

Spatial Analysis of the Relationship between Vegetation and Water Indices and Air Temperature in the Bakhtegan–Maharloo Watershed

Maryam Nasiri   ¹ | Abdollah Faraji  ² | Seysd Hossein Mirmousavi  ³
| Koohzad Raispour  ³

1. Doctoral student of climatology, Zanjan University
2. Associate Professor, Faculty member of Zanjan University
3. Assistant professor, faculty member of Zanjan University

Article Info:

Article type:

Research Article

Date:

Received: 2025.06.05

Received: 2025.06.29

Accepted: 2025.07.01

Published:

Keywords:

Temperature changes;
Bakhtegan-Maharlu
watershed; Land Surface
Temperature (LST);
Multivariate Regression;
Hot Spot Analysis

Abstract: This research was conducted to quantify the influence of changes in biophysical parameters on the regional thermal dynamics in the Bakhtegan-Maharlu watershed during March, across the period from 1991 to 2020. To achieve this objective, Landsat 5th and 8th generation satellite data were processed utilizing the Google Earth Engine platform for the extraction of the specified indices. Subsequently, Pearson correlation analysis and multivariate regression modeling were employed to elucidate the relationship between the biophysical variables and the thermal characteristics. Furthermore, Hot Spot Analysis was implemented to identify and spatially locate high-intensity thermal clusters. Findings revealed a significant and severe decline in the NDWI index across the Bakhtegan and Maharlu lakes, concomitant with a decrease in NDVI in the surrounding areas. These land surface transformations resulted in the expansion of warmer temperature classes (from 30–40°C to a new class of 40–50°C) in the southern and central parts of the basin, underscoring an increasing trend across all investigated temperature parameters. The spatial analysis indicated that high-intensity thermal clusters were predominantly concentrated in the southern and southeastern regions of the watershed; this spatial convergence was directly correlated with areas exhibiting the highest LST values, reduced water resources, and severe vegetation destruction.

Cite this article: Nasiri, M, Faraji, A, Mirmousavi, H, Raispour, K. (2025). Spatial Analysis of the Relationship between Vegetation and Water Indices and Air Temperature in the Bakhtegan–Maharloo Watershed . *Climat Chenge and Climat Disasters*, 4(7), 103-160.

© The Author(s).

Homepage: cccd.znu.ac.ir

Publisher: University of Zanjan.



Extended Abstract

Introduction

Climatic elements, especially temperature, precipitation, and humidity, fluctuate over time due to climatic anomalies and atmospheric behaviors. Every year, farmers, industrialists, and other related institutions suffer huge losses due to the irregularity of these fluctuations. Therefore, examining and understanding these fluctuations greatly contributes to macro-planning, especially water resources management (Nazaripour et al., 2015: 101). Air temperature and land surface temperature have been key variables in hydrological, ecological, and climatic studies, and many land surface processes such as photosynthesis, respiration, and evaporation are regulated by air temperature. In this regard, awareness of spatial changes in air temperature on a large scale seems necessary for conducting climate, meteorological, and hydrological studies and investigations (Parviz et al., 2011: 22).

It is clear that other factors such as vegetation cover, land use changes, etc. are involved in studying air temperature on large scales. Therefore, remote sensing techniques have a significant ability to interpret terrestrial phenomena at different spatial and temporal scales due to the collection of spatial data on a large scale, the ability to repeat satellite data acquisition at intervals of several hours to several days over a period of months or years (high spatial and temporal resolution), and the timeliness of the data. (Fathifard et al., 1402: 197). Accordingly, identifying spatial patterns of air temperature is one of the most important goals of climatologists and other environmental science specialists, which has been made possible by using satellite data (Mohammadi et al., 2017: 132). Therefore, the main goal of this study is to monitor some biophysical parameters and their impact on the temperature characteristics of the Bakhtegan-Maharloo watershed using remote sensing indicators and geostatistical analyses. The results of this study can

provide solutions to improve the management of natural resources such as vegetation and water cover at the basin level and to protect these biological resources in the face of challenges caused by climate change.

Data and research method

To achieve this goal, two data sets were used. The first set includes monthly data on average, maximum, and minimum temperatures in March during the statistical period 1991-2020, which were obtained from synoptic meteorological stations located in and around the study basin. The other group of data used in this research was Landsat 5 and 8 satellite data from March of the respective years, which were extracted through the Google Earth Engine system. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Normalized Difference Water Index (NDWI), and Land Surface Temperature (LST) were extracted and used from Landsat 5 (TM) and Landsat 8 (OLI/TIRS) satellite data series through Google Earth Engine with a time interval of 16 days and a spatial resolution of 30 meters. Landsat satellite images were

selected due to their long-term temporal coverage, ability to record environmental changes with high accuracy, and wide spatial coverage (Sadeghinia et al., 2012: 71). This study used the Pearson correlation method and multivariate regression to examine the relationship between air temperature and related indicators. Multivariate regression explains the variance of the dependent variable through the participation of two or more independent variables (Asakereh, 2011: 238). To reveal the relationship between the variables NDWI, NDVI, LST and the climatic parameters of mean, maximum and absolute minimum temperature, hot spot analysis and Gi* statistic were used in the geographic information system environment. In this method, the Z-score is calculated and shows in which areas the data are distributed in clusters with high values (hot spots) or low values (cold spots).

Discussion

Examining the correlation of indices with the mean and absolute maximum, the LST index has the highest correlation in 2009, such that

as the earth's surface temperature increases, the absolute maximum temperature also increases. Then, the NDWI index and the absolute maximum temperature have a correlation of $r=-0.27$ and the NDVI index has an inverse correlation of -0.17 in the relevant basin. The results of the correlation of the aforementioned indices and the absolute minimum temperature indicate that the correlation between the LST index and the absolute minimum temperature was $r=0.42$ in 2009 and March, while other indices also had a small correlation with the absolute minimum temperature. The multivariate regression coefficient R is 0.504 . This means that the three independent variables entered into the model have established a proper linear relationship with the dependent variable, the average temperature in March 2009. The regression analysis model of the relevant indicators and the absolute maximum temperature also had similar results to the average temperature model. In the absolute minimum regression model, the correlation values between the

NDWI, NDVI index and the absolute minimum temperature were also low. In the modeling, only the March land surface temperature had a proper linear relationship.

Conclusion

An examination of the trend of changes in the NDWI index in the Bakhtegan-Maharlu basin showed that since 2006, the area of water bodies has decreased significantly. In the final analysis, the integration of data from NDVI, NDWI, land surface temperature (LST), Pearson correlation analysis, multivariate regression, and hot spot analysis showed that the increase in average air temperature, absolute minimum and maximum air temperature in the Bakhtegan-Maharlu basin, It is not a single process, but rather the result of a multi-layered causal link between the continuous decline of surface water resources and the destruction of vegetation in vulnerable areas, and especially the increase in surface temperatures. The temporal-spatial pattern of these factors, especially in the southern and southeastern areas of the basin, shows that the simultaneous

decrease in NDWI and NDVI, especially from 2006 to 2020, has led to the expansion of high-intensity thermal clusters.

Keywords: Temperature changes; Bakhtegan-Maharlu watershed; Land Surface Temperature (LST); Multivariate Regression; Hot Spot Analysis



تحلیل فضایی ارتباط شاخص‌های پوشش گیاهی و آب با دمای هوا در حوضه آبریز بختگان-مهارلو

مریم نصیری^۱ ✉ | عبدالله فرجی^۲ | سید حسین میرموسوی^۲ | کوهزاد رئیس پور^۳

۱. دانشجوی دکترای آب و هواشناسی دانشگاه زنجان

۲. دانشیار، عضو هیات علمی دانشگاه زنجان

۳. استادیار، عضو هیات علمی دانشگاه زنجان

اطلاعات مقاله:

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ‌ها:

دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۱۵

بازنگری: ۱۴۰۴/۰۴/۰۸

پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۱۰

انتشار:

واژگان کلیدی:

تغییرات دما، سنجش از دور، حوضه آبریز بختگان - مهارلو، دمای سطح زمین، تحلیل فضایی

چکیده: این پژوهش با هدف کمی‌سازی تأثیر تغییرات پارامترهای بیوفیزیکی بر دینامیک‌های حرارتی منطقه‌ای در ماه مارس در حوضه آبریز بختگان-مهارلو طی بازه زمانی ۱۹۹۱ تا ۲۰۲۰ انجام شد. برای نیل به این هدف، داده‌های ماهواره‌ای لندست ۵ و ۸ از طریق سامانه گوگل ارث انجین پردازش گردید تا شاخص‌های مورد نظر استخراج شوند. متعاقباً، تحلیل همبستگی پیرسون و مدل‌سازی رگرسیون چندمتغیره برای تبیین ارتباط بین متغیرهای بیوفیزیکی و ویژگی‌های دمایی اعمال شد. همچنین، تحلیل لکه‌های داغ به منظور شناسایی خوشه‌های حرارتی با مقادیر بالای دمای سطح زمین به کار گرفته شد. یافته‌ها نشان داد که کاهش شدید و معناداری در شاخص NDWI در سطح دریاچه‌های بختگان و مهارلو مشاهده شده است، که با کاهش NDVI در نواحی پیرامونی همراه بوده است. این دگرگونی‌های سطح زمین منجر به گسترش طبقات دمایی گرم (از ۳۰-۴۰ درجه به ۴۰-۵۰ درجه سانتی‌گراد) در بخش‌های جنوبی و مرکزی حوضه گردید که تأکیدی بر روند افزایشی در تمام پارامترهای دمایی مورد بررسی است. نتایج تحلیل فضایی نشان داد که خوشه‌های حرارتی با شدت بالا عمدتاً در مناطق جنوبی و جنوب شرقی حوضه متمرکز شده‌اند؛ این تمرکز مکانی به طور مستقیم با مناطق دارای بالاترین LST، کمترین منابع آبی و بیشترین فرسایش پوشش گیاهی همبستگی دارد.

استناد: نصیری، مریم، فرجی، عبدالله، میرموسوی، حسین، رئیس پور، کوهزاد. (۱۴۰۴). تحلیل فضایی ارتباط شاخص‌های پوشش گیاهی و آب با دمای هوا در حوضه آبریز بختگان-مهارلو. دگرگونی‌ها و مخاطرات آب و هوا، ۱۶۰-۱۰۳، (۷)۴.

© نویسندگان

Homepage: cccd.znu.ac.ir

ناشر: دانشگاه زنجان



۱. مقدمه

عناصر اقلیمی، به ویژه دما، بارش و رطوبت، در طول زمان تحت تأثیر ناهنجاری‌های اقلیمی و رفتارهای جوی دچار نوسان می‌شوند و نامنظم بودن این نوسانات سالانه خسارات قابل توجهی را به بخش‌های کشاورزی، صنعتی و مدیریتی تحمیل می‌کند؛ از این رو، شناخت دقیق تغییرات اقلیمی، به ویژه دما، نقش کلیدی در برنامه‌ریزی‌های کلان و مدیریت منابع آب دارد (Nazaripour et al., 2015).

دمای هوا و دمای سطح زمین به عنوان متغیرهای بنیادین در مطالعات اقلیم‌شناسی، هیدرولوژی و بوم‌شناسی مطرح‌اند، زیرا بسیاری از فرایندهای سطح زمین نظیر فتوسنتز، تنفس، تبخیر و تعرق و تبادل انرژی سطح-جو را کنترل می‌کنند و تغییرات آن‌ها می‌تواند پیامدهای گسترده‌ای در مقیاس‌های مختلف مکانی و زمانی به همراه داشته

باشد (Parviz et al., 2011).

Karampour and Yarahmadi, 2015). تغییرات حدی دما، به ویژه افزایش دماهای حداکثر و حداقل مطلق، می‌تواند بر تصمیم‌گیری در بخش‌های کشاورزی، شهرسازی و مدیریت منابع طبیعی اثرگذار باشد و از این رو تحلیل مکانی-زمانی این تغییرات اهمیت بالایی دارد (Khoshakhlaq et al., 2011).

پیچیدگی الگوهای دمایی ناشی از تأثیر هم‌زمان عوامل اقلیمی و ویژگی‌های سطح زمین است. پوشش گیاهی و پهنه‌های آبی از طریق تنظیم چرخه انرژی و آب، تغییر در آلودگی، افزایش یا کاهش تبخیر-تعرق و تعدیل شارهای حرارتی محسوس و نهان، نقش مهمی در کنترل دمای سطح زمین و دمای هوا ایفا می‌کنند. کاهش پوشش گیاهی می‌تواند با تغییر آلودگی و افزایش جذب انرژی خورشیدی، منجر به تشدید گرمایش سطحی شود (Miralles et al., 2011).

- NDVI توسط Mohammadi et al. (2025: 47) و دمای سطح زمین نیز به ویژگی‌های فیزیکی سطح، نوع پوشش، رطوبت خاک و خصوصیات بازتابی وابسته است (Morovati & Karami (2024). Karami et al., (2019). در این راستا، فناوری سنجش از دور با فراهم‌سازی داده‌های مکانی پیوسته، قدرت تفکیک مناسب و پوشش زمانی بلندمدت، ابزار مؤثری برای پایش تغییرات دما، پوشش گیاهی و منابع آبی در مقیاس‌های حوضه‌ای محسوب می‌شود (Fathifard et al., 2013; Mohammadi et al., 2017).
- در ایران، مطالعات متعددی به بررسی دمای سطح زمین و ارتباط آن با پوشش گیاهی یا تغییرات کاربری اراضی پرداخته‌اند؛ از جمله آنها می‌توان به بررسی اثر خشک‌شدن دریاچه ارومیه بر پارامترهای جوی (Saeedabadi (2016، مدل‌سازی دمای هوا بر اساس LST و
- NDVI توسط Mohammadi et al. (2017) و تحلیل ارتباط LST با پوشش گیاهی در مناطق شهری مانند اصفهان در مطالعات مربوط به Sadeghi et al. (2013) اشاره نمود. همچنین پژوهش‌هایی نظیر Foladi Doghezloo and Hayatzadeh (2014) نشان داده‌اند که همبستگی بین شاخص‌های پوشش گیاهی و پارامترهای اقلیمی در همه مقیاس‌ها الزاماً معنادار نیست. در سطح بین‌المللی نیز Yang et al. (2015) در مطالعات خود بر نقش پهنه‌های آبی در تعدیل دما و الگوهای فضایی گرمایش تأکید داشته‌اند، در حالی که در برخی پژوهش‌ها نظیر Liao et al. و Yiyang & Liu (2021) اثرات متفاوت و گاه متضاد پهنه‌های آبی را بسته به مقیاس مکانی و شرایط اقلیمی را نشان داده‌اند. در حوضه بختگان-طشک، بخش قابل توجهی از مطالعات موجود بر ابعاد انسانی و اجتماعی

تغییر اقلیم متمرکز بوده‌اند. به عنوان نمونه، (Hamidianpour et al. (2019 با بررسی میزان آگاهی کشاورزان نسبت به تغییر اقلیم در روستاهای پیرامونی دریاچه‌های طشک و بختگان نشان دادند که جوامع محلی از درک بالایی نسبت به پیامدهای تغییر اقلیم برخوردار بوده و بین سطح آگاهی و به‌کارگیری راهبردهای سازگاری رابطه مثبت و معناداری وجود دارد. همچنین نتایج این مطالعه بیانگر آن است که شدت اثرات منفی تغییر اقلیم با فاصله از پهنه‌های آبی کاهش می‌یابد که بر نقش تعدیل‌کننده منابع آبی در مقیاس محلی دلالت دارد. در ادامه این رویکرد، (Masoumi Jashani et al. (2024 با تمرکز بر سنجش آسیب‌پذیری کشاورزان در برابر تغییر اقلیم در پیرامون دریاچه‌های طشک و بختگان، نشان دادند که کاهش منابع آبی، افزایش تنش‌های اقلیمی و تغییرات دمایی، به طور مستقیم بر معیشت جوامع روستایی اثر گذاشته و سطح آسیب‌پذیری آنان را افزایش داده است. با وجود اهمیت این مطالعات، تمرکز آنها عمدتاً بر پیامدهای اجتماعی-اقتصادی تغییر اقلیم بوده و تحلیل مستقیم، کمی و فضایی سازوکارهای بیوفیزیکی مؤثر بر شکل‌گیری این تنش‌ها، از جمله تغییرات دمای سطح زمین، پوشش گیاهی و رطوبت سطحی، در آنها مورد بررسی قرار نگرفته است.

با وجود این حجم از مطالعات، یکی از خلأهای مهم پژوهشی در حوضه آبریز بختگان-مه‌ارلو، نبود یک چارچوب تحلیلی منسجم برای بررسی هم‌زمان و کمی اثر تغییرات شاخص‌های بیوفیزیکی NDVI، NDWI و LST بر سه مؤلفه دمایی هوا (میانگین دما، حداقل مطلق و حداکثر مطلق) و الگوی مکانی خوشه‌های حرارتی در یک بازه زمانی بلند مدت است. بسیاری از مطالعات یا صرفاً به تحلیل

همبستگی پرداخته‌لند، یا تمرکز آنها بر روندهای کلی تغییر دما بوده است، در حالی که تحلیل فضایی خوشه‌های حرارتی و پیوند آن با تغییرات هم‌زمان پوشش گیاهی و منابع آبی کمتر مورد توجه قرار گرفته است.

بر این اساس، نوآوری این پژوهش در کمی‌سازی هم‌زمان روابط آماری و فضایی بین شاخص‌های NDVI، NDWI و LST با میانگین دما، حداقل مطلق و حداکثر مطلق دما در طی دوره ۱۹۹۱ تا ۲۰۲۰ در حوضه بختگان-مه‌ارلو است. این مطالعه صرفاً به بررسی همبستگی اکتفا نکرده، بلکه با بهره‌گیری از رگرسیون چند متغیره و تحلیل لکه‌های داغ (G_i^*) به دنبال شناسایی الگوهای مکانی تمرکز گرمایش و سرمایش و ارتباط آن‌ها با تغییرات بیوفیزیکی سطح زمین است. اهداف اصلی این تحقیق شامل پایش تغییرات مکانی-زمانی پوشش گیاهی،

تغییرات سطح پهنه‌های آبی و دمای رویه زمین؛ بررسی رابطه آماری این شاخص‌ها با پارامترهای دمایی هوا؛ تعیین سهم نسبی هر شاخص در تبیین تغییرات دما؛ و شناسایی خوشه‌های داغ و سرد دمایی و هم‌پوشانی آن‌ها با مناطق تخریب پوشش گیاهی و کاهش منابع آبی است. بر این مبنای، سؤالات پژوهش عبارت‌اند از: شاخص‌های بیوفیزیکی مورد مطالعه در ماه مارس طی سه دهه گذشته چه روندی را در حوضه بختگان-مه‌ارلو نشان می‌دهند؟ رابطه این شاخص‌ها با میانگین، حداقل مطلق و حداکثر مطلق دما تا چه حد معنادار است؟ کدام یک از شاخص‌ها نقش غالب‌تری در تبیین تغییرات دما دارد؟ و خوشه‌های حرارتی دما در حوضه در کدام نواحی متمرکز شده‌اند و چه ارتباطی با تغییرات پوشش گیاهی و منابع آبی دارند؟ نتایج این پژوهش می‌تواند مبنایی علمی برای درک بهتر

دینامیک‌های حرارتی و ارائه راهکارهای مدیریتی در یکی از حساس‌ترین حوضه‌های اقلیمی جنوب ایران فراهم آورد.

۲. داده‌ها و روش‌ها

۲.۱. منطقه مورد مطالعه

پژوهش حاضر بر حوضه آبریز دریاچه‌های طشک، بختگان و مهارلو متمرکز است که با مساحتی معادل ۳۱/۴۹۲ کیلومتر مربع، یکی از منابع حیاتی تأمین آب استان فارس برای مقاصد کشاورزی و تولید انرژی برق‌آبی محسوب می‌شود. از نظر مورفولوژی، این حوضه از ترکیب نسبتاً متوازی برخوردار بوده، به طوری که حدود ۴۹ درصد از سطح آن را مناطق کوهستانی و ۵۱ درصد باقیمانده را دشت‌ها و مناطق کوهپایه‌ای تشکیل می‌دهند (National Water Statistical Yearbook, 2015). از منظر مدیریت منابع آب، این حوضه دارای اهمیت استراتژیک بوده و سدهای

مهمی نظیر درودزن، سیوند و ملاصدرا در محدوده آن قرار گرفته‌اند (Ismaili, 2013). با این حال، این منطقه به دلیل عدم تخصیص حقابه‌های زیست‌محیطی و تداوم خشکسالی‌های متوالی، با کاهش مستمر وسعت تالاب‌ها مواجه شده است. رشد بالای جمعیت و بهره‌برداری بیش از حد از منابع آبی، منجر به تجربه کاهش ۱۳.۸ درصدی رواناب سطحی شده و حوضه را در رده‌بندی مناطق با احتمال بالای بروز تنش‌های آبی قرار داده است. از لحاظ اقلیم‌شناسی، بارش حوضه تحت تأثیر رژیم مدیترانه‌ای است و میزان آن در نواحی مختلف بین ۲۰۰ تا ۷۰۰ میلی‌متر متغیر می‌باشد (Moradi et al., 2019). سامانه زهکشی حوضه آبریز بختگان توسط دو رودخانه اصلی کر و سیوند صورت می‌گیرد؛ رود کر از ارتفاعات شمال و شمال غرب سرچشمه گرفته و به دریاچه‌های بختگان-طشک

جدی اجتماعی، بهداشتی و محیط زیستی شده است (Mozafari et al., 2022).

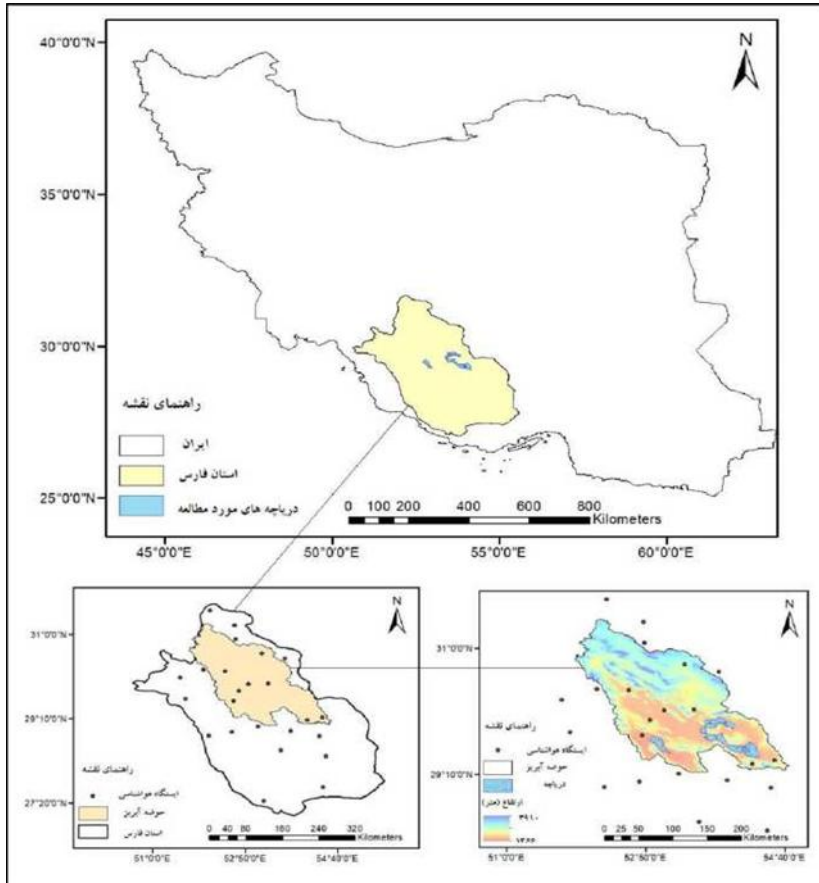
۲.۲. داده‌ها

در پژوهش حاضر به بررسی برخی پارامترهای بیوفیزیکی و تأثیر آنها بر ویژگی‌های دمایی شامل حداکثر و حداقل مطلق دما و میانگین دما در ماه مارس در حوضه آبریز بختگان-مهارلو پرداخته شده است. برای این منظور، دو مجموعه داده مورد استفاده قرار گرفت:

مجموعه اول شامل داده‌های مربوط به دمای میانگین، حداکثر و حداقل مطلق دما در ماه مارس طی سال‌های ۱۹۹۱، ۱۹۹۴، ۲۰۰۰، ۲۰۰۶، ۲۰۰۹، ۲۰۱۵ و ۲۰۲۰ است که از ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک واقع در حوضه آبریز بختگان-مهارلو و مناطق پیرامونی آن استخراج شده است. در این راستا داده‌های مربوط به میانگین، بیشینه و کمینه دما برای ایستگاه‌های ایزدخواست، آباده، اقلید،

منتهی می‌شود، در حالی که رود سیوند از شمال غرب آغاز شده و در محل پل خان به رودخانه کر می‌پیوندد. الگوی اقلیمی غالب در منطقه، مدیترانه‌ای بوده و بیشترین میزان ریزش‌های جوی در بازه زمانی اواسط پاییز تا اواسط بهار رخ می‌دهد، به طوری که مناطق شمال غربی حوضه بیشترین میزان بارش را دریافت کرده و با حرکت به سمت جنوب، میزان بارندگی کاهش می‌یابد (Hosseini and Mozaffari, 2021). دریاچه‌های طشک و بختگان، به عنوان دومین مجموعه دریاچه‌ای بزرگ ایران، در داخل منطقه حفاظت شده پارک ملی بختگان در استان فارس واقع شده‌اند و از سال ۱۳۸۷ (۲۰۰۸ میلادی) با بحران شدید کم‌آبی و خشکی دست و پنجه نرم می‌کنند. این پدیده به طور مستقیم منجر به اختلال در بوم‌سازگان منطقه و بروز کاستی‌های

بوانات، درودزن، تخت جمشید، زرقان،
 شیراز، نیریز، فسا، داراب، جهرم، لارستان
 و لامرد در ماه مارس از اداره هواشناسی
 استان فارس دریافت گردید (شکل ۱ و
 جدول ۱).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی و پراکنش ایستگاههای سینوپتیک مورد مطالعه

ماه مارس در استان فارس و حوضه
 بختگان-مهارلو به طور معمول با تغییرات
 فصلی و شروع فصل رشد گیاهی همراه
 است و در این زمان تغییرات دمایی قابل
 توجهی اتفاق می افتد. طبق مطالعات انجام
 شده در سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج
 کشاورزی، مشخص شده که بیشترین
 تولید گیاهی در اوایل فصل رشد، به ویژه

در خردادماه، اتفاق می‌افتد و این نشان‌دهنده آغاز فعالیت رویشی از اواخر اسفند یا اوایل فروردین است. همچنین، نقشه‌های اقلیمی بلندمدت استان فارس تغییرات بارش و دمای میانگین در ماه‌های بهار را نشان می‌دهند که می‌توانند مبنای آغاز رشد گیاهی باشند (Agricultural Research, Education and Extension Organization, 2018).

علاوه بر این، مطالعه‌ای که توسط Souri et al., 2019 انجام شده، تأثیر مستقیم بارش در فصل رشد و دما بر تولید علوفه گیاهی در استان فارس را تأیید کرده است. از منظر تغییر اقلیم، داده‌های اخیر نشان‌دهنده کاهش رواناب و افزایش خشکی در حوضه بختگان-مهارلو تا سال ۲۰۲۵ هستند، که ضرورت بررسی تغییرات فصلی و رشد گیاهی در فصل بهار را افزایش می‌دهد. بنابراین، ماه مارس در استان فارس و حوضه بختگان-مهارلو به

دلیل تغییرات فصلی و آغاز فصل رشد گیاهی، به‌ویژه با توجه به نوسانات دما و بارش، به عنوان موضوعی مهم برای پژوهش در نظر گرفته شده است.

گروه دیگری از داده‌هایی که در این تحقیق به کار رفته‌اند، شامل تصاویر ماهواره‌ای سری لندست ۵ و ۸ است که به ماه مارس در سال‌های ۱۹۹۱، ۱۹۹۴، ۲۰۰۰، ۲۰۰۶، ۲۰۰۹، ۲۰۱۵ و ۲۰۲۰ مربوط می‌شود. این داده‌ها از طریق سامانه Google Earth Engine استخراج شده و مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در این پژوهش، شاخص گیاهی تفاضل نرمال شده (NDVI)، شاخص تفاضلی نرمال شده آب (NDWI) و دمای سطح زمین (LST) از داده‌های ماهواره‌ای لندست ۵ (TM) و لندست ۸ (OLI/TIRS) با فاصله زمانی ۱۶ روزه و قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر به دست آمده است. تصاویر لندست به دلیل پوشش زمانی طولانی و توانایی ثبت

۲.۳. روش‌ها

در سال‌های اخیر، تصاویر ماهواره‌ای به دلیل توانایی بالای تفکیک مکانی، زمانی و طیفی، به عنوان یکی از ابزارهای اصلی برای پایش و نقشه‌برداری پدیده‌های زمین شناخته شده‌اند (Radox et al., 2016). این تحقیقات از سال ۱۹۹۵ میلادی با معرفی شاخص اختلاف آب نرمال شده (NDWI) آغاز شد و به تدریج روش‌ها و شاخص‌های جدیدی توسعه پیدا کردند که منجر به افزایش دقت نتایج گردید (Sotoudehpour et al., 2024). در این مطالعه، برای رسیدن به اهداف مورد نظر، از یک چارچوب تحلیلی بر پایه داده‌های ماهواره‌ای و تکنیک‌های آماری استفاده شده است.

فرآیند کار به این صورت است که تمامی محاسبات دما بر اساس انرژی تابشی که از سطح زمین دریافت می‌شود، انجام می‌گیرد. بنابراین، نخستین مرحله این

تغییرات محیطی با دقت بالا و پوشش مکانی وسیع انتخاب گردیده‌اند (Sadeghinia et al., 2012). علاوه بر این، در این پژوهش برای بررسی تغییرات میانگین دما، حداکثر و حداقل مطلق دما و ارتباط آن با پارامترهای بیوفیزیکی سطح زمین، از تحلیل روند من کندال استفاده شده است. داده‌های مربوط به ۱۴ ایستگاه سینوپتیک در حوضه آبریز بختگان-مهارلو این تحلیل را پشتیبانی می‌کنند. ایستگاه‌ها شامل ایزدخواست، بوانات، تخت جمشید، آباد، داراب، اقلید، فسا، شیراز، جهرم، لار، لامرد، زرقان، درودزن و طشک هستند که به خوبی توزیع مکانی آنها مناطق مختلف حوضه و اطراف آن را پوشش می‌دهد. این تحلیل‌ها می‌توانند اطلاعات مفیدی را در خصوص تغییرات دما و تأثیرات آن بر روی محیط زیست ارائه دهند و به درک بهتر از چالش‌های زیست‌محیطی کمک کنند.

فرآیند محاسبه رادیانس طیفی است. این پارامتر نشان‌دهنده میزان انرژی‌ای است که از سطح زمین بازتابیده می‌شود و توسط سنجنده‌ها ثبت می‌گردد. رادیانس طیفی مبنای محاسبه مراحل بعدی همچون دمای روشنایی و دمای سطح زمین قرار می‌گیرد. برای محاسبه رادیانس طیفی در هر باند، از یک فرمول خاص (رابطه ۱) استفاده می‌شود که به دقت انرژی تابشی را اندازه‌گیری می‌کند و این داده‌ها به ما کمک می‌کنند تا تحلیل‌های دقیق‌تری از وضعیت سطح زمین انجام دهیم.

(۱)

$$L\lambda = ((L_{MAX} - L_{MIN}) / (Q_{CALMAX} - Q_{CALMIN})) * (DN - Q_{CALMIN}) + L_{MIN}$$

در رابطه (۱): DN عدد رقومی هر پیکسل، L_{MAX} و L_{MIN} ضریب ثابت کالیبراسیون^۲ سنجنده و یا مقدار حداکثر و حداقل رادیانس باند حرارتی سنجنده،

Q_{CALMAX} و Q_{CALMIN} به ترتیب بزرگترین و کوچکترین مقدار عددی است که برای باندهای حرارتی سنجنده‌های TM و ETM می‌باشد.

در مرحله بعد، رادیانس طیفی به دمای روشنایی تبدیل شد؛ این دما نشان‌دهنده مقدار دمایی است که یک جسم سیاه ایده‌آل در شرایط تابشی مشابه با سطح زمین باید داشته باشد تا همان مقدار انرژی را تابش کند. این مقدار، مبنای لازم برای محاسبه دقیق دمای واقعی سطح زمین در مراحل بعدی است. این مرحله بر اساس رابطه زیر انجام شده است ($Alademomi$ et al., 2022)

(et al., 2022)

(۲)

$$BT = K_2 / \ln (K_1 / L\lambda + 1)$$

در رابطه (۲): BT دمای روشنایی ماهواره بر حسب کلوین، $L\lambda$ تابش طیفی باند حرارتی، K_1 و K_2 ضریب ثابت کالیبراسیون

². Calibration constants

¹. Digital Number (DN)

استفاده از رابطه زیر انجام شد (Sobrin et al., 2004 و ۴۳۸ al., 2021)

(۴)

$$LST = BT / (1 + (\lambda * BT / \rho) * \ln(\epsilon))$$

در رابطه بالا B دمای روشنایی، λ

رادیانس باند حرارتی و ρ مقدار ثابت

۱۴۳۸۰ و ϵ گسیلمندی سطح زمین می-

باشد.

در گام بعد به منظور مقایسه دقیق دمای

سطح زمین در سال‌های مختلف و حذف

تأثیرات اختلاف مقیاس بین تصاویر، مقادیر

دمایی بر اساس رابطه زیر به صورت

استاندارد شده (نرمال) محاسبه گردیدند

(Hashemi et al., 2013):

(۵)

$$NLST = (LST - LSTmin) /$$

$$(LSTmax - LSTmin)$$

در رابطه (۵): NLST دمای نرمال شده

رویه زمین، LST دمای رویه زمین،

هستند. برای افزایش دقت دمای سطح، در

گام سوم میزان گسیلمندی سطح زمین (ϵ)

با استفاده از شاخص NDVI محاسبه شد

تا تفاوت ویژگی‌های سطحی زمین مانند

خاک، گیاه یا سطوح آبی در تصحیح

حرارتی لحاظ گردد (How Jin Aik et al., 2020)

(۳)

$$\epsilon = \epsilon_{veg} * P_v + \epsilon_{soil} * (1 - P_v) + C$$

در رابطه (۳): ϵ_{soil} گسیلمندی خاک

لخت، ϵ_{veg} گسیلمندی پوشش گیاهی و

P_v نسبت پوشش گیاهی^۱ می‌باشد

(Hashemi et al., 2013 و

(Vanhellemont et al., 2020)

در ادامه، دمای سطح زمین با اعمال

گسیلمندی محاسبه گردید. این دما

مستقیماً برای تحلیل تغییرات گرمایی

سطح زمین به کار رفت. این مرحله با

^۱Proportion of Vegetation (PV)

شاخص NDWI به منظور شناسایی و تفکیک پهنه‌های آبی از خاک و پوشش گیاهی به کار می‌رود. این شاخص از اختلاف بازتاب در باند سبز و مادون قرمز نزدیک بر اساس رابطه زیر محاسبه شده است (Gao., 1996)

(۷)

$$NDWI = (GREEN - NIR) / (GREEN + NIR)$$

در رابطه (۷): (Green) بازتاب سطحی در باند سبز و (NIR) بازتاب سطحی در باند مادون قرمز نزدیک است. مقادیر مثبت بالای این شاخص (نزدیک به +۱) نشان دهنده حضور آب و مقادیر منفی نشان دهنده کمبود منابع آبی یا نبود آب است. در ادامه جهت بررسی ارتباط بین فاکتورهای مورد نظر در ماه مارس به دلیل در اختیار داشتن داده‌های ایستگاهی مقادیر دما جهت انجام تحلیل‌ها نیاز به داده‌های مکانی نیز می‌باشد. جهت ترسیم نقشه‌های هم‌ارزش بر حسب ماهیت داده‌های دما از

LST_{min} و LST_{max} به ترتیب دمای رویه کمینه و بیشینه برای محدوده مورد مطالعه می‌باشد.

هم‌زمان با محاسبات مربوط به دمای سطح زمین، در مرحله بعد، شاخص‌های NDVI برای پوشش گیاهی و NDWI برای منابع آبی استخراج شدند. این شاخص‌ها نقش کلیدی در تکمیل تحلیل‌های دمایی ایفا کردند، چراکه با ارائه تصویری دقیق از وضعیت پوشش سبز و آبهای سطحی، امکان بررسی تأثیر این عوامل بر دمای سطح زمین را فراهم کردند. شاخص پوشش گیاهی (NDVI) با انجام نسبت-گیری بین باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک قابل استخراج می‌باشد (Siqu et al., 2020)

(۶)

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$$

در رابطه (۶): NIR باند مادون قرمز و RED باند قرمز سنجنده است.

روش IDW استفاده شد. روش IDW به عنوان یکی از مناسب ترین روش های میان یابی برای ترسیم نقشه های هم ارزش پیشنهاد شده است. این روش برای هر ایستگاه هواشناسی یک تاثیر محلی در نظر می گیرد که با فاصله کاسته می شود. در این روش نقاط نزدیک تر به سلول مورد نظر وزن بیشتری نسبت به نقاط دورتر اختصاص داده می شود. (Karampour and Yarahmadi, 2015)

جهت بررسی ارتباط بین شاخص NDWI, NDVI, LST و دمای میانگین، حداکثر و حداقل مطلق از همبستگی پیرسون استفاده گردید. تحلیل همبستگی ابزار آماری برای تعیین نوع و درجه رابطه یک متغیر کمی با متغیر کمی دیگر می باشد. ضریب همبستگی شدت رابطه و همچنین نوع رابطه (مستقیم یا معکوس) را نشان می دهد. این ضریب بین ۱- تا ۱+ است و در صورت عدم وجود رابطه

بین دو متغیر برابر صفر می باشد. ضرایب رگرسیون و همبستگی ساده در مواردی که متغیر تابع تحت تاثیر چند متغیر دیگر قرار می گیرد، از اعتبار چندانی برخوردار نیستند. در این شرایط به دنبال تاثیر دو یا چند متغیر مستقل بر یک متغیر وابسته هستیم. رگرسیون چند متغیره، روشی برای تحلیل مشارکت جمعی و فردی دو یا چند متغیر مستقل در تغییرات یک متغیر وابسته به شمار می رود. رگرسیون چند متغیری از طریق مشارکت دو یا چند متغیر مستقل، پراش متغیر وابسته را تبیین می کند (Asakreh, 2011) در روش گام به گام متغیرهای مستقل به صورت مرحله ای از مهم ترین متغیر تا کم اهمیت ترین آنها وارد مدل می شوند. روش گام به گام روشی ترکیبی از روش پیشرو و پس رو می باشد. در این روش متغیرهای مستقل یکی یکی به معادله رگرسیون اضافه می شوند و اگر نقش معنی داری در رگرسیون نداشته

باشند از آن حذف می‌شود. در واقع در این روش اولین متغیری که مقدار معنی داری آزمون t یا F آن از سایر متغیرها بیشتر باشد وارد مدل می‌شود. این روند تا جایی ادامه پیدا میکند که معنی داری آنها در آزمون F به سطح اطمینان 95% برسد، سپس عملیات متوقف می‌شود).

(Khosravi, 2017) جهت آشکارسازی رابطه بین متغیرهای NDWI, NDVI, LST و پارامتر اقلیمی دمای میانگین، حداکثر و حداقل مطلق از تحلیل لکه‌های داغ و آماره Gi^* در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شد. در این روش، نمره Z -score محاسبه شده و نشان داده می‌شود که در کدام مناطق، داده‌ها به صورت خوشه‌ای با مقادیر بالا (لکه‌های داغ) یا مقادیر پایین (لکه‌های سرد) توزیع شده‌اند. نمره Z مثبت بالای ۱/۹۶ به عنوان خوشه‌های معنادار دمای بالا در سطح اطمینان ۹۹ درصد در نظر گرفته می‌شود

و در نقشه به رنگ قرمز نمایش داده می‌شود. هرچه مقدار Z کاهش یابد، معناداری آماری کمتر خواهد شد.

۳. یافته‌ها و نتایج

جداول ۱، ۲ و ۳ نتایج تحلیل روند آزمون من-کندال را برای ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک واقع در داخل محدوده حوضه آبریز بختگان-مه‌ارلو در ماه مارس و در سطح معنی داری ۵ درصد ارائه می‌دهند. بر اساس این آزمون، در صورتی که مقدار آماره Z محاسبه شده بزرگ‌تر از ۱/۹۶ باشد، روند داده‌ها در سطح ۵ درصد معنی دار تلقی می‌شود و در غیر این صورت، روند از نظر آماری معنی دار نخواهد بود (Kolaian et al., 2017).

در بازتعریف دامنه تحلیل پژوهش حاضر، به منظور افزایش همخوانی فضایی داده‌ها با محدوده مورد مطالعه و جلوگیری از بروز سوگیری مکانی، تحلیل‌های آماری صرفاً بر اساس داده‌های ثبت شده در

ایستگاه‌های درودزن، شیراز، زرقان و نی‌ریز که به طور کامل در داخل مرز حوضه آبریز بختگان-مهارلو قرار دارند، انجام شده است.

بر اساس نتایج ارائه شده در جدول (۱)، هیچ یک از ایستگاه‌های داخل حوضه آبریز روند معنی‌دار افزایشی یا کاهشی در حداقل مطلق دما در ماه مارس نشان نمی‌دهند. نتایج آزمون من-کندال برای حداکثر مطلق دما (جدول ۲) و میانگین دما (جدول ۳) نیز نشان می‌دهد که تغییرات دمایی ثبت شده در ایستگاه‌های داخل محدوده حوضه از نظر آماری دارای روند معنادار در سطح اطمینان ۹۵ درصد نیستند. این یافته‌ها بیانگر آن است که در بازه زمانی مورد بررسی، الگوهای دمایی ماه مارس در حوضه آبریز بختگان-مهارلو از پایداری نسبی برخوردار بوده و تغییرات مشاهده‌شده در مقیاس ایستگاه‌های داخل حوضه، واجد روند آماری مشخصی نبوده‌اند. بر این اساس، کلیه تفسیرها و جمع‌بندی‌های پژوهش حاضر بر مبنای داده‌های هم‌مکان با محدوده حوضه آبریز انجام شده است. این تحقیق به بررسی رابطه ماهانه شاخص‌های LST، NDVI و NDWI در ماه مارس و همچنین میانگین دما، حداقل و حداکثر مطلق دما در همان ماه پرداخته است. در این مطالعه، از ضریب همبستگی پیرسون به عنوان آماره اصلی استفاده شده است. نتایج همبستگی در جداول ۴، ۵ و ۶ ارائه شده‌اند. طبق جدول ۴، بالاترین همبستگی بین شاخص‌های LST، NDVI، NDWI و میانگین دما در سال ۲۰۰۹ مشاهده می‌شود. ضرایب همبستگی برای ۴۲۰ داده محاسبه شده است. در جدول ۵، بررسی همبستگی شاخص‌ها با حداکثر مطلق دما نشان می‌دهد که شاخص LST در سال ۲۰۰۹ بالاترین همبستگی را دارد، به طوری که افزایش دمای سطح زمین منجر به افزایش

شماره ۷، خلاصه‌ای از مدل رگرسیون برای شاخص NDWI با حداکثر مطلق دما همبستگی معکوس $r=-0.27$ و شاخص NDVI نیز همبستگی منفی $r=-0.17$ را نشان می‌دهد. در رابطه با حداقل مطلق دما، همبستگی شاخص LST با حداقل مطلق دما در سال ۲۰۰۹ و ماه مارس برابر با $r=0.42$ است. سایر شاخص‌ها ارتباط کمتری با حداقل مطلق دما دارند. نتایج نشان‌دهنده همبستگی معنادار در سطح اطمینان ۹۹ درصد و مقدار $\text{sig}=0.00$ هستند که این مقدار کمتر از ۰.۰۵ می‌باشد. بنابراین، فرض H_0 رد شده و همبستگی بین متغیرها دارای معنی است. با توجه به نتایج همبستگی، برای بررسی روابط بین عوامل مختلف و مدل‌سازی آن‌ها از روش رگرسیون چند متغیره استفاده شده است. در سال ۲۰۰۹ بیشترین همبستگی مشاهده شد و به همین دلیل داده‌های مربوط به آن سال برای مدل‌سازی رگرسیون انتخاب گردید. در جدول

شماره ۷، خلاصه‌ای از مدل رگرسیون برای مدل‌سازی میانگین دما ارائه شده است. ضریب رگرسیون چندمتغیره R برابر با ۰.۵۰۴ به دست آمده است که نشان‌دهنده ارتباط خطی مناسبی بین سه متغیر مستقل و متغیر وابسته، یعنی میانگین دمای ماه مارس ۲۰۰۹، می‌باشد. همچنین، ضریب تعیین R^2 که معادل ۰/۲۵۴ است، به این معناست که این سه عامل می‌توانند ۲۵ درصد از تغییرات میانگین دمای ماه مارس در حوضه بختگان-مه‌ارلو را توضیح دهند. مدل تحلیل رگرسیون برای حداکثر دما (جدول ۸) نتایج مشابهی با مدل میانگین دما ارائه کرده است. در این مدل، ارتباط بین شاخص‌های NDWI و NDVI و حداقل دما نیز نسبتاً پایین بود. با این حال، فقط دمای سطح زمین ماه مارس توانسته است پیوند خطی مناسبی را برقرار کند. این نتایج نشان می‌دهد که در تحلیل‌های دما، انتخاب متغیرهای مناسب از اهمیت بالایی برخوردار است و می‌تواند بر دقت پیش‌بینی‌ها تأثیر بگذارد.

جدول ۱: نتایج حاصل از آزمون روند من کندال حداقل دما در سطح اطمینان ۹۵ درصد در ایستگاه‌های مورد مطالعه در ماه مارس

ایستگاه‌های مورد مطالعه	میزان واریانس	میزان Z	وضعیت روند
ایزدخواست	۱۸۳۳/۳۳۳	۱/۱۲۱	بدون روند
آباده	۳۴۶۱/۶۶۷	۲/۳۷۹	روند معنی دار افزایشی
اقلید	۲۰۵۸/۳۳۳	۰/۵۲۹	بدون روند
بوانات	۶۹۷	-۰/۷۵۸	بدون روند
درودزن	۳۴۶۱/۶۶۷	-۱/۱۹	بدون روند
تخت جمشید	۱۰۹۶/۶۶۷	۰/۵۴۴	بدون روند
زرقان	۳۴۶۱/۶۶۷	۱/۱۹	بدون روند
شیراز	۳۴۶۱/۶۶۷	-۰/۹۶۹	بدون روند
نی ریز	۹۵۰	-۱/۰۰۶	بدون روند
فسا	۳۴۶۱/۶۶۷	۲/۳۲۹	روند معنی دار افزایشی
داراب	۱۰۹۶/۶۶۷	۰/۴۸۳	بدون روند
جهرم	۹۵۰	۰/۵۵۲	بدون روند
لارستان	۳۴۶۱/۶۶۷	۲/۱۵۹	روند معنی دار افزایشی
لامرد	۲۰۵۸/۳۳۳	۱/۰۳۶	بدون روند

جدول ۲: نتایج حاصل از آزمون روند من کندال حداکثر دما در سطح اطمینان ۹۵ درصد در ایستگاه‌های مورد مطالعه در ماه مارس

ایستگاه‌های مورد مطالعه	میزان واریانس	میزان Z	وضعیت روند
ایزدخواست	۱۸۳۳/۳۳۳	۰/۰۲۳	بدون روند
آباده	۳۴۶۱/۶۶۷	۲/۵۴۹	روند معنی دار افزایشی
اقلید	۲۰۵۸/۳۳۳	۲/۲۷	روند معنی دار افزایشی
بوانات	۶۹۷	-۰/۰۳۸	بدون روند
درودزن	۳۴۶۱/۶۶۷	۲/۵۱۵	روند معنی دار افزایشی
تخت جمشید	۱۰۹۶/۶۶۷	۱/۳۵۹	بدون روند
زرقان	۳۴۶۱/۶۶۷	۲/۴۸۱	روند معنی دار افزایشی
شیراز	۳۴۶۱/۶۶۷	۲/۷۰۲	روند معنی دار افزایشی
فسا	۳۴۶۱/۶۶۷	۲/۱۵۹	روند معنی دار افزایشی
داراب	۱۰۹۶/۶۶۷	-۰/۶۰۴	بدون روند
جهرم	۹۵۰	-۱/۲۶۵	بدون روند
لارستان	۳۴۶۱/۶۶۷	۱/۵۳	بدون روند
لامرد	۲۰۵۸/۳۳۳	۱/۰۳۶	بدون روند
نی ریز	۹۵۰	-۱/۰۰۶	بدون روند

جدول ۳: نتایج حاصل از آزمون روند من کندال میانگین دما در سطح اطمینان ۹۵ درصد در ایستگاه -

های مورد مطالعه در ماه مارس

وضعیت روند	میزان Z	میزان واریانس	ایستگاه‌های مورد مطالعه
بدون روند	۰/۵۸۴	۱۸۳۳/۳۳۳	ایزدخواست
بدون روند	۱/۶۶۶	۳۴۶۱/۶۶۷	آباده
بدون روند	۱/۶۹۷	۲۰۵۸/۳۳۳	اقلید
بدون روند	-۰/۳۷۹	۶۹۷	بوانات
بدون روند	۱/۶۲۳	۳۴۶۱/۶۶۷	درودزن
بدون روند	۰/۵۷۴	۱۰۹۶/۶۶۷	تخت جمشید
روند معنی دار افزایشی	۳/۱۷۸	۳۴۶۱/۶۶۷	زرقان
روند معنی دار افزایشی	۲/۳۷۹	۳۴۶۱/۶۶۷	شیراز
بدون روند	-۰/۴۵۴	۹۵۰	نی ریز
روند معنی دار افزایشی	۳/۰۰۸	۳۴۶۱/۶۶۷	فسا
بدون روند	-۰/۵۴۴	۱۰۹۶/۶۶۷	داراب
روند معنی دار افزایشی	۲/۲۱	۳۴۶۱/۶۶۷	چهرم
روند معنی دار افزایشی	۲/۵۶۶	۳۴۶۱/۶۶۷	لارستان
بدون روند	۱/۶۹۷	۲۰۵۸/۳۳۳	لامرد

جدول ۴: ضرایب همبستگی شاخص‌های LST, NDWI, NDVI با دمای میانگین در سال‌های مورد

مطالعه

سال	میزان همبستگی شاخص NDWI و میانگین دما	میزان همبستگی شاخص NDVI و میانگین دما	میزان همبستگی شاخص LST و میانگین دما
۱۹۹۱	۰/۱۱۲**	۰/۰۱	۰/۲۶**
۱۹۹۴	**۰/۲۱	**۰/۱۱	**۰/۱۹
۲۰۰۰	**۰/۱۲	۰/۰۱	۰/۰۰۷
۲۰۰۶	**۰/۱۴	-۰/۰۲	۰/۰۹
۲۰۰۹	**۰/۲۵	**۰/۱۳	۰/۴۴**
۲۰۱۵	۰/۰۹	۰/۰۵	**۰/۴
۲۰۲۰	۰/۰۸	۰/۰۵	**۰/۳۲

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

جدول ۵: ضرایب همبستگی شاخص های LST, NDWI, NDVI با دمای حداکثر در سال های

مورد مطالعه			
سال	میزان همبستگی شاخص NDWI و حداکثر دما	میزان همبستگی شاخص NDVI و حداکثر دما	میزان همبستگی شاخص LST و حداکثر دما
۱۹۹۱	۰/۰۷	۰/۰۷	**۰/۲۱
۱۹۹۴	**۰/۲۷	**۰/۱۷	**۰/۲۳
۲۰۰۰	**۰/۱۱	۰/۰۵	۰/۰۴
۲۰۰۶	۰/۰۵	۰/۱۱**	۰/۰۹
۲۰۰۹	**۰/۲	۰/۰۶	**۰/۴۲
۲۰۱۵	۰/۰۲	**۰/۱۳	**۰/۴
۲۰۲۰	۰/۰۰۹	۰/۰۲	**۰/۳۵

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

جدول ۶: ضرایب همبستگی شاخص های LST, NDWI, NDVI با دمای حداقل در سال های

مورد مطالعه			
سال	میزان همبستگی شاخص NDWI و حداقل دما	میزان همبستگی شاخص NDVI و حداقل دما	میزان همبستگی شاخص LST و حداقل دما
۱۹۹۱	۰/۰۱	۰/۰۹	۰/۲**
۱۹۹۴	۰/۰۷	۰/۰۱	**۰/۱۱
۲۰۰۰	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۰۴
۲۰۰۶	**۰/۱	۰/۰۱	۰/۰۹
۲۰۰۹	**۰/۱۳	۰/۰۰۷	**۰/۴۲
۲۰۱۵	۰/۰۲	۰/۰۹	**۰/۳۶
۲۰۲۰	۰/۰۰۳	۰/۰۷	۰/۲۷

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

جدول ۷: مقادیر ضریب رگرسیون و ضریب تبیین در روش گام به گام

مدل	R	R ²	تعدیل شده R ²	خطای استاندارد تخمین
۱	^a ۰/۴۴۷	۰/۲	۰/۱۹۸	۱/۱۱
۲	^b ۰/۴۷۳	۰/۲۲۴	۰/۲۲۴	۱/۱
۳	^c ۰/۵۰۴	۰/۲۵۴	۰/۲۴۹	۱/۰۷

a: پیش بینی کننده دمای سطح زمین در سال ۲۰۰۹ ماه مارس

b: پیش بینی کننده: دمای سطح زمین در سال ۲۰۰۹ ماه مارس، شاخص NDWI سال ۲۰۰۹ ماه مارس

c: پیش بینی کننده: دمای سطح زمین در سال ۲۰۰۹ ماه مارس، شاخص NDWI سال ۲۰۰۹ ماه مارس،

شاخص NDVI سال ۲۰۰۹ ماه مارس

متغیر وابسته: میانگین دمای هوا

جدول ۸: مقادیر ضریب رگرسیون و ضریب تبیین در روش گام به گام

مدل	R	R ²	تعدیل شده R ²	خطای استاندارد تخمین
۱	^a ۰/۴۲	۰/۱۷	۰/۱۷	۱.۲
۲	^b ۰/۴۳	۰/۱۸	۰/۱۸	۱.۲
۳	^c ۰/۴۹	۰/۲۴	۰/۲۳	۱.۲

a: پیش بینی کننده دمای سطح زمین در سال ۲۰۰۹ ماه مارس

b: پیش بینی کننده: دمای سطح زمین در سال ۲۰۰۹ ماه مارس، شاخص NDWI سال ۲۰۰۹ ماه

مارس

c: پیش بینی کننده: دمای سطح زمین در سال ۲۰۰۹ ماه مارس، شاخص NDWI سال ۲۰۰۹ ماه

مارس، شاخص NDVI سال ۲۰۰۹ ماه مارس

متغیر وابسته: حداکثر دما

جدول ۹: مقادیر ضریب رگرسیون و ضریب تبیین در روش گام به گام

مدل	R	R ²	تعدیل شده R ²	خطای استاندارد تخمین
۱	^a ۰/۳۶	۰/۱۳	۰/۱۲	۱/۵

a: پیش بینی کننده: دمای سطح زمین در سال ۲۰۰۹ ماه مارس

متغیر وابسته: حداقل دما ماه مارس سال ۲۰۰۹

به منظور بررسی عمیق‌تر، از مدل‌های تغییرات پارامترهای دمای میانگین، حداقل

تحلیل فضایی بهره‌برداری شده است تا و حداکثر مطلق دما در حوضه در ماه مارس

در سال های ۱۹۹۱، ۱۹۹۴، ۲۰۰۰، ۲۰۰۶، تحت تاثیر دماهای بالاتر قرار گرفته اند. بر اساس داده ها، کمترین دمای میانگین تا سال ۲۰۰۶ به ۵ درجه سلسیوس رسیده بود. اما از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۲۰، این دما در مناطق شمالی حوضه به ۸ درجه سانتیگراد افزایش یافته است. در مورد نواحی جنوبی حوضه، دماهای بالای میانگین از سال ۲۰۰۰ به بعد از ۱۱ درجه سانتیگراد به ۱۴ درجه سانتیگراد ترقی کرده اند. این تغییرات دمایی نشان دهنده تأثیرات احتمالی تغییرات اقلیمی بر مناطق مختلف حوضه است و می تواند بر اکوسیستم ها و فعالیت های انسانی تأثیرات قابل توجهی داشته باشد. بررسی این روندها برای درک بهتر از شرایط جوی و بهبود مدیریت منابع طبیعی در این مناطق حائز اهمیت است.

با توجه به شکل ۴، سردترین ناحیه در حوضه، در بخش شمال و شمال شرقی آن واقع شده است. این مناطق به دلیل ارتفاع بیشتر، دماهای پایین تری را تجربه

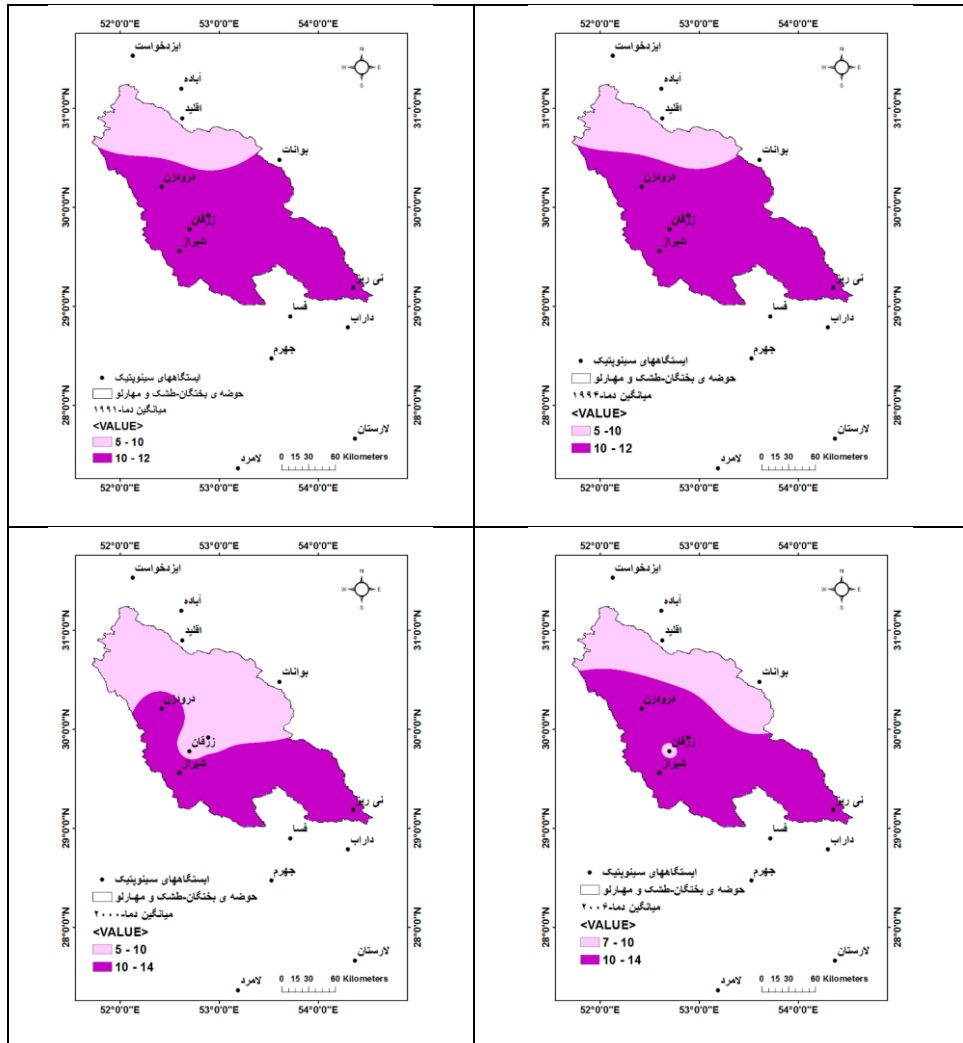
در سال های ۱۹۹۱، ۱۹۹۴، ۲۰۰۰، ۲۰۰۶، ۲۰۰۹، ۲۰۱۵ و ۲۰۲۰ مورد ارزیابی قرار گیرد. این تحلیل ها همچنین رابطه این پارامترها را با شاخص های NDWI، NDVI و LST در سال های مذکور روشن می کند. نقشه های دما شامل میانگین دما، حداقل و حداکثر مطلق دما، بر اساس داده های ایستگاهی تهیه شده اند و نقشه های مربوط به شاخص های دمای سطح زمین، پوشش گیاهی و منابع آبی نیز از داده های ماهواره ای که از سامانه گوگل ارث انجین استخراج شده اند، به دست آمده است. این رویکرد تحلیلی به ما کمک می کند تا تغییرات دما و ارتباط آن با شرایط محیطی را به شکل بهتری درک نموده و بر اساس داده های دقیق تر، نتایج معناداری بدست آوریم. نقشه های میانگین دما (شکل ۳) نشان می دهند که کمترین دمای میانگین در نواحی شمال حوضه قرار دارد، در حالی که نواحی جنوبی حوضه

می‌کنند. در مقابل، نواحی جنوبی و جنوب شرقی حوضه، دماهایی بالاتر از حداقل دما را دارند. کمترین دما در این حوضه به -۱۰ درجه سلسیوس رسیده که در سال‌های اخیر، به ویژه در سال ۲۰۱۵، تغییرات قابل توجهی را نشان می‌دهد. تحقیقات (Khoshakhlaq et al., 2011) نیز به این نکته اشاره دارند که حداقل دماها در تمامی ایستگاه‌های ایران رو به افزایش بوده است. به همین ترتیب، Fanai et al (2021) و (Sadeghi Attabadi et al. 2013) نیز در بررسی‌های خود، روند افزایشی دماهای حداقل در مناطق جنوبی ایران، به ویژه در استان فارس، را تأیید کرده‌اند. این افزایش دما نشان‌دهنده تغییرات اقلیمی در این مناطق است و نیاز به توجه و اقدام‌های مناسب در راستای مقابله با اثرات آن احساس می‌شود.

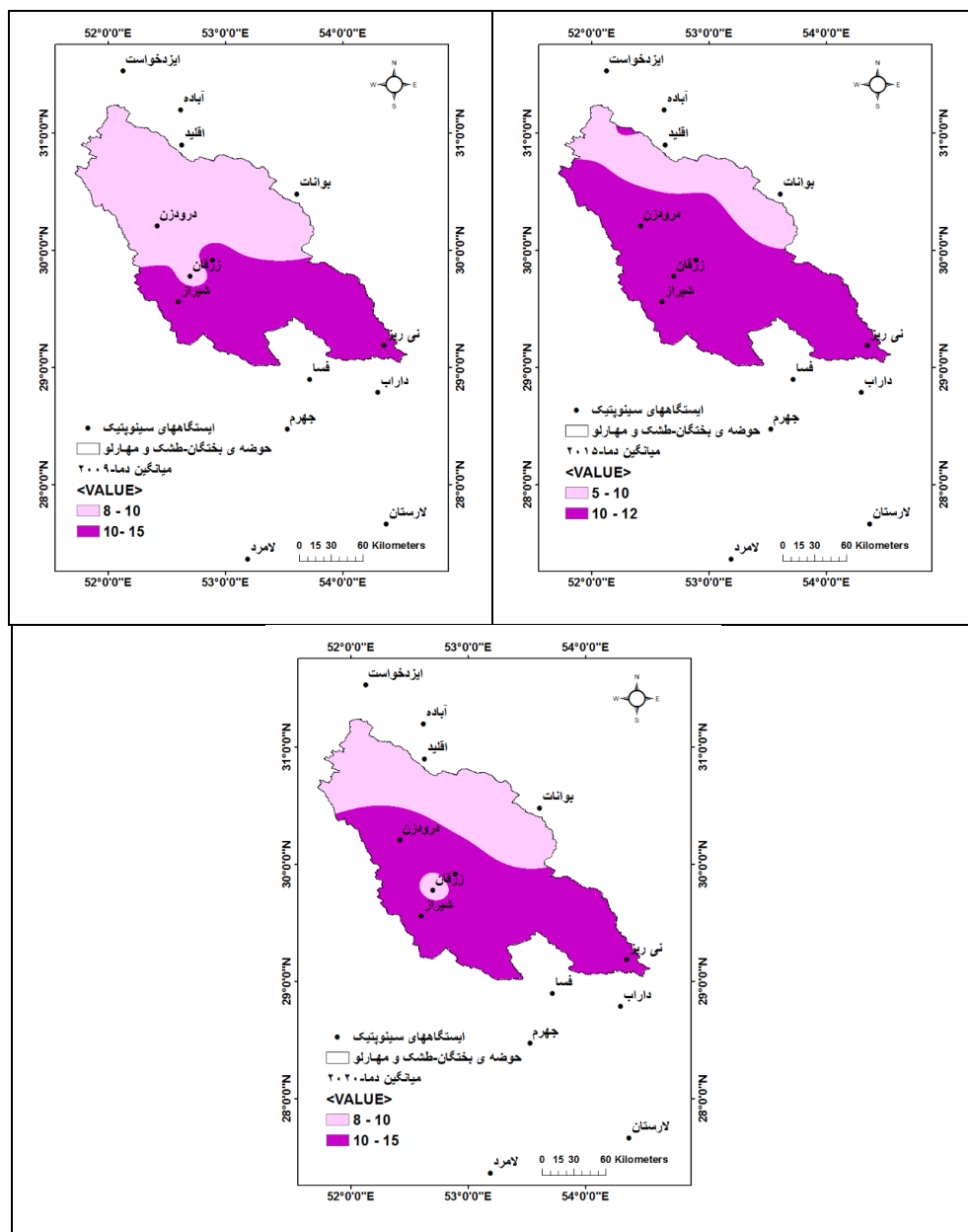
شکل ۵ نشان می‌دهد که قسمت‌های جنوبی و شرقی حوضه در سال‌های بررسی‌شده، دماهای حداکثر بیشتری را تجربه کرده‌اند. این مناطق همچنین دماهای حداقل مطلق بالاتری نیز داشته‌اند. از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰، وسعت نواحی با بالاترین دماهای حداکثر در مناطق جنوبی حوضه افزایش یافته است که این موضوع همخوانی با افزایش دمای سطح زمین در این نواحی دارد. نتایج تحقیق (Karampour and Yarahmadi 2015) نیز به این نکته اشاره دارند که مناطق جنوبی کشور به طور کلی دماهای حداکثر بالاتری دارند. همچنین، یافته‌های Balas et al. (2023) نشان‌دهنده وجود یک ارتباط قوی بین دماهای حداکثر مطلق و دمای سطح زمین است. این شواهد نشان می‌دهند که تغییرات دما در این حوضه، به ویژه در قسمت‌های جنوبی و شرقی، نه تنها

ادامه دار است بلکه به تدریج در حال تشدید

نیز می باشد.

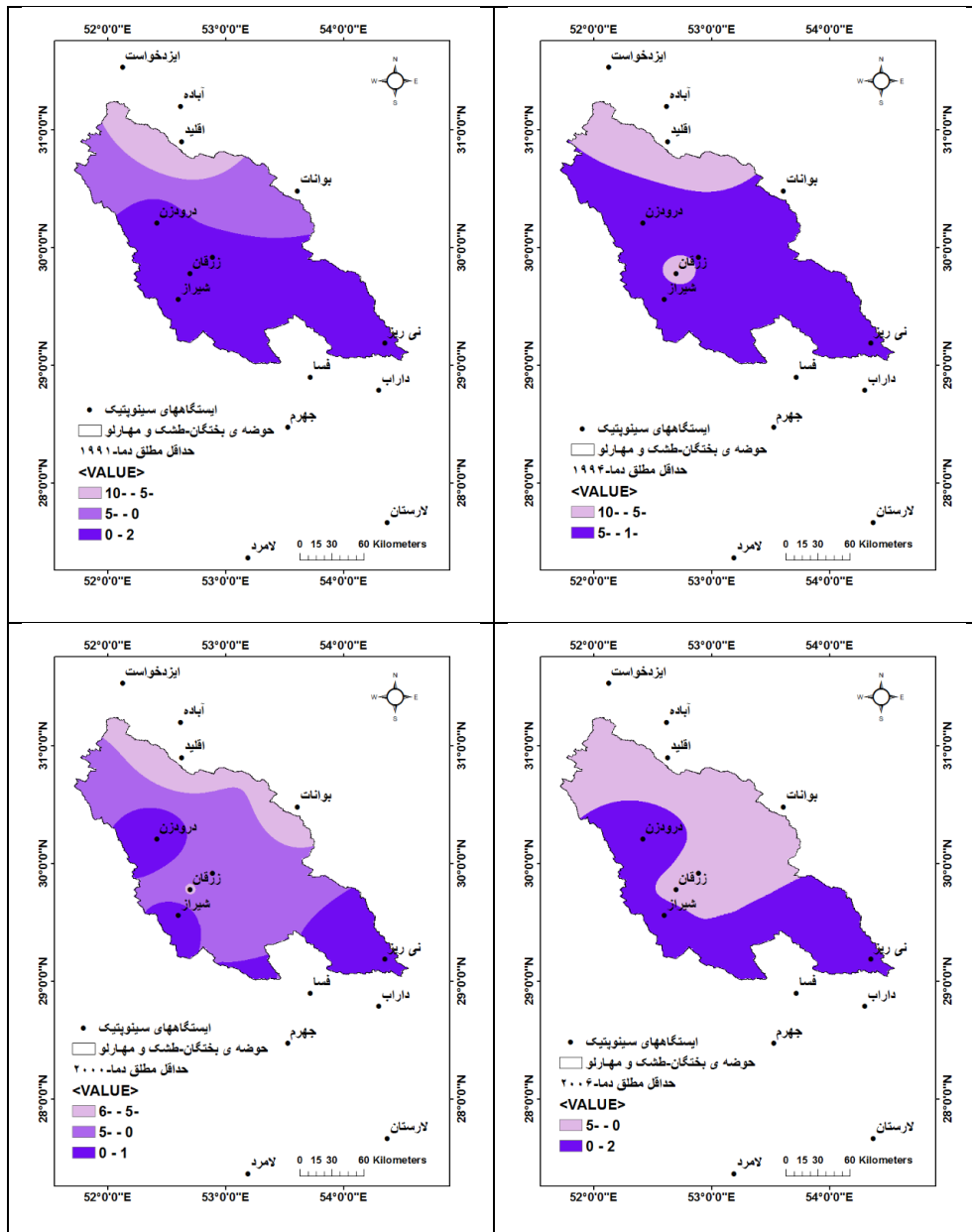


شکل ۳: توزیع مکانی میانگین دما در حوضه بختگان-مهاباد در سال های ۱۹۹۱-۱۹۹۴-۲۰۰۰-۲۰۰۶-۲۰۱۵-۲۰۲۰



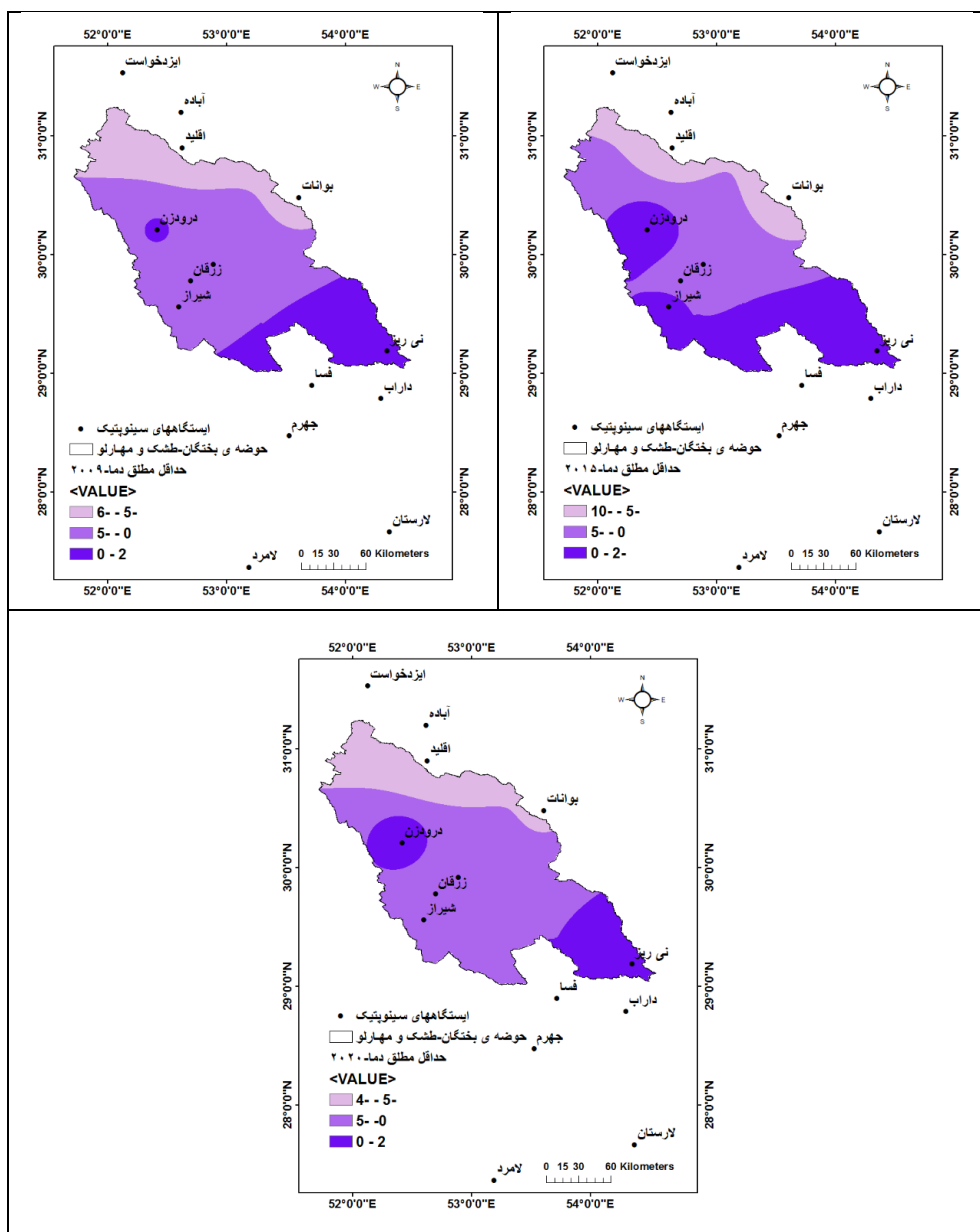
ادامه شکل ۳: توزیع مکانی میانگین دما در حوضه بختگان-مهارلو در سال‌های ۱۹۹۱-۱۹۹۴-

۲۰۰۰-۲۰۰۶-۲۰۰۹-۲۰۱۵-۲۰۲۰



شکل ۴: توزیع مکانی حدافل مطلق دما در حوضه بختگان-مہارلو در سال های ۱۹۹۱-۱۹۹۴-

۲۰۰۶-۲۰۰۹-۲۰۱۵-۲۰۲۰

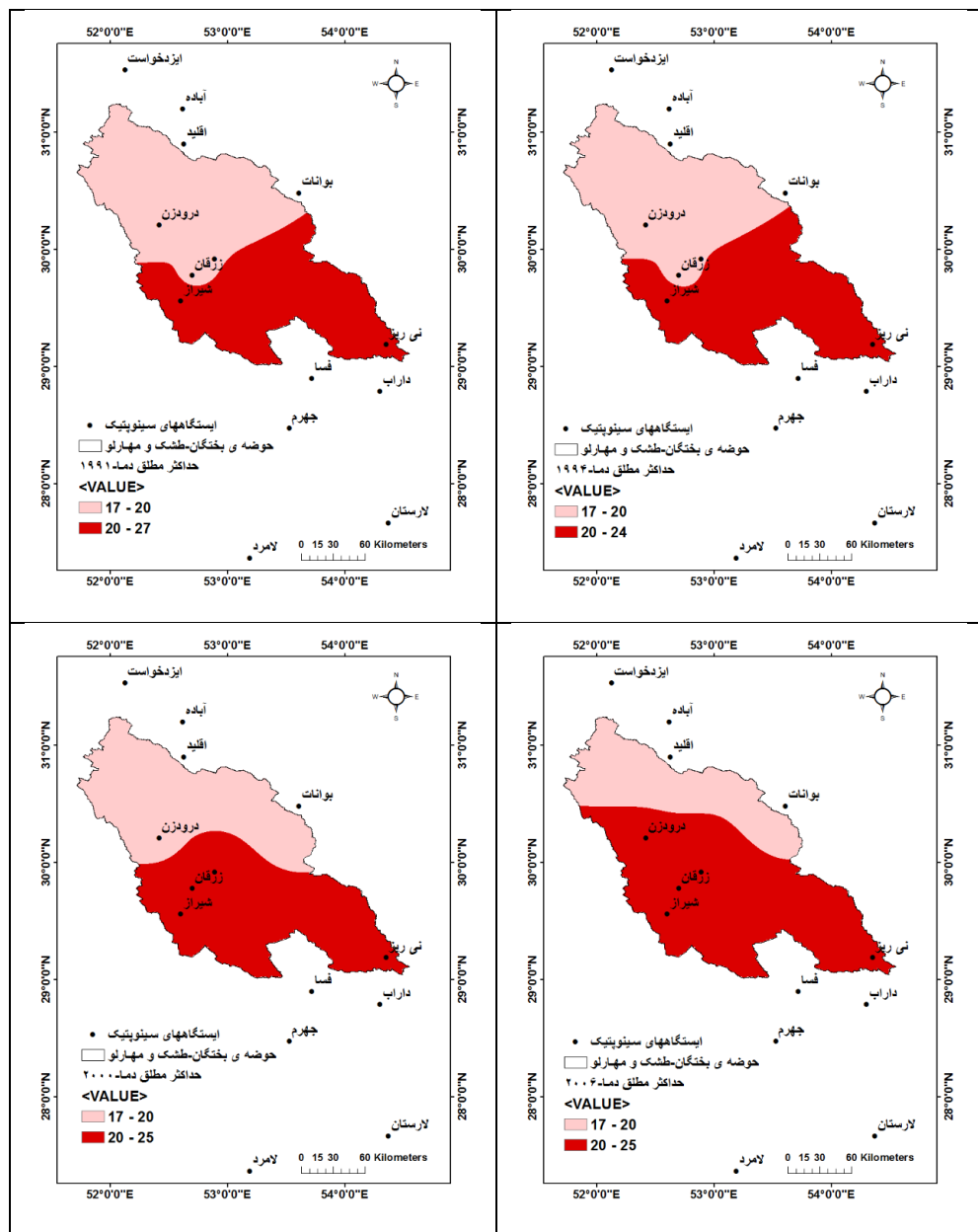


ادامه شکل ۴: توزیع مکانی حداقل مطلق دما در حوضه بختگان-مهارلو در سال‌های ۱۹۹۱-

۱۹۹۴-۲۰۰۰-۲۰۰۶-۲۰۰۹-۲۰۱۵-۲۰۲۰

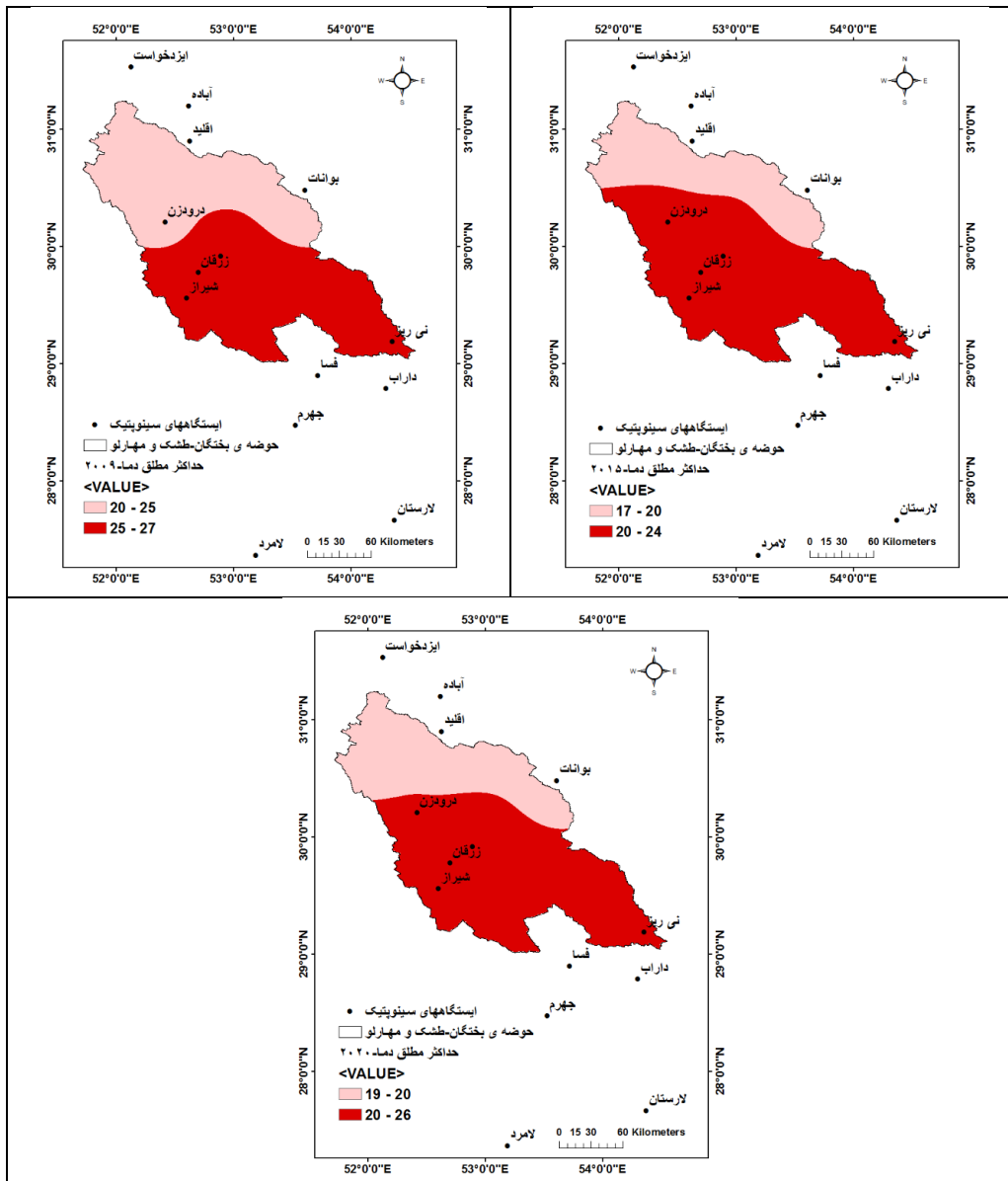
بررسی نقشه‌های دمای سطح زمین (شکل ۶) نشان می‌دهد که در ماه مارس سال‌های مورد مطالعه، الگوی فضایی دمای سطح زمین در حوضه بختگان-مه‌ارلو از ناهمگنی قابل توجهی برخوردار است. در برخی پیکسل‌ها مقادیر بسیار پایین دمای سطح زمین مشاهده می‌شود که این مقادیر عمدتاً به حضور پیکسل‌های ابری و یا داده‌های نامعتبر مربوط به فرآیند ماسک‌گذاری ابر در تصاویر ماهواره‌ای لندست باز می‌گردد. در فرآیند پردازش تصاویر، پیکسل‌های ابری و فاقد داده معتبر به منظور جلوگیری از ایجاد خطا در تحلیل، به صورت نواحی بدون داده نمایش داده شده‌اند که در نقشه‌ها به رنگ تیره (سیاه) مشخص شده‌اند و بیانگر کمترین دمای واقعی سطح زمین نیستند.

در سال ۱۹۹۱، طبقه غالب دمای سطح زمین در سطح حوضه در بازه ۱۰ تا ۲۰ درجه سلسیوس قرار داشته و بخش‌هایی از نواحی شمالی و شمال‌غربی دماهایی بین ۲۰ تا ۳۰ درجه سلسیوس را تجربه کرده‌اند. در سال ۱۹۹۴، دامنه غالب دمای سطح زمین به بازه ۲۰ تا ۳۰ درجه سلسیوس گسترش یافته و بیشینه دماهای سطح زمین در برخی نواحی به حدود ۴۰ درجه سلسیوس رسیده است. در این سال، تنها بخش‌های محدودی از جنوب‌شرقی و شمال‌غربی حوضه در طبقه دمایی ۳۰ تا ۴۰ درجه سلسیوس قرار گرفته‌اند. از سال ۲۰۰۰ به بعد، با وجود نوسانات سالانه و برخی استثناها نظیر سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۱۵، گسترش طبقه دمایی ۳۰ تا ۴۰ درجه سلسیوس در بخش‌هایی از حوضه قابل مشاهده است. کاهش نسبی وسعت این طبقه دمایی در برخی سال‌ها با افزایش شاخص NDVI در سطح حوضه هم‌زمان بوده است.



شکل ۵: توزیع مکانی حداکثر مطلق دما در حوضه بختگان-مهارلو در سال‌های سال‌های

۱۹۹۱-۱۹۹۴-۲۰۰۰-۲۰۰۶-۲۰۰۹-۲۰۱۵-۲۰۲۰



ادامه شکل ۵: توزیع مکانی حداکثر مطلق دما در حوضه بختگان-مهارلو در سال های سال -

های ۱۹۹۱-۱۹۹۴-۲۰۰۰-۲۰۰۶-۲۰۰۹-۲۰۱۵-۲۰۲۰

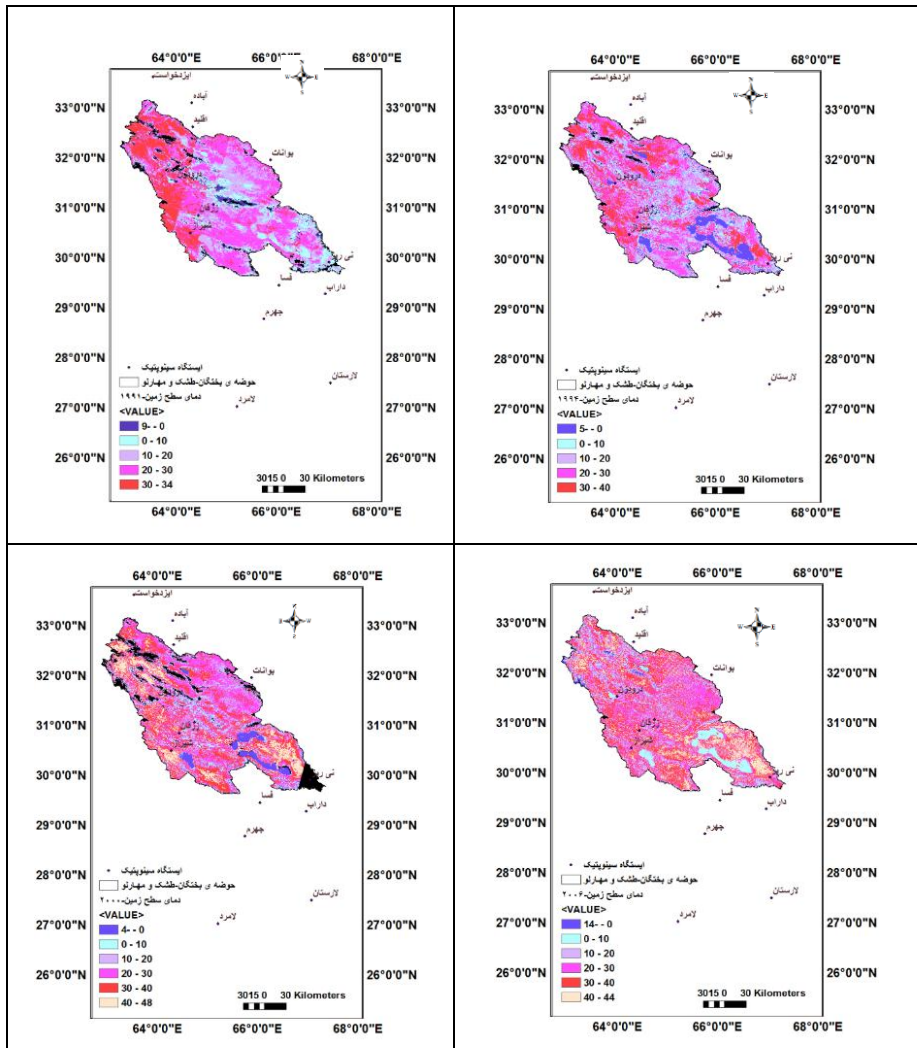
علاوه بر این، در سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۲۰، نسبت به برخی سال‌های میانی، طبقه دمایی بسیار بالا (۴۰ تا ۵۰ درجه سلسیوس) در نقشه‌های دمای سطح زمین مشاهده نمی‌شود. این موضوع به معنای کاهش کلی میانگین دما نیست، بلکه بیانگر تغییر در الگوی توزیع فضایی دمای سطح زمین در سطح حوضه است.

یکی از عوامل مؤثر در این تغییر فضایی، افزایش نسبی پوشش گیاهی در بخش‌هایی از حوضه است. پوشش گیاهی از طریق افزایش تبخیر-تعرق، کاهش انرژی خالص سطح و ایجاد سایه‌اندازی طبیعی، موجب تعدیل دماهای حداکثری سطح زمین در مقیاس موضعی می‌شود. بررسی شاخص NDVI در سال ۲۰۲۰ نیز افزایش پوشش گیاهی در برخی نواحی حوضه را تأیید می‌کند. نتایج این پژوهش با یافته‌های زندگی و همکاران در شهر اصفهان همخوانی دارد که نشان‌دهنده گسترش ناهمگون

جزایر حرارتی و تغییرات فضایی دمای سطح زمین در ارتباط با ویژگی‌های سطحی و پوشش زمین است. میزان پوشش گیاهی در حوضه بختگان-مهارلو از سال ۲۰۰۶ روندی افزایشی داشته است (شکل ۷)، هرچند که در سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۵ شاهد کاهش‌هایی بوده‌ایم. اما در سال ۲۰۲۰، این پوشش دوباره افزایش یافته است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در نواحی شمالی و مرکزی حوضه، پوشش گیاهی به تدریج افزایش پیدا کرده است. این تغییرات بیشتر ناشی از گسترش فعالیت‌های زراعی و بهره‌برداری بیشتر از منابع آبی محلی است که در برخی مناطق به ایجاد لکه‌های حرارتی معتدل منجر شده است. با این حال، در بخش‌های وسیع‌تری از حوضه، به‌ویژه در مناطق جنوبی و اطراف دریاچه‌های طشک، بختگان و مهارلو، پوشش گیاهی کاهش پیدا کرده و این موضوع با خشکی شدید منابع آبی همراه

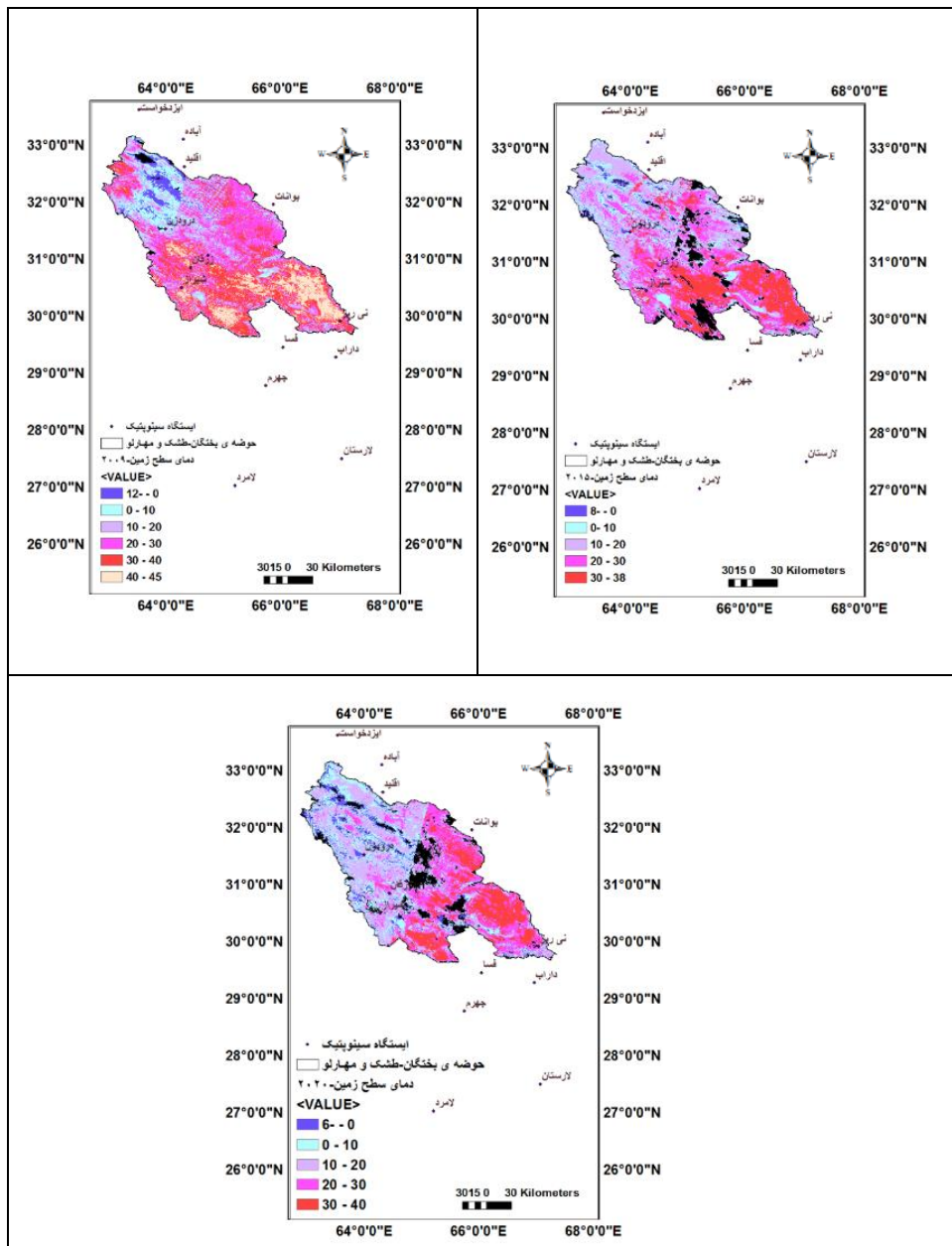
بوده است. این شرایط به افزایش گرمایش

سطحی دامن زده است.



شکل ۶: توزیع مکانی دمای سطح زمین ماه مارس در حوضه بختگان-مهارلو در سال های ۱۹۹۱-۱۹۹۴-

۲۰۰۶-۲۰۰۹-۲۰۱۵-۲۰۲۰

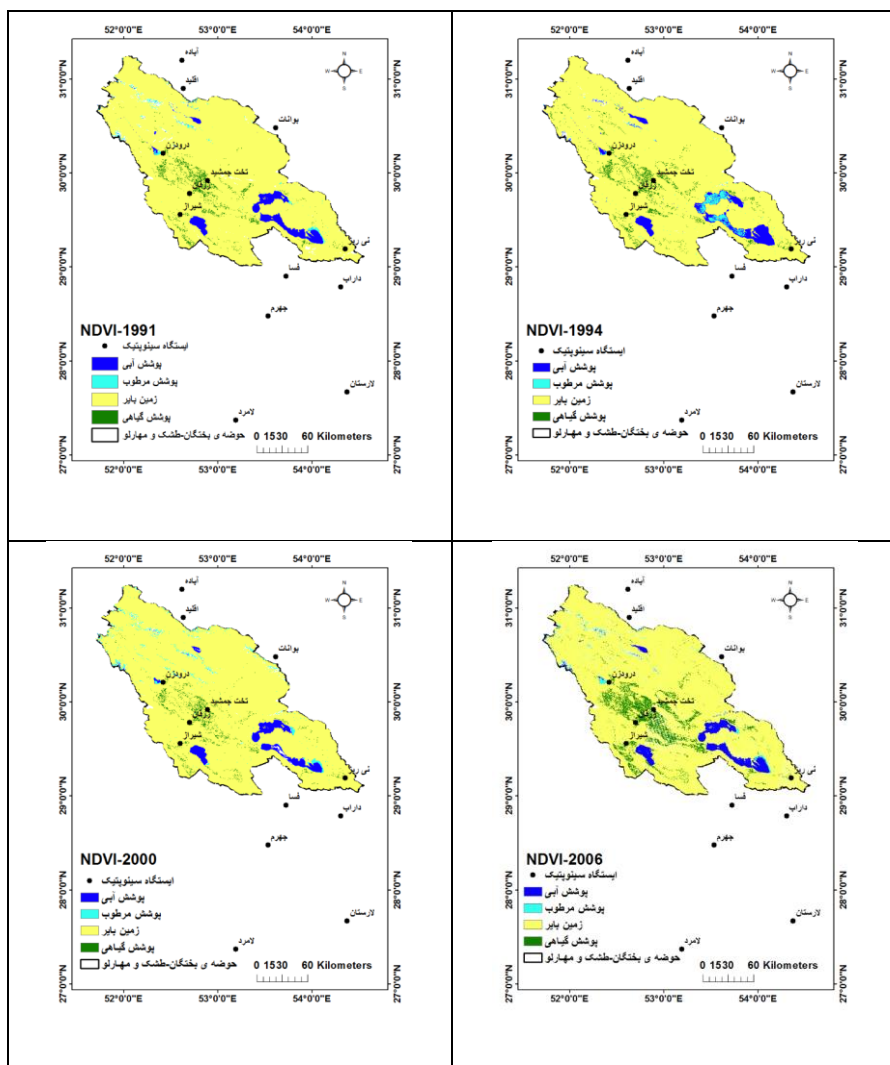


ادامه شکل ۶: توزیع مکانی دمای سطح زمین ماه مارس در حوضه بختگان-مهملو در سال‌های ۱۹۹۱-

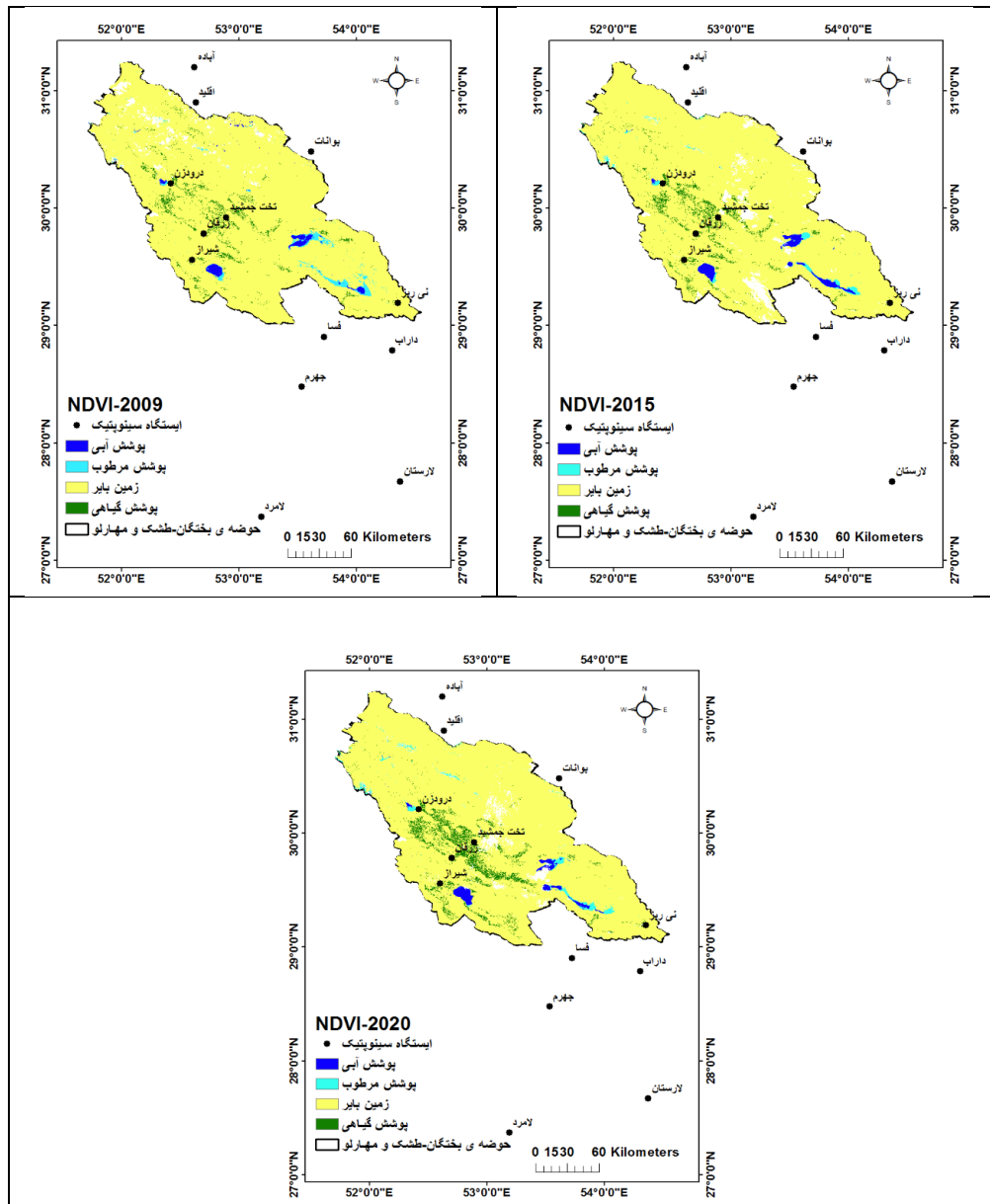
۱۹۹۴-۲۰۰۰-۲۰۰۶-۲۰۰۹-۲۰۱۵-۲۰۲۰

اگرچه در برخی نواحی محدود، پوشش گیاهی افزایش یافته و تأثیرات موضعی بر کاهش دما داشته، اما در سطح کلان، روند دمای سطح زمین در حوضه همچنان افزایشی باقی مانده است. این تفاوت‌های فضایی نشان‌دهنده تأثیر نابرابر عوامل اقلیمی و مدیریتی بر وضعیت اکولوژیکی بخش‌های مختلف حوضه است. مرادی و همکاران در سال ۱۳۹۹ به این نکته اشاره کردند که بیشترین مساحت کاربری اراضی به اراضی مرتعی و کشاورزی آبی تعلق دارد و این اراضی در حال افزایش‌اند که نشان‌دهنده آسیب‌پذیری بالای سطح حوضه است. همچنین، Khan Ahmadi et al., (2021) در بررسی خود در حوضه بختگان-مهارلو، کاهش سطح آب ناشی از بارش‌های کمتر و ورودی‌های دریاچه بختگان را مورد توجه قرار دادند و در عین حال افزایش زمین‌های زراعی و باغ‌ها را نیز مشاهده کردند. نتایج این تحقیق با یافته‌های رنجبر و همکاران در سال ۱۳۹۸ که نشان‌دهنده روند افزایشی شاخص NDVI در حوضه بوده و همبستگی آن با دما را تأیید می‌کند، همخوانی دارد. این امر حاکی از تغییرات پیچیده اکولوژیکی در حوضه بختگان-مهارلو است که نیاز به مدیریت هوشمندانه منابع طبیعی و آب دارد.

بررسی تغییرات شاخص NDWI در حوضه بختگان-مهارلو (شکل ۷) نشان می‌دهد که از سال ۲۰۰۶ به بعد، مساحت آبی این حوضه به شکل قابل توجهی کاهش یافته است. بر اساس داده‌ها، بیشترین وسعت آب در سال‌های ۱۹۹۱، ۱۹۹۴ و ۲۰۰۰ مشاهده شده، در حالی که کمترین مساحت در سال ۲۰۲۰ ثبت گردیده است. این کاهش به ویژه در دریاچه‌های طشک و بختگان در نواحی جنوب شرقی حوضه به وضوح محسوس است.



شکل ۷: توزیع مکانی شاخص NDVI ماه مارس در حوضه بختگان-مهارلو در سال‌های ۱۹۹۱-۲۰۰۰-۲۰۰۶-۲۰۰۹-۲۰۱۵-۲۰۲۰



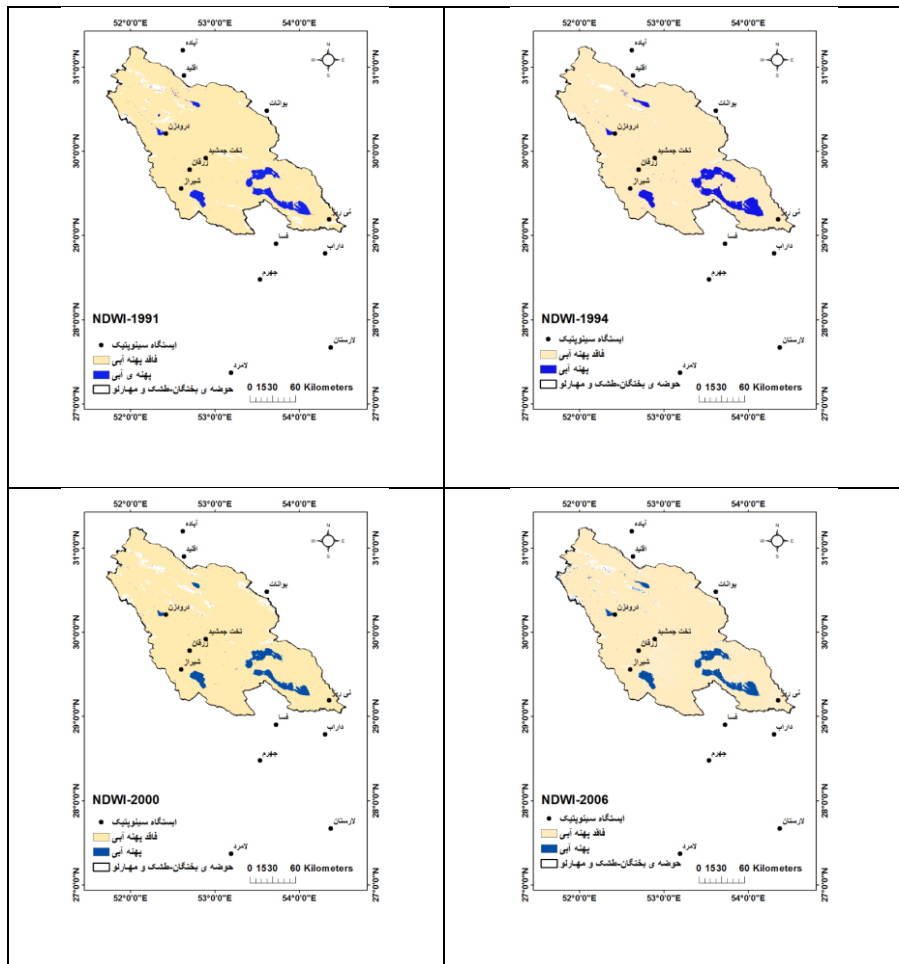
ادامه شکل ۷: توزیع مکانی شاخص NDVI ماه مارس در حوضه بختگان-مهارلو در سال های

۱۹۹۴-۱۹۹۹-۲۰۰۰-۲۰۰۶-۲۰۰۹-۲۰۱۵-۲۰۲۰

همچنین، از سال ۲۰۰۰ به بعد، میزان آب در این حوضه به شدت نزول کرده است. در پژوهش Jafari et al. (2021)، نیز به کاهش منابع آبی مانند مهارلو اشاره شده است. Mansour Moghadam et al., (2014) نیز به کاهش شدید NDWI در سال ۲۰۲۳ در رودخانه زاینده‌رود پرداخته‌اند. علاوه بر این، Khosrovian et al. (2017) در مطالعه خود درباره دریاچه پریشان، خشک شدن آن در سال ۲۰۰۶ را به تغییرات اقلیمی و تأثیرات انسانی نسبت داده‌اند.

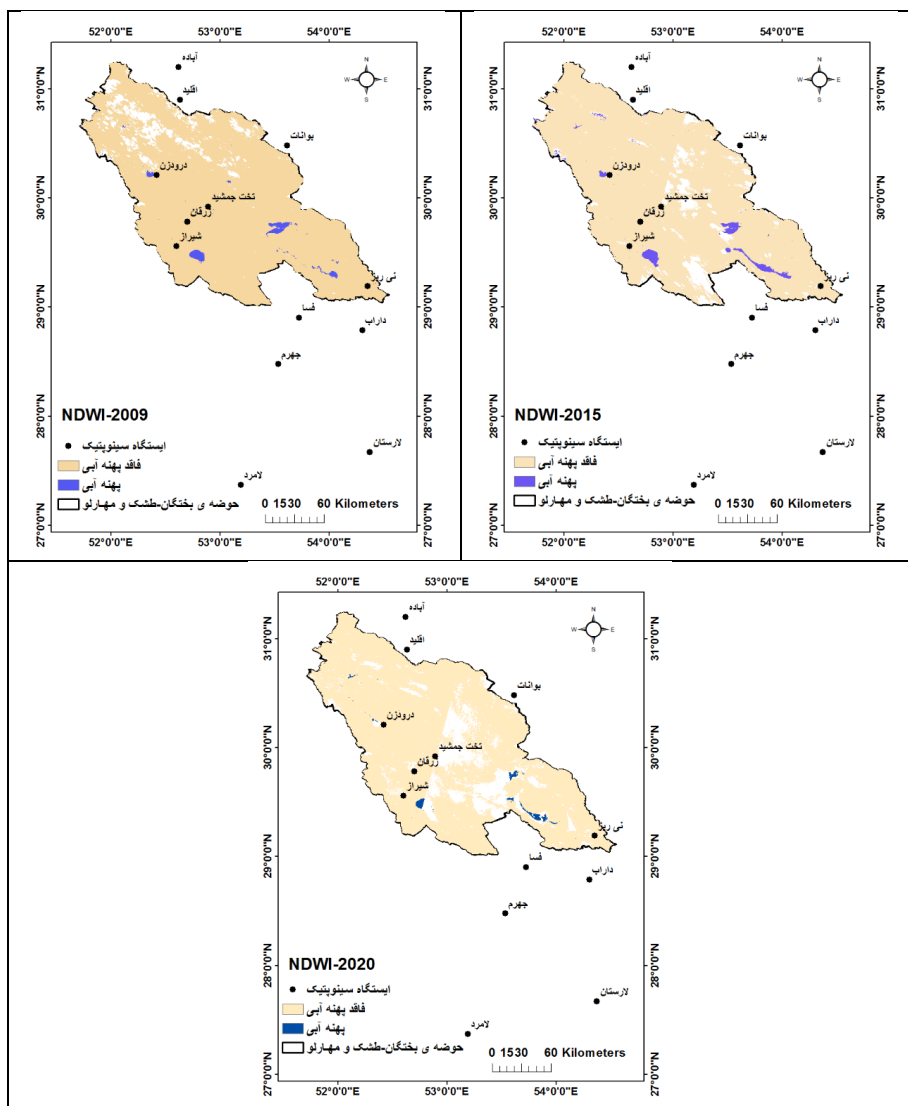
رای تحلیل توزیع فضایی دما در حوضه بختگان-مهارلو و شناسایی خوشه‌های دمایی، از آماره فضایی لکه‌های داغ (Gi*) استفاده شد تا ارتباط آن با متغیرهای NDVI، NDWI و LST در ماه مارس سال‌های مختلف بررسی شود (اشکال ۹ تا ۱۱). تحلیل خوشه‌های دمایی در بازه زمانی ۱۹۹۱ تا ۲۰۲۰ نشان می‌دهد که

لکه‌های سرد دما عمدتاً در شمال و شمال شرقی حوضه قرار دارند، در حالی که لکه‌های داغ بیشتر در نواحی جنوبی و جنوب شرقی حوضه واقع شده‌اند. خوشه‌های سرد حداقل مطلق دما در سال‌های ۱۹۹۱ تا ۱۹۹۴ در نواحی شمالی حوضه بودند، اما از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ این خوشه‌ها به سمت مناطق شرقی گسترش یافته‌اند. بالاترین دماهای حداقل در سال‌های ۱۹۹۱ تا ۱۹۹۴ در بخش غربی حوضه بود و پس از آن، مناطق جنوب شرقی حوضه که نزدیک دریاچه بختگان قرار دارند، شاهد لکه‌های داغ حداقل دما بوده‌اند. الگوی مشابهی برای لکه‌های سرد و گرم حداکثر دما نیز مشاهده می‌شود. به طور کلی، می‌توان گفت که مناطق شمالی و شمال شرقی حوضه دماهای پایین‌تری را تجربه کرده‌اند، در حالی که نواحی جنوبی و جنوب شرقی دماهای بالاتری دارند.



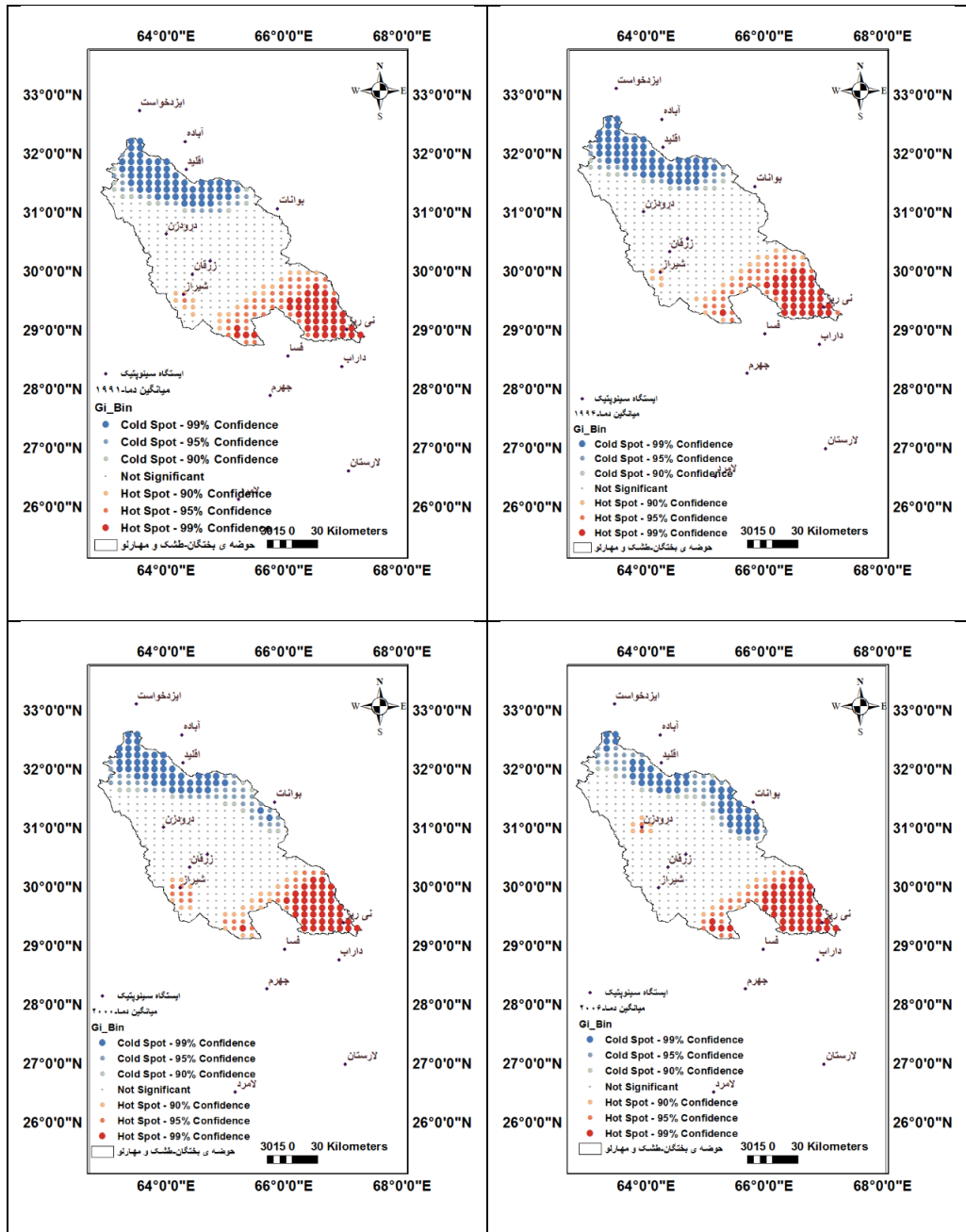
شکل ۸: توزیع مکانی شاخص NDWI ماه مارس در حوضه بختگان-مهارلو در سال های

۱۹۹۴-۲۰۰۰-۲۰۰۶-۲۰۰۹-۲۰۱۵-۲۰۲۰



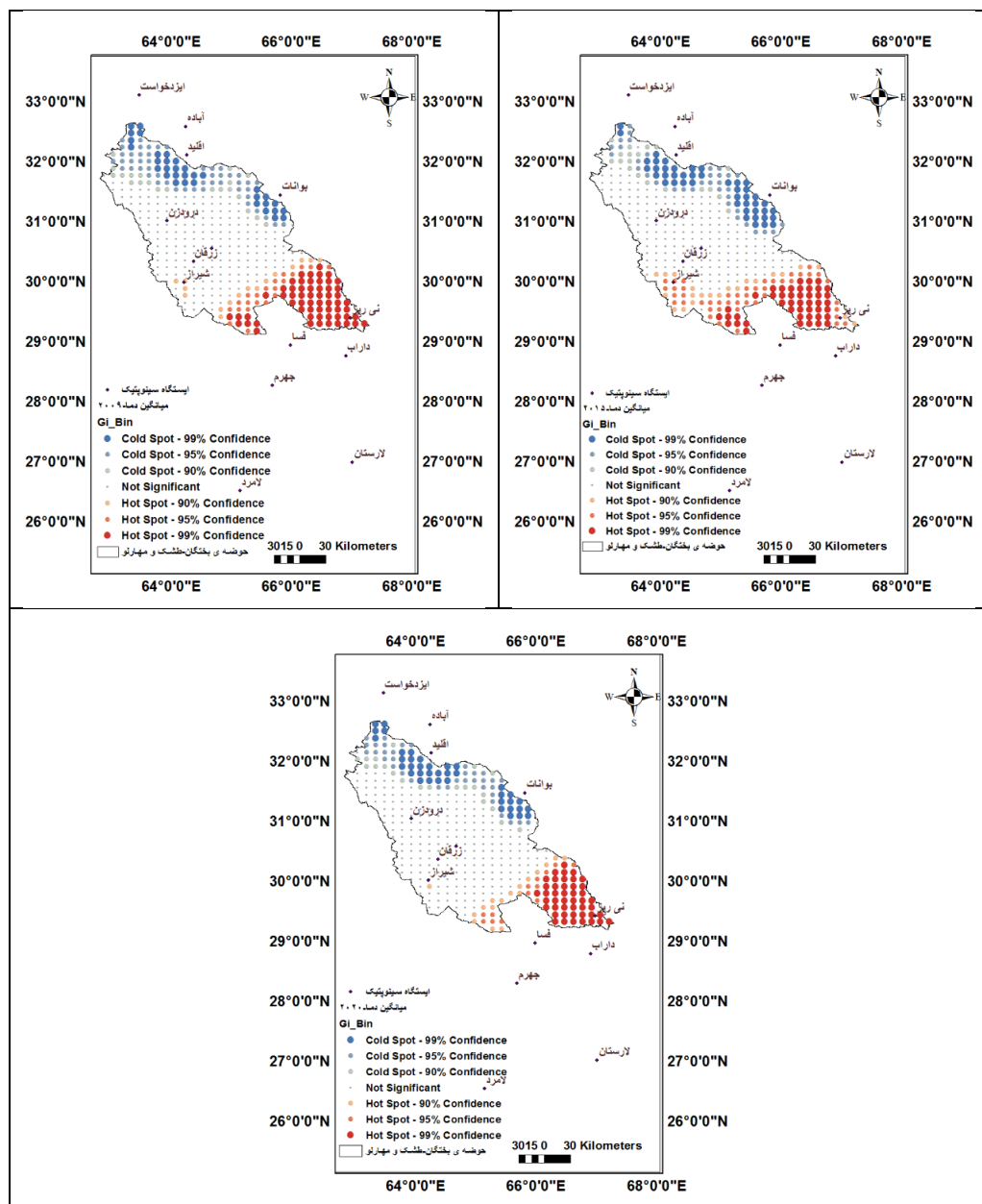
ادامه شکل ۸: توزیع مکانی شاخص NDWI ماه مارس در حوضه بختگان-مهارلو در سال‌های

۱۹۹۴-۲۰۰۰-۲۰۰۶-۲۰۰۹-۲۰۱۵-۲۰۲۰



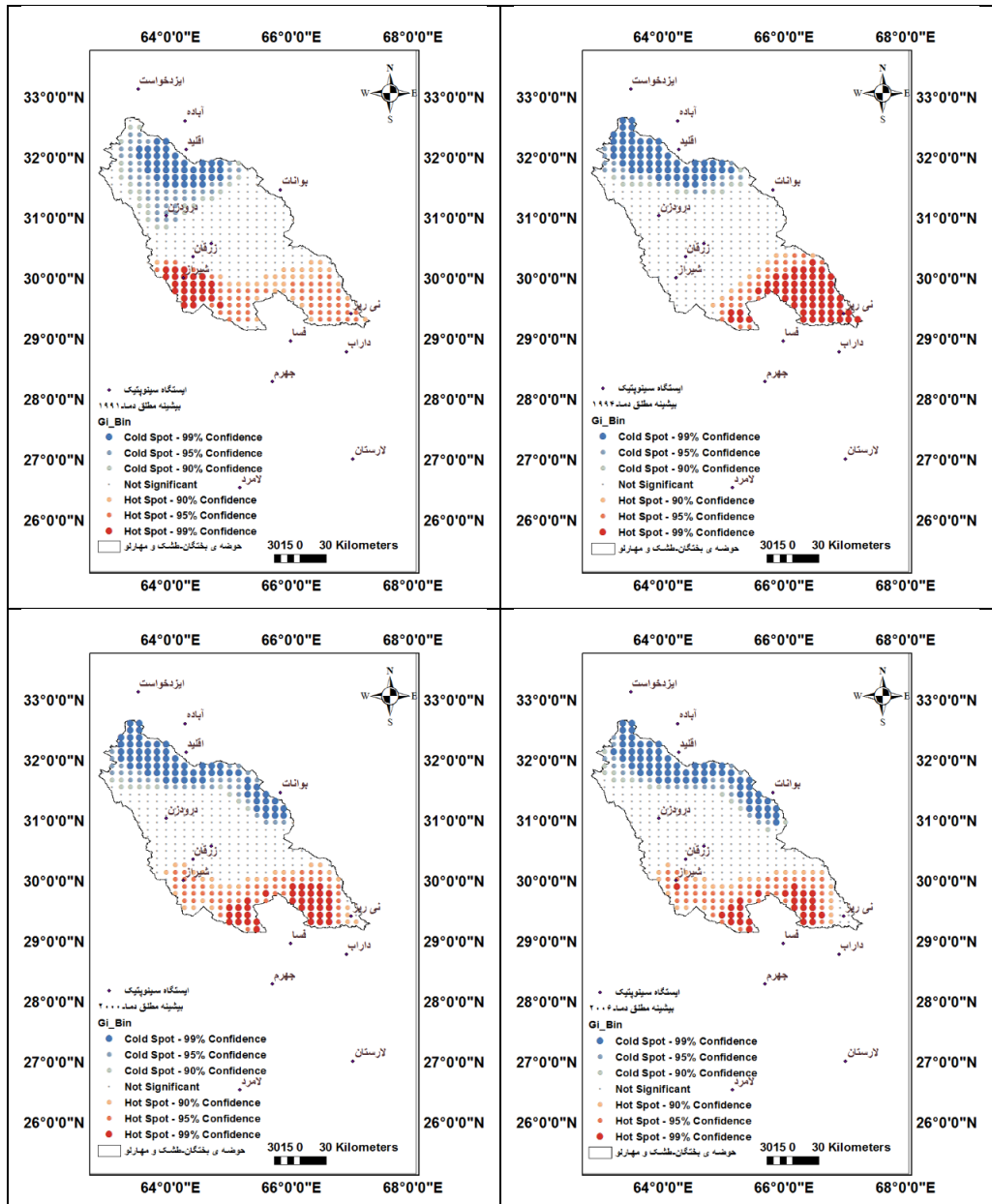
شکل ۹: نقشه خوشه‌بندی لکه‌های داغ و سرد میانگین دمای ماه مارس در سال‌های ۱۹۹۱-۲۰۲۰

۱۹۹۴-۲۰۰۰-۲۰۰۶-۲۰۰۹-۲۰۱۵-۲۰۲۰



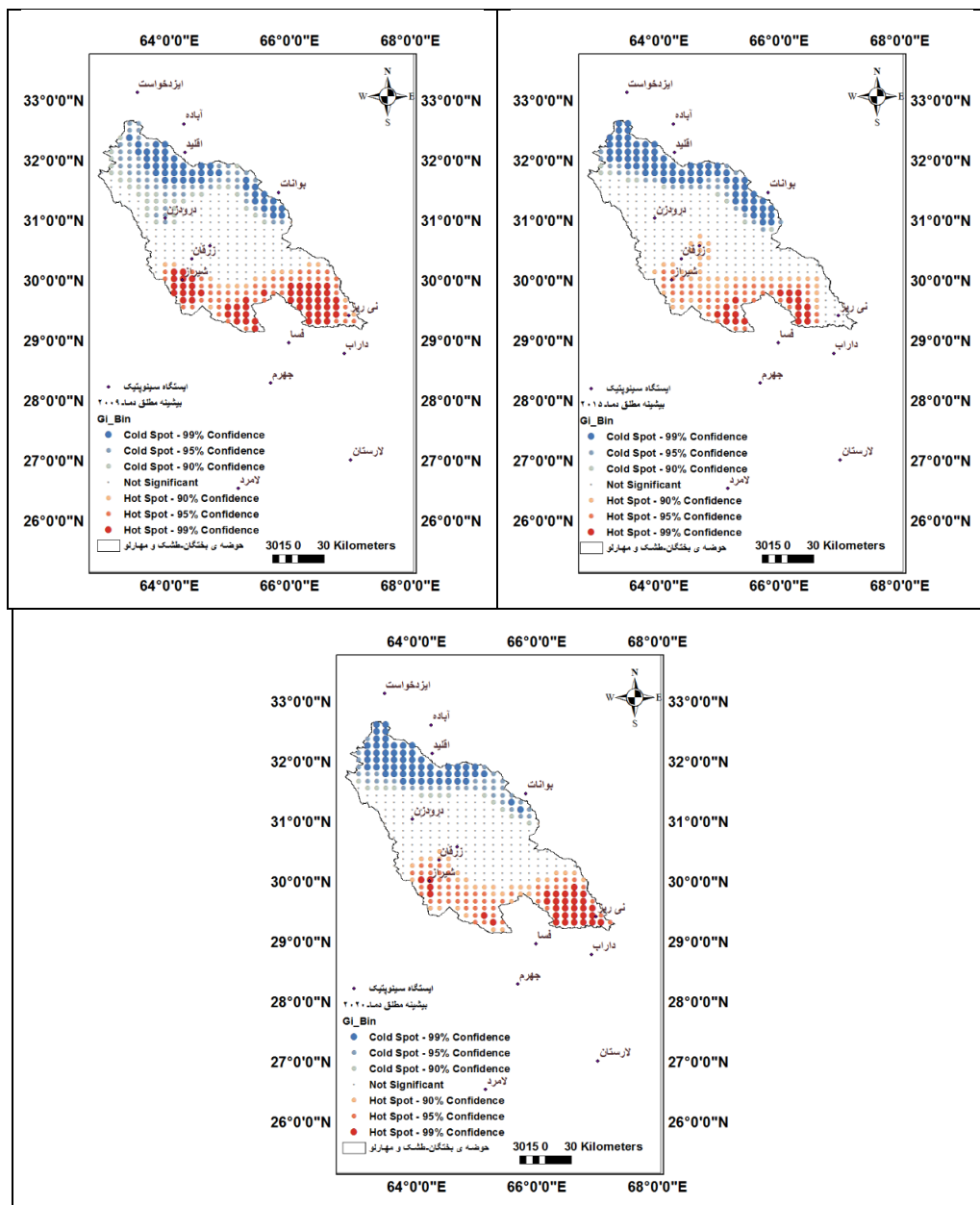
ادامه شکل ۹: نقشه خوشه‌بندی لکه‌های داغ و سرد میانگین دمای ماه مارس در سال‌های

۱۹۹۴-۲۰۰۰-۲۰۰۶-۲۰۰۹-۲۰۱۵-۲۰۲۰



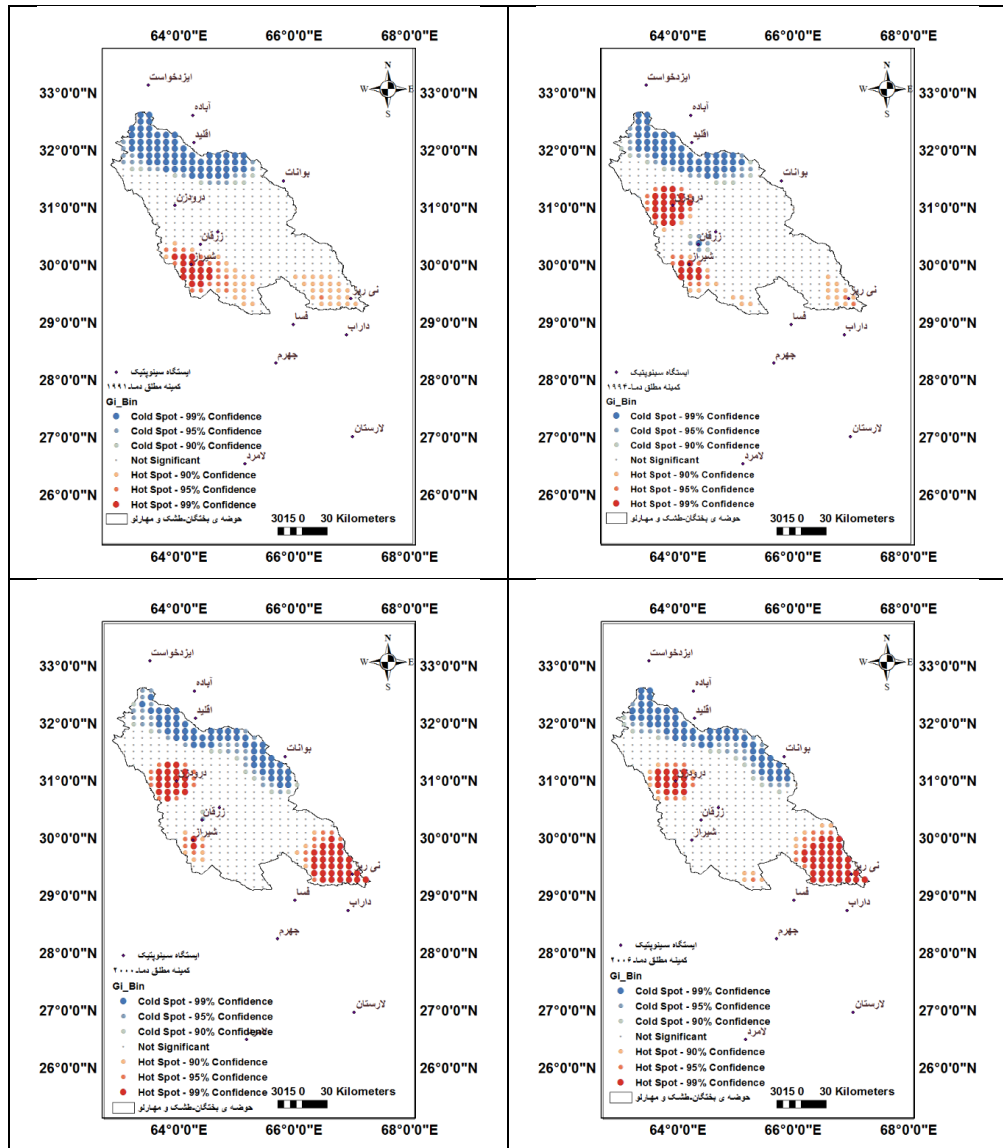
شکل ۱۰: نقشه خوشه بندی لکه های داغ و سرد حداکثر مطلق دما ماه مارس در سال های ۱۹۹۱-۲۰۲۰

۱۹۹۴-۲۰۰۰-۲۰۰۶-۲۰۰۹-۲۰۱۵-۲۰۲۰



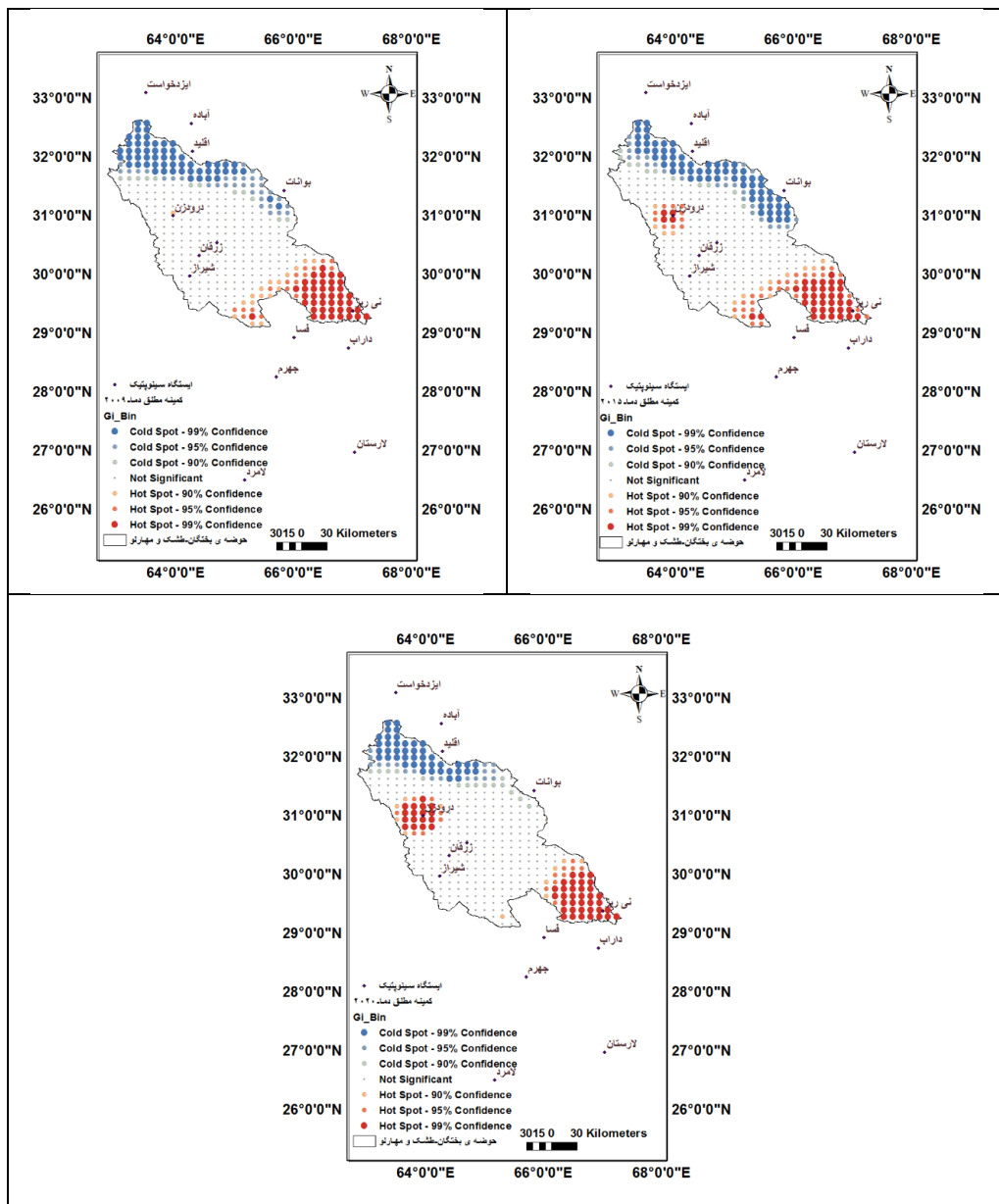
ادامه شکل ۱۰: نقشه خوشه بندی لکه های داغ و سرد حداکثر مطلق دما ماه مارس در سال‌های ۱۹۹۱-

۱۹۹۴-۲۰۰۰-۲۰۰۶-۲۰۰۹-۲۰۱۵-۲۰۲۰



شکل ۱۱: نقشه خوشه بندی لکه های داغ و سرد حداقل مطلق دما ماه مارس در سال های ۱۹۹۱-۲۰۲۰

۱۹۹۴-۲۰۰۶-۲۰۰۹-۲۰۱۵-۲۰۲۰



ادامه شکل ۱۱: نقشه خوشه بندی لکه های داغ و سرد حداقل مطلق دما ماه مارس در سال -

های ۱۹۹۱-۱۹۹۴-۲۰۰۰-۲۰۰۶-۲۰۰۹-۲۰۱۵-۲۰۲۰

۴. نتیجه گیری

تغییرات اقلیمی در دهه های اخیر به عنوان یکی از مهم ترین چالش های زیست محیطی در مقیاس جهانی مطرح شده است و پیامدهای آن می تواند بر محیط طبیعی، فعالیت های انسانی و نظام های اقتصادی و اجتماعی تأثیرگذار باشد. پژوهش های متعدد نشان داده اند که افزایش غلظت گازهای گلخانه ای نقش مهمی در افزایش دمای هوای کره زمین ایفا می کند (Karimi and Nabizadeh, 2018). با این حال، تغییرات دما در مقیاس های منطقه ای و محلی علاوه بر تأثیرات کلان تغییر اقلیم، به شدت تحت تأثیر ویژگی های سطح زمین، کاربری اراضی و وضعیت پوشش گیاهی قرار دارد.

در همین راستا، در پژوهش حاضر علاوه بر توجه به زمینه کلی تغییر اقلیم، تأثیر تغییرات پارامترهای سطح زمین بر ویژگی های دمایی در حوضه آبریز

بختگان-مهارلو مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحلیل داده های ایستگاه های واقع در داخل حوضه نشان می دهد که تغییرات دما در این منطقه الگوی یکنواخت و دارای روند معنادار آماری در همه ایستگاه ها ندارد و رفتار دمایی ثبت شده بیشتر متأثر از شرایط محلی و سطحی است.

بررسی همبستگی بین شاخص های NDWI، NDVI و دمای سطح زمین (LST) با دماهای میانگین، حداقل و حداکثر مطلق نشان می دهد که شدت و جهت این روابط در سال های مختلف متفاوت بوده و وابستگی خطی متوسطی بین متغیرها وجود دارد. نتایج مدل سازی رگرسیون چندمتغیره نشان داد که دمای سطح زمین نقش مؤثرتری نسبت به سایر شاخص ها در تبیین تغییرات دمایی ایفا می کند؛ با این حال، مقدار ضریب تعیین مدل ها محدود بوده و بیشترین مقدار R^2 برای میانگین دمای ماه مارس سال ۲۰۰۹

برابر با ۰.۲۵۴ به دست آمده است. این مقدار بیانگر آن است که تنها بخشی از تغییرات دما توسط شاخص‌های سطح زمین قابل تبیین بوده و سایر عوامل اقلیمی و محلی نیز در کنترل دما نقش دارند. این نتایج با یافته‌های AL-Totanje & Jasim (2023) در خصوص نقش شاخص‌های سطح زمین در پیش‌بینی دما همخوانی دارد.

دمای سطح زمین (LST) که نشان‌دهنده انرژی تابشی ساطع‌شده و جذب‌شده از سطح زمین است، به‌شدت تحت تأثیر نوع پوشش زمین، رطوبت سطحی و وضعیت پوشش گیاهی قرار دارد و لزوماً معادل دمای هوای اندازه‌گیری‌شده در ایستگاه‌های هواشناسی نیست. در حوضه بختگان-مهارلو، تغییرات مشاهده‌شده در دمای سطح زمین عمدتاً ناشی از کاهش پهنه‌های آبی، افت رطوبت سطحی و تخریب پوشش گیاهی بوده است.

در سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۲۰، اگرچه طبقات دمایی بسیار بالا (۴۰-۵۰ درجه سانتی‌گراد) در نقشه‌های دمای سطح زمین مشاهده نمی‌شود، اما این امر به منزله بهبود کلی شرایط حرارتی نیست، بلکه بیشتر ناشی از افزایش نسبی پوشش گیاهی در بخش‌های شمالی و مرکزی حوضه است که در نتیجه گسترش فعالیت‌های کشاورزی و بهره‌برداری ناپایدار از منابع آب زیرزمینی ایجاد شده است. در مقابل، بخش‌های جنوبی و شرقی حوضه با خشک شدن بسترها، کاهش منابع آبی سطحی و افزایش سطوح برهنه مواجه شده‌اند که این شرایط در مقیاس محلی منجر به افزایش دمای سطح زمین و شکل‌گیری لکه‌های داغ حرارتی شده است. این پدیده‌ها بیانگر بازخوردهای سطحی و محلی بوده و به معنای تأثیرگذاری مستقیم بر اقلیم منطقه‌ای در مقیاس گسترده نیستند.

تحلیل‌ها نشان می‌دهد که با کاهش شاخص‌های NDVI و NDWI در مناطق جنوبی حوضه، دمای سطح زمین و به تبع آن دماهای میانگین و حداکثر هوا نیز افزایش یافته است. در این نواحی، دمای هوا در محدوده ۲۱ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد و دمای سطح زمین بین ۳۰ تا ۴۸ درجه سانتی‌گراد متغیر بوده است، در حالی که کمترین مقادیر دمایی عمدتاً در بخش‌های شمالی و شمال‌شرقی حوضه مشاهده می‌شود. نتایج تحلیل شاخص‌های NDWI و NDVI بیانگر هم‌زمانی کاهش منابع آبی و افت پوشش گیاهی با افزایش دمای سطح زمین در مقیاس محلی است.

مقایسه سال‌های ابتدایی دوره مطالعه با بازه زمانی ۲۰۰۶ تا ۲۰۲۰ نشان می‌دهد که در سال‌های ابتدایی، شرایط نسبتاً ترسالی و فراوانی بیشتر پهنه‌های آبی موجب تعدیل طبیعی دمای سطح زمین شده بود. با این حال، در دهه‌های اخیر و هم‌زمان با کاهش شاخص‌های NDWI و NDVI در بازه زمانی ۲۰۰۶ تا ۲۰۲۰، در مقیاس موضعی، موجب افزایش دمای سطح زمین و گسترش خوشه‌های حرارتی در نواحی جنوبی حوضه شده است. این تغییرات در چارچوب بازخوردهای سطحی و محلی قابل تفسیر بوده و لزوماً بیانگر تغییرات اقلیمی در مقیاس منطقه‌ای گسترده نیستند.

هم‌زمان با کاهش شاخص NDWI، مساحت پهنه‌های آبی کاهش یافته و اثر خنک‌کنندگی سطحی آن‌ها تضعیف شده است. افزایش پوشش گیاهی در بخش‌هایی از نواحی شمالی و مرکزی در برخی سال‌ها به صورت مقطعی به بهبود نسبی شرایط حرارتی منجر شده، اما این روند پایدار نبوده و در نتیجه بهره‌برداری ناپایدار از منابع آب، می‌تواند در بلندمدت به افزایش تنش‌های حرارتی و اکولوژیکی بینجامد.

به طور کلی، یافته‌های پژوهش حاضر بر
 ضرورت برنامه‌ریزی هدفمند برای مدیریت
 و احیای منابع آبی و پوشش گیاهی در
 حوضه بختگان-مه‌ارلو تأکید دارد، چرا که
 بهبود وضعیت این مؤلفه‌ها می‌تواند در
 تعدیل دمای سطح زمین و کاهش
 تنش‌های محیطی در مقیاس محلی نقش
 مؤثری ایفا کند. همچنین، پیشنهاد می‌شود
 پژوهش‌های آتی با تمرکز دقیق‌تر بر تعامل
 بین پوشش گیاهی، منابع آبی و دمای
 سطح زمین، زمینه را برای مدیریت پایدار
 منابع طبیعی در حوضه‌های حساس فراهم
 سازند.

ملاحظات اخلاقی

حامی مالی: این پژوهش هیچ کمک مالی از سازمان‌های تأمین مالی دریافت نکرده است.
تعارض منافع: طبق اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.
برگرفته از پایان نامه / رساله: این مقاله برگرفته از رساله مریم نصیری بوده است.

References

- Asakereh, Hossein (2011). Fundamentals of Statistical Climatology, first edition, Tefnegar, Zanjan Publications.
- Esmaili Pishbar, Masoumeh (2013). Planning and management of water resources at the watershed level in the context of the requirement to meet the environmental needs of wetlands (case study of Maharlou-Bakhtegan
- Agricultural Research, Education and Extension Organization, (2018)

- Wetland Watershed),
 ESTA Supervisor: Ali
 Moridi and Mojtaba
 Sorian, Shahid Beheshti
 University, Shahid
 Abbaspour Technical and
 Engineering Campus,
 Faculty of Water and
 Environmental
 Engineering.
- FathiFard, Rahdan,
 Tohidfar, Mitra Al-Sadat,
 Abbas, Mahsa (2013),
 Analysis of changes in
 temperature, vegetation,
 evapotranspiration and
 drought based on
 modeling of Landsat 5
 and 8 satellite images and
 meteorological indicators,
 Quarterly Journal of
 Human Ecology, No. 3,
 195-206.
 - Fanai, Razieh, Ghavidel,
 Rahimi, Farajzadeh,
 Manouchehr (2021).
 Analysis of the long-
 term spatial changes in
 the minimum
 temperature of Iran,
 Geography and
 Environmental
 Sustainability, No.
 11(4), 1-17, DOI:
 10.22126/GES2021.693
 8.2453
 - Jafari, Shahin, Abdol-
 Azimi, Hadi, Hamzeh,
 Saeed, Attarchi, Sara
 (2021). Two decades of
 monitoring Maharlu
 Wetland using satellite
 data in Google Earth
 Engine, Sepehr, Volume
 30, Number 18, 151-165
 - Hamidianpour, Mohsen,
 Masoumi Jashani, Javad
 and Masoumi, Mehdi.
 (2019). Investigating
 farmers' awareness of
 climate change in rural
 coastal areas around
 Tashk and Bakhtegan
 lakes. Geographical

- Studies of Coastal Areas, 1(1), 25-49.
- Hashemi, Mahmoud, Alavipanah, Seyed Kazem, Dinaroudi, Morteza (2013). Evaluation of the spatial distribution of land surface temperature in the urban environment using thermal remote sensing, Environment. No. 1. 92. 81. 10.22059/JES.2013.303 92
 - Hosseini, Zeinab, Mozaffari, Morteza, Feijani, Elham (2021). The impact of land use change and agricultural expansion on the drying of Bakhtegan and Tashk lakes, Civil Infrastructure Research, 7th year, No. 1, 53-65
 - Khoshakhlaq, Gharibi, Shafiee, Faramarz, Ebrahim, Zulaikha (2011). An outlook on changes in minimum temperatures in the Iranian region. Geography and Environmental Planning, No. 200, 199-216.
 - Khosravi, Mahmoud (2017). Multivariate Climatology (Application of Multivariate Analysis in Physical Geography and Climatology), University of Sistan and Baluchestan, Zahedan.
 - Khosrovian, Maryam, Entezari, Alireza, Rahmani, Abolfazl, Rahmani, Baaghideh, Mohammad (2017). Monitoring changes in the water level of Lake Parishan using remote sensing indicators, Hydrogeomorphology, No. 13, 99-120.

- Khan Ahmadi, Homa, Thaqefian, Bahram, Daneshkar Arasteh, Peyman (2021). Predicting changes in the area of Bakhtegan and Tashk lakes using satellite images and climatic factors, Iranian Water Resources Research, Year 17, No. 1, 151-165.
- Karimi, Mustafa and Nabizadeh, Adel (2018). Evaluation of the effects of climate change on the climatic parameters of Lake Urmia basin during the years 2011-2040 using the WG-Lars model, Geography and Planning, Year 22, No. 65, 267-285.
- Karampour, Yarahmadi, Mostafa, Elham (2015). Zoning of average maximum and maximum temperatures in Iran, Geography and Regional Development, No. 2, 67-88.
- Karami, Peyman, Karmaran, Shayesteh, Esmaili, Mina (2019). Highlighting the importance of vegetation cover variables on land surface temperature distributed in different land uses/covers in the area of Javanroud city, Plant Ecosystem Conservation, Gonbad Kavous University, Volume 7, Issue 15, 330-347.
- Kolaian, Ali, Khoshroosh, Mojtaba, Mohammadi Golafshani, Nima, Mirzaei, Mohammad Javad (2017). Analysis of the temporal changes in the flow of rivers in Mazandaran province

- using the nonparametric Mann-Kendall test, Watershed Engineering and Management, No. 3, 332-345.
- Mohammadi, Chenour, Farajzadeh, Manouchehr, Qavidel Rahimi, Yousef, Ali Akbar Bidakhti, Abbasali (2017). Air temperature estimation based on environmental parameters using remote sensing data, Applied Research in Geographic Sciences, No. 48, 131-152.
 - Moradi, Ehsan, Khosravi, Hassan, Zehtabian, Gholamreza, Khalighi-Sigarudi, Shahram, Sarda, Artemi (2019). Assessing land degradation vulnerability using network analysis process and geographic information system (case study: Maharloo-Bakhtegan watershed), Iranian Soil and Water Research, Volume 51, Number 5. . 10.22059/IJSWR.2020.293299.668410
 - Mansour Moghaddam, Mohammad, Naghipour, Negar, Rezaei, Mehrangiz, Roseta, Iman (2014). Quantifying the effect of Zayandeh Rood drought on changes in land surface temperature and adjacent vegetation during the last 33 years using satellite images, Climate Change Research, Golestan University, No. 18, 1-30.
 - Nazaripour, Dostkamian, Alizadeh, Hamid, Mehdi, Sara (2015). Investigating

- spatial distribution patterns of temperature, precipitation and humidity using geostatistical exploratory analysis (case study: central regions of Iran), *Earth and Space Physics*, Volume 41, Issue 1, 99-117.
- Parviz, Khalghi, Valizadeh, Laleh, Majid, Khalil (2010). Estimating air temperature using the temperature-vegetation index (TVX) method, *Agricultural Sciences and Technologies and Natural Resources, Water and Soil Sciences*, Year 15, No. 56, 20-34.
 - Sadeghinia, Alireza, Alijani, Bahloul, Ziaian, Parviz, Khaledi, Shahriar (2012). Application of spatial autocorrelation techniques in heat island analysis of Tehran city, *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*, Year 13, No. 30, 67-90.
 - Sadeghi Atabadi, Fariba, Ataei, Houshmand, Hashemi Nasab, Sadat (2013). Identification and prediction of changes in the pattern of minimum temperature trends in Iran, *Geography and Environmental Hazards*, No. 8, 23-47.
 - Saeedabadi, Rashid (2016). Investigating the effect of surface cover changes on temperature, precipitation and humidity regime changes in the eastern and western parts of Lake Urmia, *Geographical Studies of Arid Regions*, No. 23, 34-49.

- Souri, Mahshid, Bayat, Mina, Arzani, Hossein and Khodagholi, Morteza. (2019). Estimating long-term forage production in Fars steppe rangelands based on climatic parameters, Scientific and Research Journal of Rangeland and Watershed Management, No. 72, 995-1009. doi:10.22059/jrwm.2020.287255.1408
- Morovati, M., & Karami, P. (2024). Analyzing land surface temperature (LST) changes in the protected area network and focal species in Yazd Province. Journal of Natural Environment, 76 (Special Issue), 277-289. DOI: <http://doi.org/10.22059/jrwm.2020.287255.1408>
- National Water Statistical Yearbook (2015). 17. <https://amar.org.ir/Portals/0/PropertyAgent/6200/Files/30706/93-07-0>
- AL-Totanje A R, Jasim SN (2023). Prediction Model of air temperature in relation to field and remotely sensed data in Baghdad Greater area, Fifth International Conference for Agricultural and Environment Sciences, 1158, 032007, DIO:10.1088/1755-1315/1158/3/032007.
- Alademomi, A. S., Okolie, C. J., Daramola, O. E., Akinnusi, S. A., Adediran, E., Olanrewaju, H. O., ... & Odumosu, J. (2022).

- The interrelationship between LST, NDVI, NDBI, and land cover change in a section of Lagos metropolis, Nigeria. *Applied Geomatics*, 14(2), 299-314.10.1007/s12518-022-00434-2.
- Balas Duda B, Mukesh Kumar Tiwari, Mukesh Trived, Guatam R. Patel (2023). Impact of land surface temperature (LST) and ground air Temperature (Tair) on land use and land cover (LULC): An investigative study, *Internatonal journal of environment and climate change*, volume 13, issue 10,3117-3130.
 - Masoumi Jashni, J., Hamidian Pour, M., Ghorbani, M., Işık Özgüven, A., Kurban, A., & Azadi, H. (2024). Measuring the farmers' vulnerability to climate change in Tashk and Bakhtegan Lakes in Iran. *Climate and Development*, 16(4), 273–288.
 - Miralles, D. G., Vilà-Guerau de Arellano, J., McVicar, T. R., & Mahecha, M. D. (2025). Vegetation–climate feedbacks across scales. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1544(1), 27-41.
 - Moradi Ehsan, Khosravi Hassan, Dehghan Rahimabadi Pouyan, Choubin Bahram, Zlatica Muchová (2024). Integrated approach to land degradation risk assessment in arid and semi-arid Ecosystems: Applying SVM and eDPSIR/ANP methods,

- Ecological Indicators, Volume 169, 112947.
- <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112947>
 - Gemitzi, A., Dalampakis, P., & Falalakis, G. (2021). Detecting geothermal anomalies using Landsat 8 thermal infrared remotely sensed data. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 96, 102283
<https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102283>
 - Gao, B. C. (1996). NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. Remote Sensing of Environment, 58, 1429. DOI:10.1016/S0034-4257(96)00067-3
 - Hoseini Z, Mozafari M (2021). Impact of land use changes and expanding of irrigation on Drying up of Bakhtegan and Tashk Lakes, civil infrastructure researches, Vol 7, Issue1, 53-65.
 - How Jin Aik, D., Ismail, M. H., & Muharam, F. M (2020). Land Use/Land Cover Changes and the Relationship with Land Surface Temperature Using Landsat and MODIS Imageries in Cameron Highlands, Malaysia. Land, 9(10), 372.
<https://doi.org/10.3390/land9100372>
 - Liao M.C, Sung W.P, Chen Shi Q.Q (2024). Comparing small water bodies Impact on

- Subtropical campus outdoor temperature, Buiding 2024,14,1288.
- Mozafari Morteza, Hosseini Zeinab, Fijani Elham (2022). Assessing the role of meteorological and hydrological droughts on the drying up of the Bakhtegan and Tashk lakes, Natural Environmenttal Hazads, Vol.11.Issue34.
 - Sotoudehpour Afshin, Madadi Aghil, Saraskanrood Sayyad Asghari (2024). Comparing of water extraction index using landsat8 and sentinel 2A image. case study: boushehr shoreline, Marine Science and Technology, Vol 23, Nol23, No1,59-83.
 - Sobrino, J. A., Jiménez-Muñoz, J. C., & Paolini, L. (2004). Land surface temperature retrieval from Landsat TM 5. Remote Sensing of Environment, 90(4), 434–440.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.02.003>
 - Yang Bohan, Meng Fen, Ke Xinli, Ma Caixue (2015). The Impact Analysis of water body landscape pattern on urban heat island: A Case Study of Wuhan City, Hindawi Publishing corporation, Advance in Meteorology, Volume 2015.
 - Yiyang Zhao, Suning Liu, Haiyun Shi (2021). impact of dams and reservoirs on local climate change: a global perspective, Environ Res, lett16.

- Yuan Fei, Sen Roy Shouraseni (2007). Analysis of the relationship between NDVI and climate variables in MINNESOTA using geographically weighted regression and spatial interpolation, Tampa Florida, 7-11.
- Vanhellemont, Q (2020). Combined land surface emissivity and temperature estimation from Landsat 8 OLI and TIRS. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 166, 390-402.
<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.06.007>.
- Siqui, J., & Yuhong, W. (2020). Effects of land use and land cover pattern on urban temperature variations: A case study in Hong Kong. Urban Climate, 34, 100693.