ها است (شکل ۷ و ۸). برفخوان‌های ایران



شکل ۷: الگوی دمایی سوم (بردار ویژه سوم)

تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۳۹۷

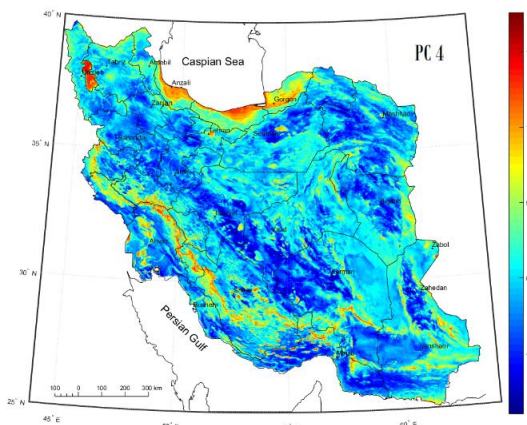
شکل ۸: قلمرو مکانی (نمرات مؤلفه) الگوی سوم

تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۳۹۷

آن‌ها سبب می‌شود تا تابش در هنگام روز در این مناطق توسط آب ذخیره شده و در شب آزاد شود. به همین سبب در این بخش‌های ایران فراوانی دماهای بالا در هنگام روز کم و در هنگام شب زیاد است (شکل ۹).

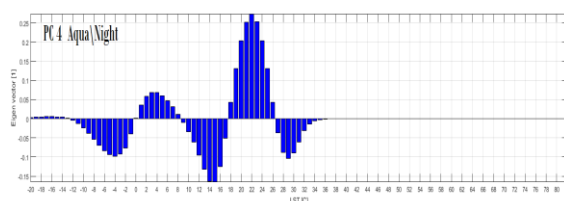
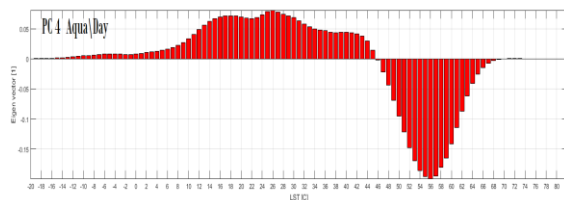
تاکنون نقشه دقیقی از قلمرو گسترش درختزارهای زاگرس وجود نداشت. با توجه به اینکه این درختزارها به دلیل گرم شدن ایران در طی پنج دهه گذشته، کاهش بارش و افزایش توفان‌های گرد و غبار (مسعودیان، ۲۰۱۱) بسیار آسیب‌پذیر شده‌اند، یکی از ویژگی‌های ارزشمند و کاربردی مؤلفه چهارم آن است که قلمرو گسترش این درختزارها را آشکار می‌سازد (شکل ۱۰) و امکان پایش و احیای آن‌ها را فراهم می‌آورد.

مؤلفه چهارم، مؤلفه آب‌های سطحی و زیرسطحی: آب نقش مهمی در ترازمندی تابش دارد؛ از این رو عواملی که بر مقدار بخار آب، انباشت آب در سطح یا زیر سطح زمین اثر می‌گذارند توزیع فراوانی دمای رویه زمین را نیز متأثر می‌سازند. کلان‌شهرهایی مانند اصفهان، مشهد، تهران و شیراز که همچون واحه‌هایی در بیابان به شمار می‌آیند، درختزارهای زاگرس، دریاچه اورمیه، دریاچه مهارلو، چاه‌نیمه در جنوب زهک، یا شبکه‌های رودخانه‌ای مانند سپیدرود، یا جلگه گیلان، تالاب گاوخونی، دریاچه نمک و کویر حاج علی‌قلی هر یک بر مقدار رطوبت در هواسپهر و سطح و زیر سطح زمین اثرگذار هستند (شکل‌های ۹ و ۱۰). جزایر رطوبتی که این پدیده‌های جغرافیایی پدید می‌آورند، در تضاد با خشکی محیط پیرامون



شکل ۱۰: قلمرو مکانی (نمرات مؤلفه) الگوی چهارم

تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۳۹۷



شکل ۹: الگوی دمایی چهارم (بردار ویژه چهارم)

تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۳۹۷

نتیجه

برفخوان‌ها و برخی کلان‌شهرها دارای امضای بسامدی هستند؛ به بیان دیگر، این عوارض جغرافیایی توزیع فراوانی دمایی ویژه و پایسته‌ای دارند که آن‌ها را از دیگر پدیده‌های جغرافیایی متمایز می‌کند. با توجه به اینکه ایران در کمربند خشک جهان قرار گرفته است، وجود آب در قلمروهای جغرافیایی کوچک به هر یک از اشکال آن تغییر معناداری در توزیع فراوانی دما ایجاد می‌کند. در مورد درختزارهای زاگرس که از زیست‌بوم‌های شکننده ایران است و از خشکسالی‌های سال‌های اخیر آسیب فراوانی دیده و نیازمند پایش و مراقبت است، نتایج این پژوهش بسیار سودمند است. از این گذشته، روند گرم‌شدن ایران برفخوان‌های کشور را به شدت تهدید می‌کند.

تغییر ترکیب بارش و کاهش حجم برف در برفخوان‌های کشور منابع آبی ایران را به شدت تحت فشار قرار داده است؛ از این رو پایش برفخوان‌های کشور ارزش حیاتی دارد. با این حال در زمینه شناسایی قلمرو برفخوان‌های ایران پژوهش‌های اندکی انجام گرفته است (Keikhosravi et al., 2017). مؤلفه سوم به شناسایی قلمرو برفخوان‌ها و تغییرات قلمرو آن‌ها کمک می‌کند و از این رو ابزار مناسبی برای پایش برفخوان‌ها نیز است.

توزیع فراوانی دمایی رویه زمین به نوع رویه حساس است؛ به بیان دیگر، اگر در طی زمان نوع رویه تغییر کند، توزیع فراوانی دمایی آن نیز تغییر خواهد کرد. به همین نحو توزیع فراوانی دمایی رویه زمین در دو محل جغرافیایی متفاوت که دارای دو رویه مختلف هستند با یکدیگر متفاوت است. اگر یک پدیده جغرافیایی معین نوع خاصی از توزیع فراوانی دمایی رویه زمین را نشان دهد که از توزیع فراوانی دیگر پدیده‌های جغرافیایی متمایز باشد و این توزیع فراوانی خاص در طی زمان پایسته بماند، به طوری که بتوان این توزیع فراوانی دمایی رویه زمین را از دیدگاه آماری به آن پدیده جغرافیایی معین نسبت داد، گوییم این توزیع فراوانی خاص، امضای بسامدی این پدیده جغرافیایی است. واکاوی مؤلفه اصلی ابزار توانمندی برای شناسایی وردش‌های مکانی-فراوانی دمایی رویه زمین است. به کمک این ابزار می‌توان الگوی توزیع فراوانی دمایی رویه زمین پدیده‌های جغرافیایی گوناگون را شناسایی کرد و از این راه، به شرط وجود، امضای بسامدی پدیده‌های جغرافیایی مختلف را پیدا کرد. این بررسی نشان داد که کویرها، ریگزارها، درختزارهای زاگرس، شبکه‌های رودخانه‌ای، دریاچه‌ها و آبگیرها،

- Langer, M., Westermann, S., & Boike, J. (2010). Spatial and temporal variations of summer surface temperatures of wet polygonal tundra in Siberia-implications for MODIS LST based permafrost monitoring. *Remote Sensing of Environment*, 114(9), 2059-2069.
https://www.researchgate.net/publication/222113865_Spatial_and_temporal_variations_of_summer_surface_temperatures_of_wet_polygonal_tundra_in_Siberia_-_implications_for_MODIS_LST_based_permafrost_monitoring
- Liu, Y., Hiyama, T., & Yamaguchi, Y. (2006). Scaling of land surface temperature using satellite data: A case examination on ASTER and MODIS products over a heterogeneous terrain area. *Remote Sensing of Environment*, 105 (2), 115-128.
https://www.researchgate.net/publication/222946781_Scaling_of_land_surface_temperature_using_satellite_data_A_case_examination_on_ASTER_and_MODIS_products_over_a_heterogeneous_terrain_area
- Masoodian, S. A (2011). The climate of Iran. Iran: Sharia Toos Publication
<https://scholar.google.com/citations?user=-N2LhoAAAAJ&hl=en>
- Mildrexler, D. J, Zhao, M., & Running, S. W. (2011). Satellite finds highest land skin temperatures on earth. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 92(7), 855-860.
https://watermark.silverchair.com/2011bams3067_1.pdf?token=AQECAHi208BE49Ooan9khhW_Ercy7Dm3ZL_9Cf3qfKAc485yvg
- Mostovoy, G. V., King, R., Reddy, K. R., & Kakani, V. G. (2005, May). Using MODIS LST data for high-resolution estimates of daily air temperature over Mississippi. In *Analysis of Multi-Temporal Remote Sensing Images*, 2005 International Workshop on the (PP.76-80).IEEE.
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1469844>
- Benali, A., Carvalho, A. C., Nunes, J. P., Carvalhais, N., & Santos, A. (2012). Estimating air surface temperature in Portugal using MODIS LST data. *Remote Sensing of Environment*, 124, 108-121.
https://www.researchgate.net/publication/230660797_Estimating_air_surface_temperature_in_Portugal_using_MODIS_LST_data
- Colombi, A., De Michele, C., Pepe, M., Rampini, A., & Michele, C. D. (2007). Estimation of daily mean air temperature from MODIS LST in Alpine areas. *EARSeL eProceedings*, 6(1), 38-46.
<https://pdfs.semanticscholar.org/813f/55d5e136c702a03f9108414a701b79cc18dd.pdf>
- Guangmeng, G., & Mei, Z. (2004). Using MODIS land surface temperature to evaluate forest fire risk of northeast China. *IEEE Geoscience and Remote sensing letters*, 1(2), 98-100.
https://www.researchgate.net/publication/3449515_Using_MODIS_Land_Surface_Temperature_to_Evaluate_Forest_Fire_Risk_of_Northeast_China
- Hengl, T., Heuvelink, G. B., Tadić, M. P., & Pebesma, E. J. (2012). Spatio-temporal prediction of daily temperatures using time-series of MODIS LST images. *Theoretical and applied climatology*, 107(1-2), 265-277.
- Imhoff, M. L., Zhang, P., Wolfe, R. E., & Bounoua, L. (2010). Remote sensing of the urban heat island effect across biomes in the continental USA. *Remote Sensing of Environment*, 114(3), 504-513.
- Keikhosravi Kiany, M.S., & Masoodian, S. A. (2017). Identification of Seasonal Snow-covered Seasons of Iran based on MODIS Data. *Geography and Environmental Planning*, 63(3), 33-48.
<https://www.sid.ir/en/Journal/ViewPaper.aspx?ID=567945>

منابع

- Neteler, M (2010). Estimating daily land surface temperatures in mountainous environments by reconstructed MODIS LST data. Remote sensing, 2(1), 333-351.
<file:///C:/Documents%20and%20Settings/Kh.Mir%20Teymuri/My%20Documents/Downloads/remotesensing-02-00333.pdf>
- Son, N. T., Chen, C. F., Chen, C. R., Chang, L. Y., & Minh, V. Q (2012). Monitoring agricultural drought in the Lower Mekong Basin using MODIS NDVI & land surface temperature data. International Journal of Applied Earth Observation & Geoinformation, 18, 417-427.
https://www.researchgate.net/publication/329642889_Monitoring_drought_via_TVDI_derived_from_2000_-_2015_MODIS_data_a_case_study_of_Vietnamese_Mekong_River_Delta
- Wang, X., & Li, Y (2016). Predicting urban heat island circulation using CFD. Building and Environment, 99, 82-97.
- Westermann, S., Langer, M., & Boike, J. (2011). Spatial and temporal variations of summer surface temperatures of high-arctic tundra on Svalbard-implications for MODIS LST based permafrost monitoring. Remote Sensing of Environment, 115(3), 908-922.
- Zhou, B., Lauwaet, D., Hooyberghs, H., De Ridder, K., Kropp, J. P., & Rybski, D (2016). Assessing seasonality in the surface urban heat island of London. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 55(3), 493-505.
https://www.researchgate.net/publication/283697230_Assessing_Seasonality_in_the_Surface_Urban_Heat_Island_of_London