



Analysis of Land Surface Temperature changes in the Bakhtegan–Maharloo basin using satellite data and spatial statistical methods

Maryam Nasiri¹ , Seyed Hossein Mirmousavi*² , Abdollah Faraji³ , Koohzad Raispour⁴

1- Doctoral student of climatology, Zanjan University, Zanjan, Iran. Email: anitamaryam93@gmail.com

2- (*Corresponding author) Associate professor of Zanjan University, Zanjan, Iran. Email: hossein.mirmousavi@znu.ac.ir

3- Associate professor of Zanjan University, Zanjan, Iran. Email: af1390@yahoo.com

4- Assistant professor of Zanjan University, Zanjan, Iran. Email: raispour@znu.ac.ir

Article Info

Date of receive:

2025/02/16

Date of last review:

2025/05/19

Date of accept:

2025/05/25

Date of online publication:

2025/05/25

Keywords:

Land Surface Temperature (LST),
NDWI,
NDVI,
Spatial statistics,
Hot spot analysis

Extended Abstract

Introduction

In geographical research, one of the key indicators for evaluating climatic changes and energy balance is Land Surface Temperature (LST), which plays a crucial role in analyzing thermal patterns and natural processes (Khosh Akhlagh et al., 2013; Ebrahimi et al., 2021). Remote sensing data due to their high accuracy, wide spatial coverage, and up-to-date availability have become a highly effective tool for generating thermal maps and offer a practical alternative to traditional measurement methods (Darvishi et al., 2019). The Bakhtegan–Maharloo basin, due to the severe decline in water resources, widespread degradation of natural ecosystems, and major land use changes in recent years, has become one of the critical environmental zones in Iran. Accordingly, a precise analysis of the spatial and temporal trends in land surface temperature and identification of the driving factors behind its rise in this region is of significant importance. This study uses Landsat satellite imagery and spatial statistical methods such as Hot Spot Analysis to examine the distribution patterns of land surface temperature in the Bakhtegan–Maharloo basin. The results identify high-temperature zones and clarify the regulatory roles of vegetation cover and surface water in moderating land surface temperature. An increase in LST can lead to higher evaporation rates from water bodies and further intensify the water scarcity crisis. Therefore, accurately identifying these changes is a vital step toward formulating effective strategies for vegetation restoration, sustainable water management, and mitigation of environmental degradation. ... ► Page 176

How to Cite:

Nasiri, M. Mirmousavi, S.H. Faraji, A. Raispour, K. (2025). Analysis of Land Surface Temperature changes in the Bakhtegan–Maharloo basin using satellite data and spatial statistical methods. Scientific - Research Quarterly Geographical Data (SEPEHR). 34(134), 175-198.

Methodology

Landsat 5 and Landsat 8 imagery from the years 1990, 1995, 2001, 2009, and 2020 were extracted via the Google Earth Engine platform. The datasets included Land Surface Temperature (LST), the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), and the Normalized Difference Water Index (NDWI). Images with minimal cloud cover were selected, and preprocessing steps such as cloud masking were applied. Due to their advanced sensors, Landsat satellites are ideal for monitoring environmental change. In this study, the TM sensor on Landsat 5 (with 120 m spatial resolution for thermal bands and 30 m for reflective bands) and the TIRS sensor on Landsat 8 (with 100 m thermal and 30 m reflective resolution) were used. NDVI was used to assess vegetation density and health, while NDWI helped delineate surface water extent. These indices were key to identifying environmental variables affecting surface temperature and understanding their interrelation. To identify critical areas, hot spot analysis using the Getis-Ord G_i^* statistic was conducted. This method calculates a Z-score to indicate where high or low values are spatially clustered, thus distinguishing hot and cold zones in the data.

Discussion

Thermal maps from 1990 to 2020 reveal significant shifts in temperature class distribution and a general increase in land surface temperature across the region. The findings indicate that this rise is primarily driven by the depletion of water resources, degradation of vegetation cover, and climate-related factors. The results highlight the urgency of implementing environmental management strategies such as rehabilitating water resources, increasing vegetation cover, and improving natural resource governance to prevent further warming. The presence of vegetation has significantly contributed to local temperature reduction, leading to a decrease in high-temperature zones and expansion of moderate-temperature areas. In contrast, barren and built-up lands especially in the southern and eastern parts of the basin remain major contributors to high surface temperatures due to their low NDVI values. Moreover, analysis of NDWI trends shows that, from 2001 onwards, declining water bodies have played a direct role in expanding high-temperature zones. The combined decrease in NDVI and NDWI confirms the central role of vegetation and water loss in driving temperature increases and spatial temperature clustering.

Conclusion

In the early years of the study (1990 and 1995), large portions of the basin experienced moderate temperatures between 15°C and 25°C, largely due to extensive water bodies and their

cooling effects. However, from 2001 onward, as NDWI revealed significant water loss and NDVI showed vegetation degradation, the temperature distribution shifted dramatically. Vast areas, particularly in the southern and southeastern regions, transitioned into high-temperature classes ranging from 35°C to 58°C. Hot spot maps reveal that high-temperature clusters have expanded considerably in the southern and central regions, while cold clusters once concentrated in the northeast and near water bodies have gradually diminished. Since 2001, cold zones have nearly disappeared from southern areas and shifted northward. These changes clearly demonstrate the interconnected impacts of water scarcity and vegetation loss on rising surface temperatures and the spatial reorganization of heat intensity. By 2020, the majority of the basin had fallen into the highest temperature categories (45°C to 58°C), a condition directly associated with the decline in NDVI and NDWI. Ultimately, the findings confirm that the degradation of vegetation and reduction in water resources not only intensify surface temperature levels but also risk triggering cascading environmental consequences, including increased evaporation and deepening water shortages.



صفحات ۱۹۸ - ۱۷۵

فصلنامه علمی - پژوهشی

اطلاعات جغرافیایی (سپهر) دوره ۳۴، شماره ۱۳۴، تابستان ۱۴۰۴



مقاله پژوهشی

<https://doi.org/10.22131/sepehr.2025.2053533.3124>

تحلیل تغییرات دمای سطح زمین در حوضه بختگان-مهارلو با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و روش‌های آمار فضایی

مریم نصیری^۱، سیدحسین میرموسوی^{۲*}، عبدالله فرجی^۳، کوهزاد رئیس‌پور^۴

۱- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی دانشگاه زنجان، زنجان، ایران anitamaryam93@gmail.com

۲- (*نویسنده مسئول) دانشیار اقلیم‌شناسی دانشگاه زنجان، زنجان، ایران hossein.mirmousavi@znu.ac.ir

۳- دانشیار اقلیم‌شناسی دانشگاه زنجان، زنجان، ایران af1390@yahoo.com

۴- استادیار اقلیم‌شناسی دانشگاه زنجان، زنجان، ایران raispour@znu.ac.ir

چکیده

تحلیل روند دمای سطح زمین و شناسایی عوامل مؤثر بر آن، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، از اهمیت بالایی در مدیریت محیطی و برنامه‌ریزی منابع طبیعی برخوردار است. این پژوهش با هدف بررسی تغییرات دمای سطح زمین و ارتباط آن با تغییرات پوشش گیاهی و سطح آب دریاچه‌ها در حوضه آبریز بختگان-مهارلو طی دوره‌ی زمانی ۲۰۲۰-۱۹۹۰ انجام شد. برای دستیابی به این هدف، داده‌های ماهواره‌ای لندست ۵ و ۸ مورد استفاده قرار گرفته و شاخص‌های NDVI، NDWI و LST، استخراج شدند. در کنار آن، روند ۳۰ ساله بارندگی در ایستگاه‌های منتخب با استفاده از آزمون من-کندال و شیب سن تحلیل شد تا تغییرات دمایی در ارتباط با روندهای بارش ارزیابی شود. همچنین، تحلیل لکه‌های داغ (Gi^*) برای شناسایی نواحی دارای تمرکز بالای دمایی انجام شد. یافته‌ها نشان داد که در سه دهه اخیر، کاهش بارندگی در جنوب و جنوب‌شرقی حوضه منجر به کاهش قابل توجه منابع آبی و تخریب پوشش گیاهی در این نواحی شده است. شاخص NDWI روند کاهشی شدیدی را در سطح دریاچه‌های طشک، بختگان و مهارلو داشته و شاخص NDVI نیز در مناطق پیرامون این پهنه‌ها، کاهش محسوس پوشش گیاهی را نشان داد. همزمان، نقشه‌های دمای سطح زمین گویای انتقال طبقات دمایی از بازه‌های معتدل (۲۵-۱۵ درجه سلسیوس) به بازه‌های بالاتر (۵۸-۴۵ درجه سلسیوس) در جنوب و مرکز حوضه بوده‌اند، که نشان‌دهنده‌ی تشدید گرمایش سطحی است. تمرکز این گرمایش در مناطقی است که کاهش منابع آبی و پوشش گیاهی به‌صورت هم‌زمان رخ داده‌اند. نتایج تحلیل لکه‌های داغ نشان داد که خوشه‌های حرارتی با شدت بالا عمدتاً در جنوب و جنوب‌شرق حوضه متمرکز شده‌اند؛ این تمرکز مکانی دماهای بالا با نواحی دارای بیشترین افت بارندگی، کاهش منابع آبی و تخریب پوشش گیاهی انطباق دارد، که نشان‌دهنده‌ی همپوشانی فضایی و تعامل منفی بین این مؤلفه‌ها در فرآیند گرم‌شدگی سطح زمین است.

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت:

۱۴۰۳/۱۱/۲۸

تاریخ آخرین بازنگری:

۱۴۰۴/۰۲/۲۹

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۴/۰۳/۰۴

تاریخ انتشار:

۱۴۰۴/۰۳/۰۴

واژه‌های کلیدی:

دمای سطح زمین (LST)؛

شاخص NDWI؛

شاخص NDVI؛

آمار فضایی؛

تحلیل نقاط داغ

استناد به این مقاله:

نصیری، م؛ میرموسوی، س.ح؛ فرجی، ع؛ رئیس‌پور، ک (۱۴۰۴) تحلیل تغییرات دمای سطح زمین در حوضه بختگان-مهارلو با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و روش‌های آمار فضایی؛ فصلنامه علمی پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، ۳۴ (۱۳۴)، ۱۷۵-۱۹۸

۱- مقدمه

براساس گزارش سازمان ملل متحد، پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۰۵۰، جمعیت شهرنشین از ۵۵ درصد به ۷۰ درصد افزایش یابد. این رشد سریع شهری منجر به فشار شدید بر منابع طبیعی، کاهش پوشش گیاهی، تالاب‌ها و زمین‌های کشاورزی می‌شود و به تخریب محیط زیست و تشدید پدیده‌هایی نظیر تغییرات اقلیمی و گرمایش شهری منجر خواهد شد (Roy et al., 2022: 1). دمای سطح زمین (LST)^۱ به‌عنوان یکی از شاخص‌های کلیدی در مطالعات زیست‌محیطی، بر تعادل انرژی و فرآیندهای اقلیمی تأثیر بسزایی دارد و به‌عنوان منبع مهمی برای تحلیل تغییرات دمایی شناخته می‌شود (حیدری و همکاران، ۱۳۹۲: ۶؛ ابراهیمی و همکاران، ۲۰۲۱: ۲۱۰۳). داده‌های سنجنش از دور به دلیل دقت بالا، پوشش وسیع و به‌هنگام بودن، به ابزاری کارآمد برای تهیه نقشه‌های حرارتی و کاهش هزینه‌های مرتبط با تخمین‌های سنتی تبدیل شده‌اند (درویشی و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۴۴). این داده‌ها اطلاعات ارزشمندی در مورد ویژگی‌های فیزیکی سطح زمین و تأثیرات آن بر تغییرات دمایی ارائه می‌دهند که در مدیریت زیست‌محیطی و کنترل دمای سطح زمین بسیار حیاتی است (احمدی و همکاران، ۱۳۹۴: ۶۲). از آنجا که ایستگاه‌های هواشناسی تنها قادر به پایش نقاط خاص هستند، فناوری سنجنش از دور این محدودیت را به‌طور مؤثری جبران کرده و امکان تحلیل گسترده و دقیق دمایی را فراهم نموده است (اصغری سراسکانرود و امامی، ۱۳۹۷: ۱۹۵). این اطلاعات به شناسایی مناطق با دمای بالا کمک کرده و راهکارهای مؤثری برای کاهش اثرات گرمایی و مقابله با پیامدهای گرمایش جهانی ارائه می‌دهند (درویشی و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۴۴؛ احمدی و همکاران، ۱۳۹۴: ۶۵).

در همین راستا، شاخص‌های: (NDVI)^۲ شاخص گیاهی تفاضل نرمال‌شده و (NDWI)^۳ شاخص تفاضلی نرمال‌شده آب به‌ترتیب نمایانگر وضعیت پوشش گیاهی و پهنه‌های

آبی هستند که به‌عنوان دو عامل کلیدی در کاهش یا افزایش دمای سطح زمین شناخته می‌شوند (درویشی و همکاران، ۱۳۹۸: ۶۵؛ احمدی و همکاران، ۱۳۹۴: ۶۵). پوشش گیاهی مترکم می‌تواند با کاهش تابش جذب‌شده توسط سطح زمین، از افزایش دما جلوگیری کند، در حالی که کاهش منابع آبی و تخریب پوشش گیاهی به افزایش دمای سطح زمین منجر می‌شود (خسروی و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۴۷). پوشش گیاهی از طریق فرآیندهای تبخیر و تعرق، خنک‌سازی مؤثری در سطح زمین ایجاد می‌کند و به‌عنوان مانعی در برابر تابش مستقیم خورشید عمل می‌کند (اسماعیلی پیشبر، ۱۳۹۲: ۵۶). هدف از استفاده از این شاخص‌ها در پژوهش‌های مختلف، ارزیابی تأثیر تغییرات پوشش گیاهی و منابع آبی بر توزیع دما و شناسایی الگوهای تغییرات دمای سطح زمین بوده است (نادیان و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۹۹؛ بحری و خسروی، ۱۳۹۶: ۴۴). این شاخص‌ها اطلاعات ارزشمندی را برای شناسایی نواحی بحرانی با دمای بالا فراهم می‌کنند که می‌توانند به برنامه‌ریزی دقیق‌تر در مدیریت محیط زیست و کاهش اثرات گرمایش محلی منجر شوند. شاخص NDVI یکی از پرکاربردترین شاخص‌های سنجنش از دور در حوزه تحلیل پوشش گیاهی به شمار می‌رود. این شاخص، که بر پایه نسبت بازتاب طیفی در باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک محاسبه می‌شود، قابلیت تشخیص وضعیت رشد و سلامت پوشش گیاهی را با دقت بالا فراهم می‌آورد (Siqi, 2020: 26)؛ ناطقی و همکاران، ۱۳۹۶: ۷۸۰. افزون بر این، خصوصیات بیوفیزیکی و بیوشیمیایی پوشش‌های گیاهی در محدوده‌های مختلف طیف الکترومغناطیس قابل‌بازیابی بوده و استفاده از داده‌های سنجنش از دور امکان پایش و تحلیل این ویژگی‌ها را در مقیاس‌های وسیع فراهم می‌کند (Neinavaz, 2020: 75).

با توجه به اهمیت موضوع، مطالعات متعددی در سطح جهان به بررسی تأثیر تغییرات کاربری زمین و پوشش گیاهی بر دمای سطح زمین پرداخته‌اند. در کردستان عراق، نتایج پژوهش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست نشان داد که تغییرات کاربری زمین نقش کلیدی در افزایش دمای

1- Land Surface Temperature

2- Normalized Difference Vegetation Index

3- Normalized Difference Water Index

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (۳۸)

تحلیل تغییرات دمای سطح زمین در حوضه بختگان-مهارلو با استفاده از ... / ۱۷۹

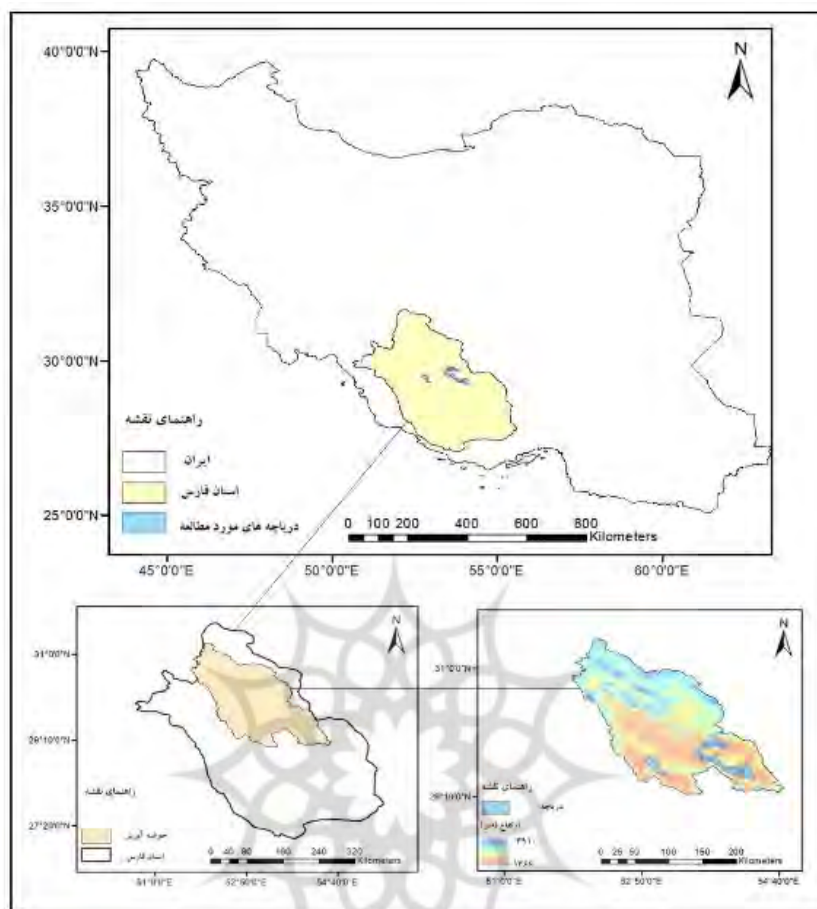
با توجه به مطالعات انجام شده، مشخص شد که تغییرات کاربری زمین، کاهش منابع آبی و تخریب پوشش گیاهی به طور مستقیم بر افزایش دمای سطح زمین تأثیرگذار هستند. حوضه بختگان-مهارلو به دلیل کاهش شدید پهنه های آبی، تخریب اکوسیستم های طبیعی و تغییرات گسترده کاربری زمین، به یکی از مناطق بحرانی ایران تبدیل شده است. بنابراین، بررسی دقیق تغییرات زمانی و مکانی دمای سطح زمین و شناسایی عوامل مؤثر بر افزایش دمای سطح زمین در این منطقه ضروری است. پژوهش حاضر با استفاده از داده های ماهواره ای لندست و روش های آماری فضایی مانند تحلیل لکه های داغ، سعی بر آن دارد تا الگوی پراکندگی دمای سطح زمین در حوضه بختگان-مهارلو را مشخص نماید.

۲- قلمرو جغرافیایی مورد مطالعه

حوضه آبریز دریاچه های طشک، بختگان و مهارلو با مساحت ۳۱۴۹۲ کیلومتر مربع، یکی از منابع مهم آبی ایران برای کشاورزی و تولید انرژی برق آبی است که ۴۹ درصد آن را مناطق کوهستانی و ۵۱ درصد را دشت ها و کوهپایه ها تشکیل می دهند (سالنامه آماری آب کشور، ۱۳۹۴: ۱۷). رودخانه کر به عنوان رودخانه اصلی این حوضه، با شاخه بزرگ خود، رودخانه سیوند، به تالاب های بختگان و طشک منتهی می شود (نگاره ۱). سدهای مهمی نظیر درودزن، سیوند و ملاصدرا در این حوضه قرار دارند و توسعه فعالیت های کشاورزی و ورود پساب ها باعث افت کیفیت آب شده است (اسماعیلی پیشیر، ۱۳۹۲: ۲۵). به دلیل عدم تخصیص حقایق زیست محیطی، وسعت تالاب ها به تدریج کاهش یافته است. این حوضه به دلیل رشد بالای جمعیت و بهره برداری زیاد از منابع آبی، کاهش ۱۳/۸ درصدی رواناب سطحی را تجربه کرده و در طبقه مناطق با احتمال شدید بروز تنش های آبی قرار دارد. بارندگی این حوضه تحت تأثیر رژیم مدیریت آبی و در مناطق مختلف از ۲۰۰ تا ۷۰۰ میلی متر متغیر است (مرادی و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۰۷۲).

سطح زمین دارد (Gaylan et al., 2017: 18). در هند، استفاده از آماره فضایی موران، الگوی خوشه ای مثبت دمای سطح زمین را مشخص کرده است (Kumari et al., 2019: 205). در دلتای مک کنزی در نواحی قطبی، مشخص شد که توپوگرافی و رژیم رطوبتی در مناطق دارای تبخیر و تعرق بالا، در خنک شدن یا افزایش دمای سطح زمین نقش بسزایی دارند (Leon et al., 2019: 26). همچنین در شمال شرق بنگلادش، رابطه مثبت بین پوشش گیاهی (NDVI) و کاهش دما، و رابطه منفی بین ساخت و سازهای غیرقابل نفوذ (NDBI) و افزایش دما نشان داده شده است (Roy et al., 2022: 6). در مطالعه ای دیگر، افزایش مناطق ساخته شده طی یک دهه موجب افزایش دمای محیط از ۱۸/۷ به ۲۱/۸ درجه سانتی گراد شده است (Diksha et al., 2023: 15).

در ایران نیز، با توجه به اهمیت این موضوع، مطالعات مختلفی انجام شده است. فیضی زاده و همکاران (۱۳۹۵) در حوضه آبریز مهاباد با استفاده از تصاویر ماهواره ای لندست ۸، اختلاف ناچیز (کمتر از ۲ درجه) بین دمای ثبت شده در ایستگاه های هواشناسی و دمای سطح زمین را تأیید کردند. انتظاری و همکاران (۱۳۹۵) در حوضه آبخیز پریشان دریافتند که کاهش وسعت دریاچه ها و افزایش بیابانزایی منجر به افزایش دمای سطح زمین شده است. علیمزادی و همکاران (۱۳۹۶) در مراتع حوضه آبخیز کارون نشان دادند که رابطه معکوس قوی میان پوشش گیاهی و دمای سطح زمین وجود دارد. خسروی و همکاران (۱۳۹۶) در شهر زنجان، با استفاده از آماره خودهمبستگی موران، نشان دادند که زمین های بایر و مناطق ساخته شده بیشترین دما و مناطق دارای پوشش گیاهی کمترین دما را داشته اند. نتایج مطالعات زندی و همکاران (۱۴۰۲) در شهر اصفهان نشان داد که جزایر حرارتی با کاربری های ساخته شده رابطه مستقیم و با کاربری پوشش گیاهی و منابع آبی رابطه معکوس دارند. عابدینی و همکاران (۱۴۰۳) نیز در شهرستان پارس آباد نشان دادند که تغییرات کاربری زمین، به ویژه در مناطق شهری، باعث افزایش آنومالی دمایی و تشکیل جزایر حرارتی شده است.



نگاره ۱: موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

۳- داده و روش

آب (NDWI) هستند. به منظور حفظ یکنواختی زمانی در مقایسه‌های بین‌سالی و ارتقای دقت تحلیلی، تصاویر مورد استفاده صرفاً از ماه مه هر سال انتخاب شده‌اند. انتخاب ماه مه به دلایل جغرافیایی و اقلیمی انجام گرفته است. از یک سو، در این ماه پوشش گیاهی منطقه در حالت نیمه‌فعال قرار دارد و تفاوت‌های دمایی میان نواحی با پوشش گیاهی متراکم، نواحی فاقد پوشش و مناطق مجاور پهنه‌های آبی به وضوح قابل مشاهده است؛ از سوی دیگر، شرایط جوی در این بازه نسبتاً پایدار بوده و احتمال وقوع پوشش ابری شدید یا ناپایداری‌های آب‌وهوایی حداقل است. به همین سبب، در هر سال، تصویری با حداقل میزان ابر (کمتر از ۱۰ درصد) و حداکثر کیفیت طیفی و هندسی انتخاب شده است.

در راستای تحلیل روندهای زمانی و مکانی دمای سطح زمین، پوشش گیاهی و تغییرات پهنه‌های آبی در حوضه آبریز بختگان-مه‌ارلو، تصاویر ماهواره‌ای مربوط به سال‌های ۱۹۹۰، ۱۹۹۵، ۲۰۰۱، ۲۰۰۹ و ۲۰۲۰ از سری داده‌های ماهواره‌ای Landsat 5 (TM) و Landsat 8 (OLI/TIRS) از طریق سامانه Google Earth Engine استخراج و مورد استفاده قرار گرفتند. تصاویر ماهواره‌ای لندست به دلیل پوشش تاریخی طولانی‌مدت، قابلیت ثبت تغییرات محیطی با دقت بالا و پوشش مکانی گسترده انتخاب شدند (صادقی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۱: ۷۱). شاخص‌های مورد بررسی در این مطالعه شامل دمای سطح زمین (LST)، شاخص تفاضل نرمال‌شده پوشش گیاهی (NDVI) و شاخص تفاضل نرمال‌شده

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (زمین)

تحلیل تغییرات دمای سطح زمین در حوضه بختگان-مهارلو با استفاده از ... / ۱۸۱

همچنین در این پژوهش برای تحلیل روند تغییرات اقلیمی و ارتباط آن با دمای سطح زمین، از داده‌های بارش سالانه مربوط به ۱۱ ایستگاه سینوپتیک در سطح حوضه آبریز بختگان-مهارلو استفاده شد. این ایستگاه‌ها شامل آباده، داراب، اقلید، فسا، شیراز، جهرم، لار، لامرد، زرقان، درودزن و طشک هستند که توزیع مکانی آن‌ها مناطق مختلف حوضه و اطراف آن را پوشش می‌دهد. داده‌های مذکور از اداره کل هواشناسی استان فارس برای دوره ۲۰۲۰-۱۹۹۰ دریافت شده و پس از کنترل کیفی، با استفاده از آزمون من-کندال و روش شیب سنس برای تشخیص روند و نرخ تغییرات سالانه مورد تحلیل قرار گرفتند.

در این پژوهش، به منظور تحلیل دمای سطح زمین و بررسی ارتباط آن با تغییرات پوشش گیاهی، منابع آبی و ویژگی‌های اقلیمی در حوضه بختگان-مهارلو، از یک چارچوب تحلیلی مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای و روش‌های آماری استفاده شده و مراحل انجام آن به شرح زیر است:

- از آنجا که تمامی محاسبات دمایی بر پایه انرژی تابشی دریافتی از سطح زمین صورت می‌گیرد، نقطه شروع این فرآیند، محاسبه رادیانس طیفی است. این پارامتر، میزان انرژی بازتابی سطح زمین است که توسط سنجنده ثبت می‌شود و مبنای محاسبه مراحل بعدی مانند دمای روشنایی و دمای سطح زمین قرار می‌گیرد. برای محاسبه رادیانس طیفی برای هر باند از رابطه (۱) استفاده شده است (زارعی و همکاران، ۲۰۱۶: ۵).

تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ از سنجنده TM برخوردارند که دارای قدرت تفکیک مکانی اسمی ۱۲۰ متر در باند حرارتی و ۳۰ متر در باندهای بازتابی است. با این حال، در داده‌های سطح ۱، باند حرارتی به صورت باز نمونه‌برداری شده به ۳۰ متر ارائه می‌شود که در پژوهش حاضر نیز از همین قالب استفاده شده است. تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ نیز حاصل ترکیب داده‌های دو سنجنده OLI و TIRS هستند؛ در این تصاویر، باندهای بازتابی با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر و باندهای حرارتی با قدرت تفکیک اسمی ۱۰۰ متر در دسترس هستند که در قالب داده‌های استاندارد به صورت باز نمونه‌برداری شده با وضوح ۳۰ متر ارائه شده‌اند. این وضوح مکانی امکان تحلیل دقیق تغییرات سطح زمین و استخراج اطلاعات محیطی با جزئیات بالا را فراهم می‌کند. پیش از انجام محاسبات و تحلیل‌های نهایی، کلیه تصاویر از نظر کیفیت طیفی، هندسی و وجود پوشش ابری مورد بررسی قرار گرفته‌اند. پیکسل‌های ابری و نواحی دارای نویز طیفی با استفاده از الگوریتم‌های موجود در بستر Google Earth Engine حذف و تصحیحات اولیه رادیومتریک و هندسی اعمال شده است. به این ترتیب، داده‌های پردازش شده از انسجام زمانی-مکانی لازم برای تحلیل‌های مقایسه‌ای برخوردار بوده و شرایط لازم برای استخراج تغییرات محیطی در منطقه مورد مطالعه را فراهم آورده‌اند. جزئیات کامل مربوط به مشخصات زمانی، فنی و مکانی تصاویر مورد استفاده در جدول شماره (۱) ارائه شده است.

جدول ۱: مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در پژوهش

سال	تاریخ تصویر	ساعت تصویربرداری (UTC)	ساعت محلی (ایران)	ماهواره	سنجنده	مسیر/ردیف (Path/Row)
۱۹۹۹	۱۹۹۹/۵/۱۴	۶:۴۵	۱۰:۱۵	لندست ۵	TM	۱۶۳/۰۳۹
۱۹۹۵	۱۹۹۵/۵/۱۶	۶:۴۴	۱۰:۱۴	لندست ۵	TM	۱۶۳/۰۳۹
۲۰۰۱	۲۰۰۱/۵/۱۸	۶:۴۶	۱۰:۱۶	لندست ۵	TM	۱۶۳/۰۳۹
۲۰۰۹	۲۰۰۹/۵/۲۰	۶:۴۵	۱۰:۱۵	لندست ۵	TM	۱۶۳/۰۳۹
۲۰۲۰	۲۰۲۰/۵/۲۲	۶:۴۴	۱۰:۱۴	لندست ۸	OLI/TIRS	۱۶۳/۰۳۹

• در ادامه، دمای سطح زمین با اعمال گسیل‌مندی محاسبه شد. این دما مستقیماً برای تحلیل تغییرات گرمایی سطح زمین به کار رفت. این مرحله با استفاده از رابطه (۴) انجام شد (Sobrin et al, 2004: 438, Gemitzi et al, 2021: 82).

$$LST = BT / (1 + (\lambda * BT / \rho) * \ln(\varepsilon)) \quad \text{رابطه (۴)}$$

در رابطه (۴) B دمای روشنایی، λ رادیانس باند حرارتی و ρ مقدار ثابت ۱۴۳۸۰ و ε گسیل‌مندی سطح زمین هستند.

• در گام بعد به منظور مقایسه دقیق دمای سطح زمین در سال‌های مختلف و حذف تأثیرات اختلاف مقیاس بین تصاویر، مقادیر دمایی براساس رابطه (۵) به صورت استاندارد شده (نرمال) محاسبه شدند (هاشمی و همکاران، ۱۶: ۲۰۱۶).

$$NLST = (LST - LST_{min}) / (LST_{max} - LST_{min}) \quad \text{رابطه (۵)}$$

در رابطه (۵): NLST دمای نرمال شده رویه زمین، LST دمای رویه زمین، LST_{min} و LST_{max} به ترتیب دمای رویه کمینه و بیشینه برای محدوده مورد مطالعه هستند.

• 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 نسبت‌گیری بین باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک قابل استخراج است (Siqi, 2020: 26).

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \quad \text{رابطه (۶)}$$

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

$$L\lambda = ((LMAX - LMIN) / (QCALMAX - QCALMIN)) * (DN - QCALMIN) + LMIN \quad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه (۱): DN عدد رقومی هر پیکسل، LMAX و LMIN ضریب ثابت کالیبراسیون^۲ سنجنده و یا مقدار حداکثر و حداقل رادیانس باند حرارتی سنجنده، QCALMAX و QCALMIN به ترتیب بزرگ‌ترین و کوچک‌ترین مقدار عددی برای باندهای حرارتی سنجده‌های TM و ETM هستند.

• 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 براساس رابطه (۲) انجام شده است (Alademomi et al, 2020: 90).

$$BT = K2 / \ln(K1 / L\lambda + 1) \quad \text{رابطه (۲)}$$

در رابطه (۲): BT دمای روشنایی ماهواره بر حسب کلونین، $L\lambda$ تابش طیفی باند حرارتی K1 و K2 و ضریب ثابت کالیبراسیون 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 شود (How Jin Aik et al, 2020: 361).

$$\varepsilon = \varepsilon_{veg} * Pv + \varepsilon_{soil} * (1 - Pv) + C \quad \text{رابطه (۳)}$$

در رابطه (۳): ε_{soil} گسیل‌مندی خاک لخت، ε_{veg} گسیل‌مندی پوشش گیاهی و P_v نسبت پوشش گیاهی^۳ هستند (Vanhellemont et al, 2020: 160 و ۸۴: ۱۳۹۲، همکاران، ۱۶: ۲۰۱۶).

1- Digital Number (DN)

2- calibration constants

3- Proportion of Vegetation (PV)

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (۱۳۸۳)

تحلیل تغییرات دمای سطح زمین در حوضه بختگان-مهارلو با استفاده از ... / ۱۸۳

• در گام بعدی پژوهش، به منظور شناسایی نواحی دارای تمرکز فضایی دماهای غیرعادی، از تحلیل لکه‌های داغ با استفاده از آماره Gi^* بهره گرفته شد. این روش با محاسبه مقادیر Z-Score، نواحی دارای دمای به‌طور معنادار بالاتر یا پایین‌تر از میانگین منطقه را به‌ترتیب به‌عنوان خوشه‌های داغ و خوشه‌های سرد شناسایی کرده و اطلاعات ارزشمندی در مورد پراکنش مکانی شدت گرمایش یا سرمایش در سطح حوضه فراهم نمود.

• در مرحله پایانی، نتایج حاصل از تمامی مراحل انجام شده با هدف ارزیابی اثرات متقابل آن‌ها بر یکدیگر مورد تحلیل قرار گرفته و براساس آن نتیجه‌گیری به‌عمل آمد.

۴- یافته‌ها

در این پژوهش، داده‌های دمای سطح زمین به شش طبقه دمایی تقسیم شدند. این طبقه‌بندی به درک روند تغییرات حرارتی، شناسایی جزایر حرارتی و بررسی ارتباط آن با تخریب پوشش گیاهی و کاهش منابع آبی کمک می‌کند (جدول ۲).

بررسی نقشه‌های دمای سطح زمین طی دوره مورد مطالعه نشان‌دهنده تغییرات قابل توجه در توزیع طبقات دمایی و افزایش دمای کلی منطقه است. در سال‌های ۱۹۹۰، ۱۹۹۵ و ۲۰۰۹، طبقه دمایی ۵ تا ۱۲ درجه سلسیوس در بخش‌های

شاخص NDWI به‌منظور شناسایی و تفکیک پهنه‌های آبی از خاک و پوشش گیاهی به‌کار می‌رود. این شاخص از اختلاف بازتاب در باند سبز و مادون قرمز نزدیک براساس رابطه (۷) محاسبه شده است (Gao et al,1996: 50).

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

رابطه (۷)

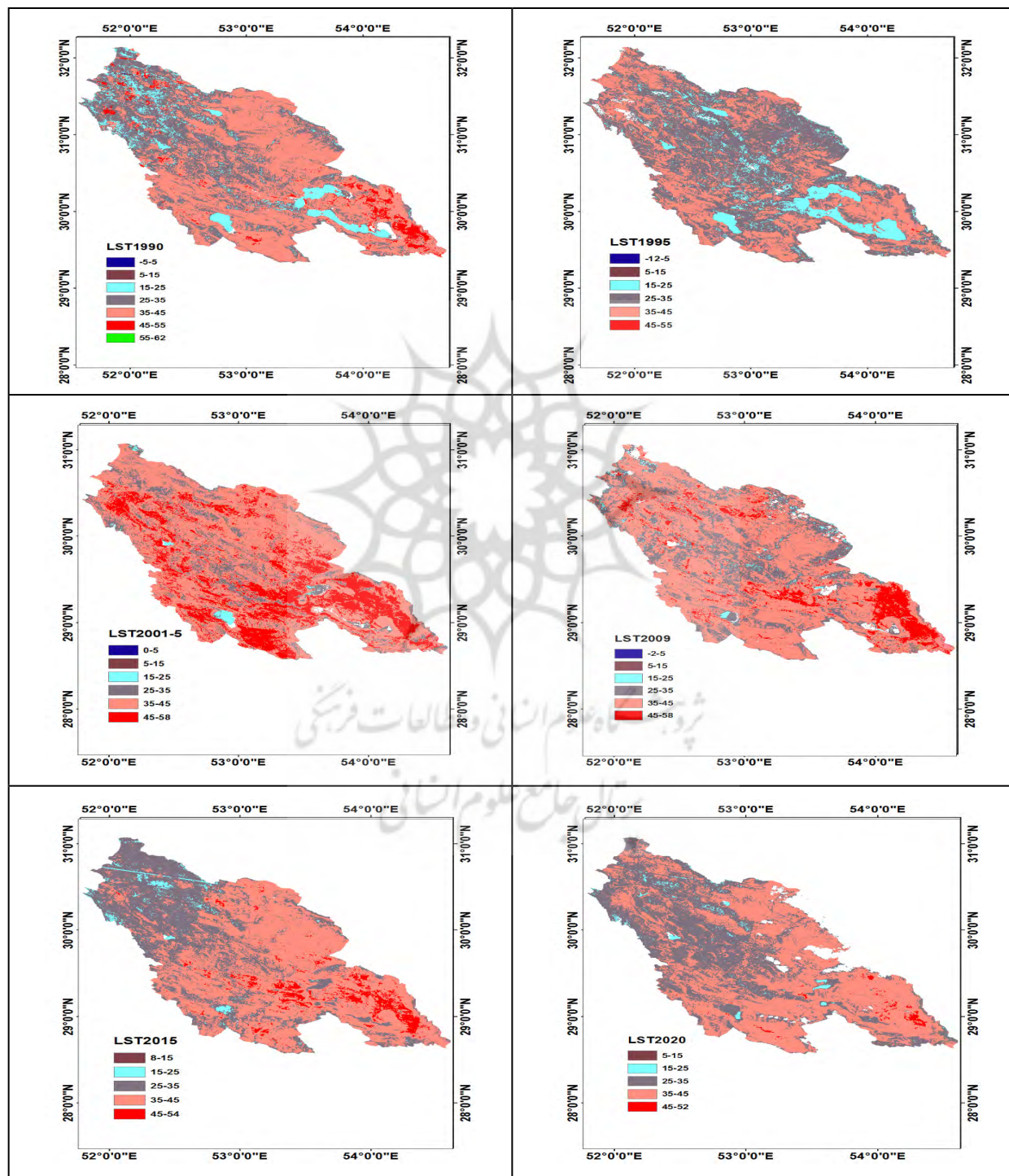
در رابطه (۷): (Green) بازتاب سطحی در باند سبز و (NIR) بازتاب سطحی در باند مادون قرمز نزدیک هستند. مقادیر مثبت بالای این شاخص (نزدیک به +۱) نشان‌دهنده حضور آب و مقادیر منفی نشان‌دهنده کمبود منابع آبی یا نبود آب است.

• در مرحله بعد، به‌منظور بررسی روند تغییرات بارندگی و تحلیل دقیق ویژگی‌های اقلیمی منطقه، از آزمون من-کندال استفاده شد. این آزمون آماری غیرپارامتری به‌دلیل عدم نیاز به فرض نرمال بودن داده‌ها، گزینه‌ای مناسب برای تحلیل سری‌های زمانی بلند مدت بارش است و با استفاده از آن، جهت‌گیری و معناداری روندهای افزایشی یا کاهش‌ی در داده‌های ۳۰ ساله بارش بررسی شد. به موازات این تحلیل، از روش شیب سنس نیز برای تخمین نرخ تغییر سالانه بارش بهره گرفته شد تا شدت و شیب تغییرات مشاهده‌شده به‌صورت کمی محاسبه شود.

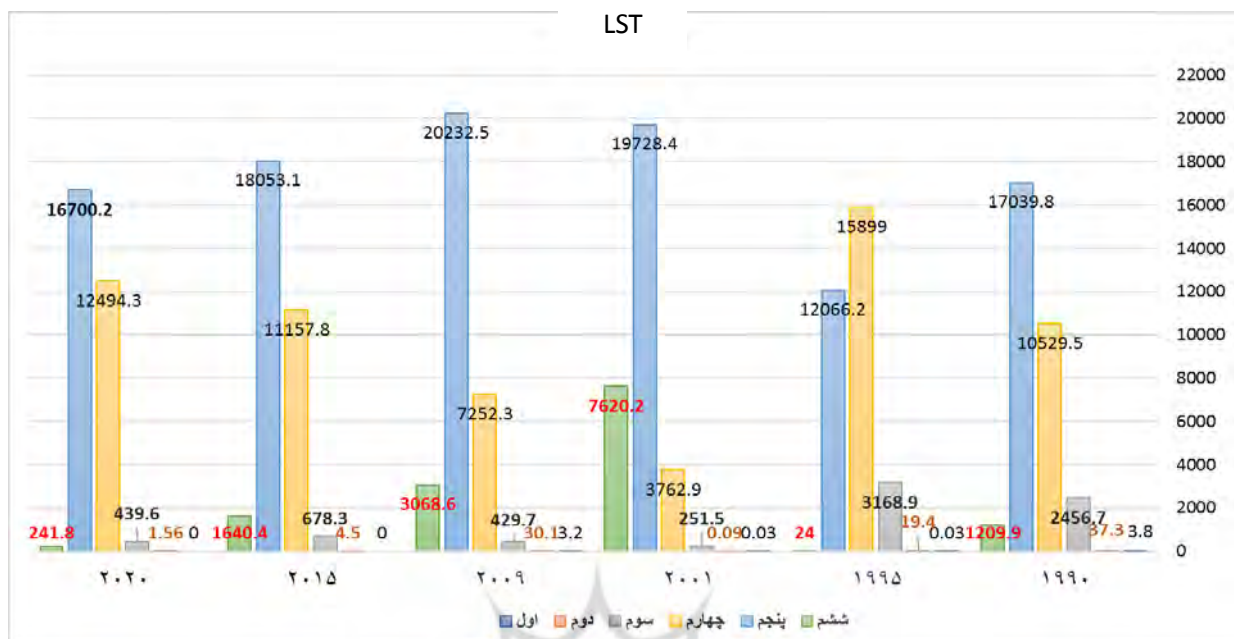
جدول ۲: طبقات دمایی و ویژگی‌های کاربردی آن‌ها در تحلیل

کاربرد در تحلیل	ویژگی‌ها	طبقه دمایی (C°)
شناسایی کاهش این دماها به‌دلیل تغییرات اقلیمی و کاهش پهنه‌های آبی	مناطق سرد، معمولاً مرتبط با ارتفاعات یا پهنه‌های آبی فصلی در اوایل بهار	۵ - ۱۲ -
ارزیابی تأثیر کاهش دماهای خنک بر مناطق دارای پوشش گیاهی یا آبی	مناطق دارای دمای خنک و معمولاً با پوشش گیاهی متوسط	۱۵ - ۵
بررسی روند کاهش مساحت این طبقه به‌دلیل تخریب منابع آبی و پوشش گیاهی	مناطق معتدل، معمولاً شامل پهنه‌های آبی و مناطق با پوشش گیاهی متراکم	۲۵ - ۱۵
شناسایی انتقال این طبقات به طبقات گرم‌تر به‌دلیل کاهش اثرات خنک‌کنندگی پوشش گیاهی	دماهای متوسط تا نسبتاً گرم در مناطق نیمه‌خشک یا کشاورزی	۳۵ - ۲۵
شناسایی گسترش این طبقات به عنوان نمایانگر تشکیل جزایر حرارتی	مناطق گرم، معمولاً شامل زمین‌های بایر یا مناطق فاقد پوشش گیاهی	۴۵ - ۳۵
تحلیل این طبقه برای ارائه راهبردهای مدیریتی به منظور کنترل اثرات گرمایی و زیست‌محیطی	مناطق بسیار گرم و بیابانی، نمایانگر مناطق بحرانی از نظر حرارتی	۵۵ - ۴۵

محدودی از شمال شرقی حوضه، به ترتیب با مساحت ۳/۸۷، ۰/۳ و ۳/۲ کیلومترمربع، قابل مشاهده است. این مناطق عمدتاً به دلیل ارتفاعات یا پهنه‌های آبی سرد در اوایل بهار چنین دماهایی دارند (نگاره ۲). اما پس از سال ۲۰۰۹، این دماها به طور کامل ناپدید شده‌اند که نشانه‌ای از کاهش آب‌های سطحی در اثر خشکسالی‌های متوالی و بهره‌برداری



نگاره ۲: دمای سطح زمین در حوضه‌ی آبریز بختگان-مهارلو ۱۹۹۰-۱۹۹۵-۲۰۰۱-۲۰۰۹-۲۰۱۵-۲۰۲۰



نگاره ۳: تغییرات مساحت طبقه‌بندی دمایی سطح زمین (کیلومتر مربع) در دوره مورد مطالعه در حوضه بختگان-مهارلو

سطحی مرتبط است. طبقه‌های دمایی ۳۵ تا ۴۵ و ۴۵ تا ۵۸ درجه سیلسیوس از سال ۲۰۰۹ به بعد به‌طور پیوسته گسترش یافته‌اند (نگاره ۳).

در سال ۱۹۹۵، مساحت تحت پوشش طبقه دمایی ۴۵ تا ۵۸ تنها ۲۴ کیلومتر مربع بود، اما تا سال ۲۰۲۰ بخش‌های وسیعی از مناطق جنوبی و غربی حوضه را دربر گرفته است. اگر چه در سال ۲۰۲۰ نسبت به برخی سال‌های میانی مانند ۲۰۱۵، کاهش قابل توجهی در گستره نواحی با دماهای بیشینه مشاهده می‌شود، این موضوع لزوماً به معنای کاهش میانگین دمای منطقه نیست، بلکه نشان‌دهنده تغییر در الگوی فضایی توزیع دما در سطح حوضه است. یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در این تغییر، افزایش چشمگیر پوشش گیاهی در سال ۲۰۲۰ است. پوشش گیاهی با افزایش فرآیند تبخیر-تعرق، کاهش انرژی خالص سطح، و سایه‌اندازی طبیعی، به‌صورت مؤثری موجب کاهش دمای سطح زمین می‌شود. بررسی نقشه شاخص NDVI در همین سال نیز این موضوع را تأیید می‌کند و نشان می‌دهد که در سال ۲۰۲۰ میزان پوشش گیاهی در بخش‌های وسیعی از حوضه افزایش

غیر اصولی از منابع آب است. طبقه دمایی ۵ تا ۱۵ درجه سانتی‌گراد، که نمایانگر مناطق با دمای خنک و پوشش گیاهی متوسط است، طی سال‌های ابتدایی مطالعه مساحت قابل توجهی را پوشش می‌داد اما در سال‌های اخیر به تدریج کاهش یافته است. این کاهش با کاهش مناطق دارای پوشش گیاهی و افزایش زمین‌های بایر مرتبط است.

طبقه دمایی ۱۵ تا ۲۵ درجه سیلسیوس در سال ۱۹۹۰ مساحتی برابر با ۲۴۵۶/۷۴ کیلومتر مربع را پوشش می‌داد که در سال ۲۰۲۰ به ۴۳۹/۶ کیلومتر مربع کاهش یافت. این کاهش شدید نشان‌دهنده کاهش شدید پهنه‌های آبی و کاهش پوشش گیاهی است. مطالعات جیلان و همکاران (۲۰۱۷) در کردستان عراق نیز کاهش مشابهی را در مناطق با دمای معتدل گزارش کرده‌اند. طبقه دمایی ۲۵ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد که در سال‌های ۱۹۹۰ و ۱۹۹۵ به ترتیب ۱۰۵۲۹/۵ و ۱۵۸۹۹/۰۷ کیلومتر مربع از حوضه را در بر می‌گرفت، در سال ۲۰۰۱ به ۳۷۶۲/۹ کیلومتر مربع کاهش یافت. این کاهش نشان‌دهنده انتقال دما به طبقات بالاتر است که با تخریب زیستگاه‌های طبیعی و کاهش آب‌های

گیاهی روند افزایشی را تجربه کرده است. این تغییرات عمدتاً در نتیجه توسعه فعالیت‌های زراعی و افزایش بهره‌برداری از منابع آب محلی بوده و در برخی نقاط باعث شکل‌گیری لکه‌های معتدل حرارتی شده‌اند. با این حال، در گستره وسیع‌تری از حوضه، به‌ویژه در مناطق جنوبی و اطراف دریاچه‌های طشک، بختگان و مهارلو، پوشش گیاهی به شدت کاهش یافته و با خشکی شدید منابع آبی و افت بارندگی همراه بوده است. این شرایط منجر به تشدید گرمایش سطحی و افزایش لکه‌های داغ حرارتی شده است. از این‌رو، اگرچه در برخی نواحی محدود پوشش گیاهی اندکی افزایش یافته و اثرات موضعی بر تعدیل دما داشته، اما در مقیاس کلان، روند کلی دمای سطح زمین در حوضه افزایشی باقی مانده است. این تفاوت‌های فضایی نشانگر تأثیر نابرابر عوامل اقلیمی و مدیریتی بر وضعیت اکولوژیکی بخش‌های مختلف حوضه است. نتایج این مطالعه با یافته‌های ژو و همکاران (۲۰۱۷) مطابقت دارد که نشان دادند گسترش پوشش گیاهی به کاهش اثرات گرمایی و بهبود تعادل دمایی کمک می‌کند.

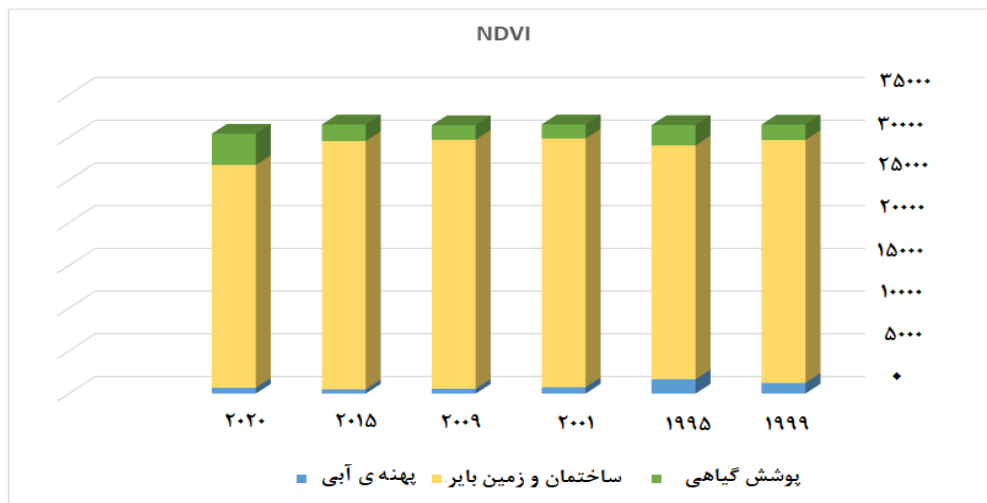
از سوی دیگر، زمین‌های بایر و نواحی ساخته‌شده که عمدتاً در بخش‌های جنوبی و غربی حوضه واقع شده‌اند، به دلیل دارا بودن ضریب بازتاب بالا، ظرفیت حرارتی پایین و فقدان پوشش گیاهی مؤثر، همچنان به‌عنوان مهم‌ترین کانون‌های تولید گرمای سطحی و شکل‌گیری جزایر حرارتی شناخته می‌شوند. اگرچه مساحت این مناطق طی دوره مورد مطالعه از حدود ۲۳۵۹/۵ کیلومتر مربع در سال ۱۹۹۰ به حدود ۲۰۰۰ کیلومتر مربع در سال ۲۰۲۰ کاهش یافته، اما این کاهش قابل توجه نبوده و موجب تضعیف نقش مناطق ساخته‌شده در تشدید دما نشده است. در واقع، الگوی پراکنش این نواحی نشان می‌دهد که با تخریب پوشش گیاهی مجاور و کاهش ظرفیت تبخیر و تعرق طبیعی در پیرامون آن‌ها، اثر حرارتی زمین‌های بایر نه تنها حفظ شده بلکه در برخی مناطق حتی شدت و تمرکز بیشتری یافته است (نگاره‌های ۴ و ۵). این نتایج با مطالعات

یافته است که در پی بارش‌های بهاری به‌ویژه در ماه مه رخ داده است (نگاره ۵). این افزایش پوشش گیاهی عامل اصلی کاهش دمای سطح در این سال محسوب می‌شود. مطالعات زندگی و همکاران (۱۴۰۲) در شهر اصفهان نیز گسترش مشابهی از جزایر حرارتی همراه با جابه‌جایی فضایی را نشان می‌دهد.

به‌طور کلی، تحلیل این تغییرات نشان می‌دهد که افزایش دمای سطح زمین در حوضه بختگان-مهارلو عمدتاً ناشی از کاهش شدید پهنه‌های آبی و تخریب پوشش گیاهی بوده است. در سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۲۰، هرچند کاهش نسبی در وسعت دماهای بیشینه مشاهده شد، اما این کاهش به معنای بهبود کلی شرایط حرارتی منطقه نیست؛ بلکه ناشی از افزایش پوشش گیاهی در بخش‌های شمالی و مرکزی حوضه بوده است. این افزایش عمدتاً در نتیجه‌ی گسترش سطح زیر کشت توسط کشاورزان و اتکا به منابع آبی محدود با بهره‌برداری فاقد نظام مدیریتی پایدار به وقوع پیوسته است. گرچه این فرایند به‌صورت مقطعی موجب بهبود شاخص NDVI در برخی نواحی شده، اما نه تنها پایداری زیست‌محیطی نداشته بلکه فشار مضاعفی نیز بر منابع آب وارد کرده است.

در مقابل، بخش‌های جنوبی و شرقی حوضه که شامل دریاچه‌های مهارلو، بختگان و طشک هستند، با خشک‌شدن شدید و افت محسوس منابع آبی مواجه بوده‌اند؛ موضوعی که منجر به گسترش طبقات دمایی بالا، افزایش شدت گرمایش سطح زمین و شکل‌گیری لکه‌های داغ حرارتی در این نواحی شده است. بنابراین، تحلیل داده‌ها حاکی از آن است که گرچه در برخی نواحی به ظاهر پوشش گیاهی توسعه یافته، اما تداوم این روند بدون برنامه‌ریزی منابع آبی، نه تنها پایدار نیست بلکه می‌تواند موجب تشدید تنش‌های حرارتی و اکولوژیکی در مقیاس منطقه‌ای شود.

بررسی الگوی تغییرات پوشش گیاهی در حوضه بختگان-مهارلو طی دوره‌ی مورد مطالعه نشان می‌دهد که در بخش‌هایی از نواحی شمالی و مرکزی حوضه، پوشش

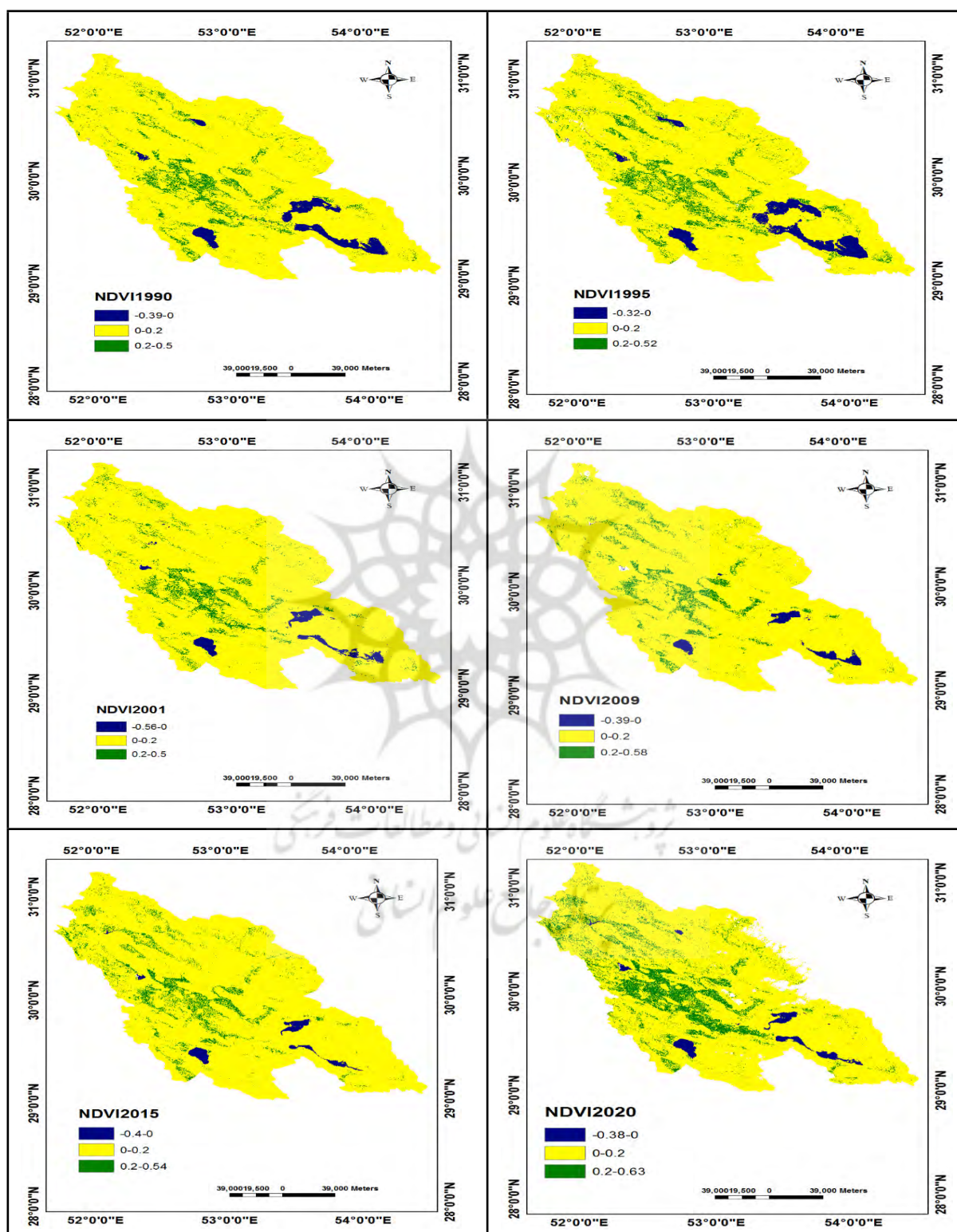


نگاره ۴: تغییرات مساحت طبقه بندی شاخص گیاهی تفاضل نرمال شده (کیلومتر مربع) در دوره مورد مطالعه در حوضه بختگان-مهارلو

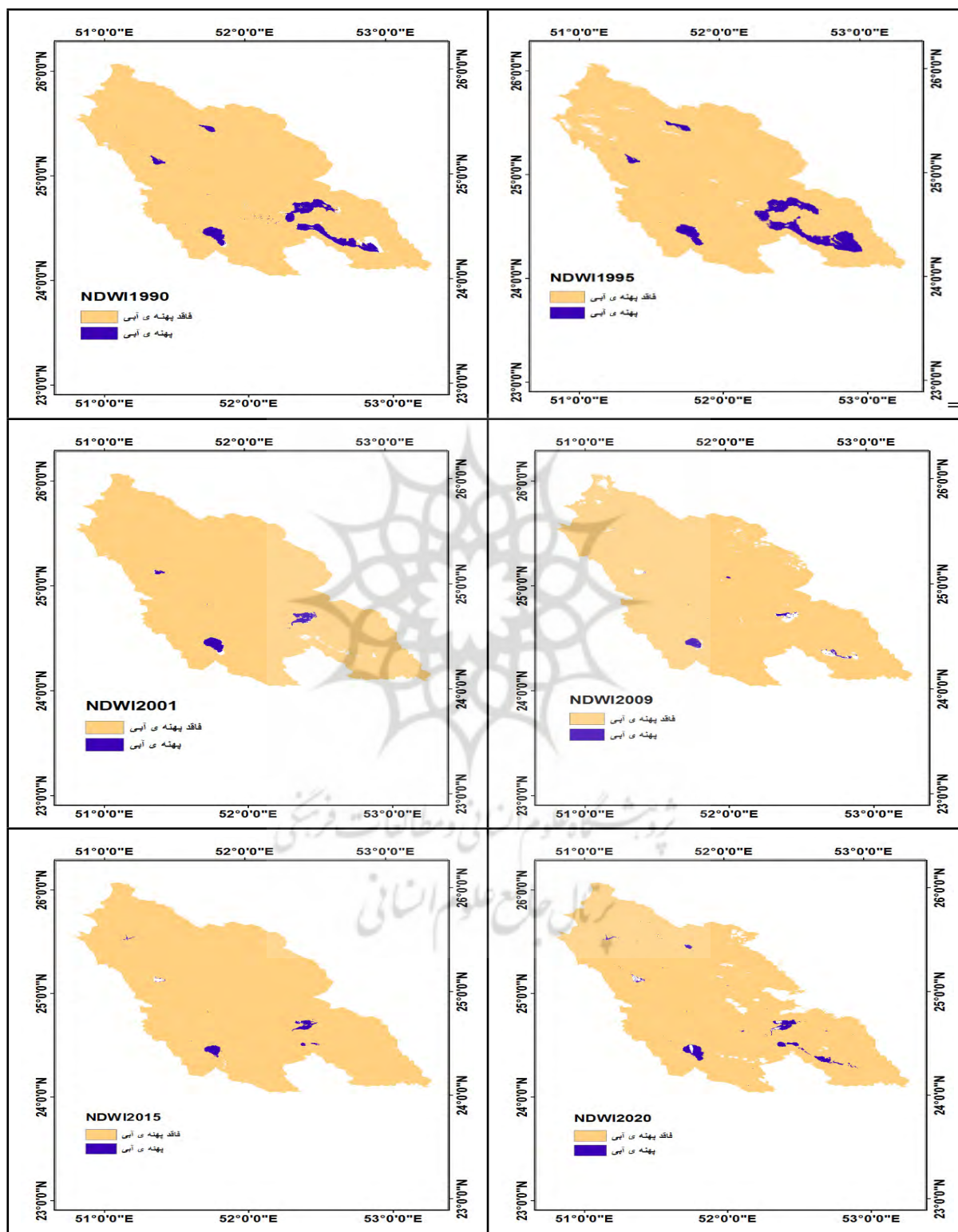
تا بتوان تأثیرات منفی گرمایش منطقه را به حداقل رساند. بررسی شاخص NDWI روند کاهش پیوسته و معنادار وسعت دریاچه های طشک، مهارلو و بختگان را طی سه دهه اخیر به خوبی نمایان می سازد. در سال های ابتدایی دوره مطالعه (۱۹۹۰ و ۱۹۹۵)، سطح قابل توجهی از این دریاچه ها دارای پوشش آبی بود. با این حال، از سال ۲۰۰۹ به بعد، کاهش چشمگیر در وسعت پهنه های آبی اتفاق افتاده و این کاهش از سال ۲۰۱۵ تا سال ۲۰۲۰ شدت یافته است (نگاره ۶). کاهش وسعت پهنه های آبی همزمان با افت معنادار بارش در ایستگاه های کلیدی اطراف دریاچه ها، از جمله ایستگاه های طشک و درودزن، رخ داده که طبق آزمون من-کندال دارای روند منفی بارندگی با شیب بیش از ۴ میلی متر در سال بوده اند (جدول ۳). این شرایط منجر به کاهش ورودی آب به دریاچه ها، افت سطح ایستابی، کاهش تغذیه آبخوان ها و در مواردی خشک شدن کامل یا نسبی پهنه های آبی شده است. تحلیل نقشه های NDWI نیز کاهش پایداری دریاچه ها را تأیید می کند؛ به طوری که مساحت پهنه های آبی که در سال ۱۹۹۵ بیش از ۱۶۸۰ کیلومتر مربع بود، در سال ۲۰۲۰ به کمتر از ۴۷۲ کیلومتر مربع کاهش یافته است.

انجام شده توسط گیلیس و همکاران (۱۹۹۵) هم راستا است که بیان داشتند کاهش پوشش گیاهی و افزایش زمین های بایر به تشدید دمای سطحی منجر می شود. بررسی ارتباط بین شاخص NDVI و طبقات دمایی نشان داد که افزایش مقادیر NDVI با کاهش مساحت طبقات دمایی بالا و گسترش طبقات دمایی پایین تر همراه بوده است. مناطقی که در سال ۲۰۲۰ دارای مقادیر NDVI بالاتر از ۰/۵ بودند، عمدتاً در طبقات دمایی کمتر از ۳۵ درجه سانتی گراد قرار گرفتند، در حالی که مناطق با NDVI کمتر از ۰/۲، به ویژه در بخش های جنوبی، در طبقات دمایی بالاتر از ۴۵ درجه سیلسیوس قرار گرفته اند (نگاره های ۴ و ۵). این یافته ها تأیید می کند که پوشش گیاهی به عنوان یک سپر حرارتی عمل کرده و از انتقال دما به سطوح بالاتر جلوگیری می کند (Sobrinho et al, 2004: 434).

به طور کلی، تحلیل این تغییرات نشان می دهد که افزایش پوشش گیاهی می تواند به کاهش دمای سطح و بهبود شرایط زیست محیطی منطقه کمک کند. با این حال، بخش های جنوبی و غربی که همچنان با کاهش پوشش گیاهی مواجه هستند، نیازمند برنامه های احیایی مانند کاشت گونه های مقاوم به خشکی و بهبود مدیریت منابع آبی هستند.



نگاره ۵: شاخص NDVI در حوضه آبریز بختگان-مهارلو ۱۹۹۰-۱۹۹۵-۲۰۰۱-۲۰۰۹-۲۰۱۵-۲۰۲۰

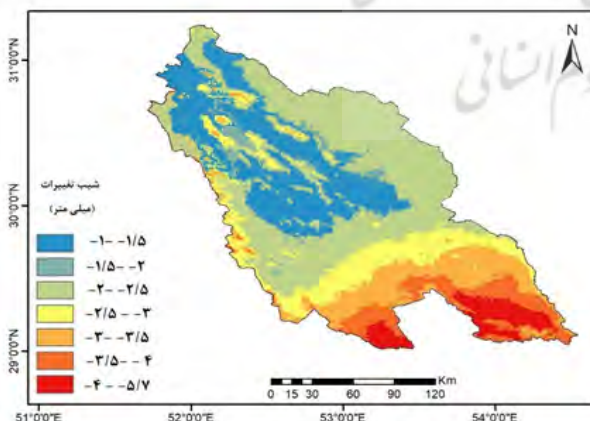


نگاره ۶: شاخص NDWI در حوضه ی آبریز بختگان-مهارلو ۱۹۹۰-۱۹۹۵-۲۰۰۱-۲۰۰۹-۲۰۱۵-۲۰۲۰

جدول ۳: نتایج حاصل از آزمون روند من - کندال میانگین بارش سالانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	شیب سن (mm/yr)	بازه اطمینان ۹۵ درصد شیب سن	روند
آبادیه	-۱/۱	-۱/۱۶+۱/۴۹	روند کاهشی معنادار
داراب	-۲/۲۱	-۷/۴۳+۳/۹۷	روند کاهشی معنادار
اقلید	-۱/۲۵	-۶/۲۵+۴/۵۸	روند کاهشی معنادار
فسا	-۲/۰۱	-۴/۵۷+۰/۴۹	روند کاهشی معنادار
شیراز	-۱/۶۳	-۳/۷۲+۰/۴۸	روند کاهشی معنادار
جهرم	-۱/۲	-۳/۶۶+۲/۷۸	روند کاهشی معنادار
لار	-۱	-۴/۰۱+۳/۱۱	روند کاهشی معنادار
لامرد	-۲/۱۱	-۷/۶۴+۳/۱۰	روند کاهشی معنادار
زرقان	-۲/۷	-۶/۴۴+۰/۶۴	روند کاهشی معنادار
درودزن	-۵/۷	-۱۱/۲۳+۰/۲۷	روند کاهشی معنادار
طشک	-۴/۵۳	-۱۰/۲۶+۰/۷۱	روند کاهشی معنادار

نواحی است. کاهش بارش، رطوبت خاک را کاهش داده، موجب تنش آبی در گیاهان شده و تخریب اکوسیستم‌های گیاهی را در پی داشته است. این افت پوشش سبز، نه تنها موجب کاهش ظرفیت تبخیر-تعرق منطقه شده بلکه نقش مؤثری در برهم خوردن تعادل انرژی سطح زمین نیز داشته است (نگاره ۷).



نگاره ۷: نقشه روند تغییرات بارش در منطقه مورد مطالعه طی دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۲۰

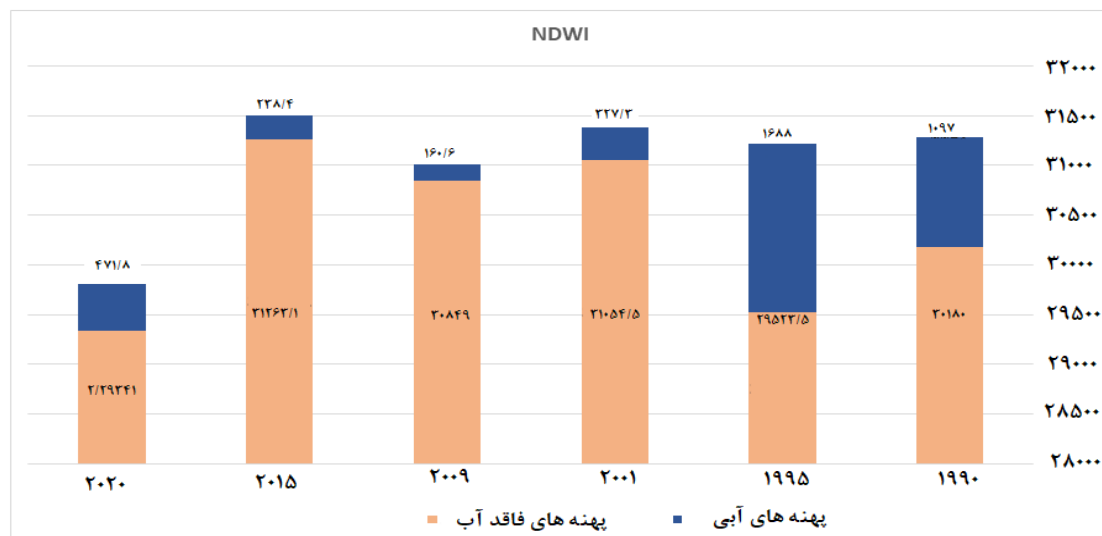
تحلیل روند تغییرات بارش نشان می‌دهد که این منطقه طی سه دهه گذشته تحت تأثیر افت متناوب و معنادار بارش قرار داشته که این کاهش، ساختار اکولوژیکی و پایداری زیست‌محیطی حوضه را به‌طور جدی تهدید کرده است (جدول ۳).

در این میان، کاهش منابع آبی یکی از پیامدهای مستقیم کاهش بارندگی بوده که تأثیر بسزایی بر الگوهای دمایی منطقه گذاشته است. بررسی نقشه‌های دمای سطح زمین نشان می‌دهد که در سال‌های ابتدایی دوره (۱۹۹۰ و ۱۹۹۵)، زمانی که دریاچه‌ها وسعت بیشتری داشتند، بخش‌های زیادی از حوضه در بازه دمایی معتدل ۱۵ تا ۲۵ درجه سلسیوس قرار داشتند. با این حال، با تداوم کاهش NDWI و خشکی تدریجی دریاچه‌ها، به‌ویژه در دهه‌ی اخیر، طبقات دمایی بالاتر (۳۵ تا ۵۵ درجه سلسیوس) به‌شکل محسوس در مناطق جنوبی و مرکزی حوضه گسترش یافته‌اند.

همزمان با افت NDWI، شاخص NDVI نیز به‌ویژه در نواحی جنوب و جنوب‌شرقی حوضه روند کاهشی داشته که نشان‌دهنده نابودی تدریجی پوشش گیاهی طبیعی در این

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سام)

تحلیل تغییرات دمای سطح زمین در حوضه بختگان-مهارلو با استفاده از ... / ۱۹۱



نگاره ۸: نمودار تغییرات مساحت پهنه‌ی آبی (کیلومتر مربع) در دوره مورد مطالعه در حوضه بختگان-مهارلو

در مناطق پیرامون دریاچه‌ها، افت پوشش گیاهی در شاخص NDVI به وضوح دیده می‌شود. این کاهش پوشش گیاهی باعث افزایش جذب تابش خورشیدی و تشدید جزایر حرارتی شده است.

نتایج حاصل از تحلیل شاخص NDWI و دمای سطح زمین نشان می‌دهد که کاهش منابع آبی در حوضه بختگان-مهارلو، به‌ویژه در نواحی جنوبی و غربی، با افزایش محسوس دمای سطح زمین همزمان بوده است. بررسی مقایسه‌ای سال‌های ۱۹۹۰ و ۱۹۹۵ با سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰، با استناد به مطالعات میرموسوی (۲۰۱۸) و مظفری (۱۴۰۰)، نشان می‌دهد که در سال‌های ابتدایی دوره، شرایط ترسالی و تعادل نسبی منابع آب باعث گسترش دریاچه‌ها و کنترل طبیعی دمای سطحی شده بود. اما در دهه‌های اخیر، به‌ویژه از ابتدای دهه ۲۰۰۰ میلادی، با تشدید خشکسالی، کاهش پیوسته‌ی بارش، افت سطح آب‌های سطحی و زیرزمینی، و کاهش شاخص NDWI، مساحت پهنه‌های آبی به شدت کاهش یافته است.

این تغییرات منجر به حذف اثر خنک‌کنندگی طبیعی دریاچه‌ها و تبخیر-تعرق سطحی شده که به‌طور مستقیم با افزایش دمای سطحی به‌ویژه در نواحی خشک و بایر مرتبط

بررسی تغییرات دمای سطح زمین در بازه ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ نشان می‌دهد که متوسط دمای سطح در بخش‌های وسیعی از حوضه، به‌ویژه در نواحی مرکزی و جنوبی، روندی افزایشی داشته است (نگاره ۲). این روند همزمان با کاهش معنادار بارش در ایستگاه‌های جنوبی، که توسط آزمون من-کندال شناسایی شد، شکل گرفته است (نگاره ۷).

در واقع، کاهش بارندگی به‌ویژه در بازه زمانی ۲۰۰۱ به بعد، موجب کاهش شدید منابع آبی سطحی و تضعیف پوشش گیاهی در این نواحی شده است (نگاره ۸). کاهش بارندگی در این مناطق منجر به کاهش پوشش گیاهی و در نتیجه تضعیف فرآیند تبخیر-تعرق شده است. این امر همراه با کاهش ضریب بازتاب در سطوح خشک، موجب جذب بیشتر تابش خورشیدی و افزایش دمای سطح زمین شده است. افزایش گستره دماهای بالا در جنوب و مرکز حوضه، نه تنها نشان‌دهنده‌ی یک روند حرارتی نگران‌کننده است، بلکه نمایانگر سازوکار زنجیره‌ای میان روند کاهشی بارش، خشک شدن دریاچه‌ها، کاهش پوشش گیاهی و شکل‌گیری شرایط واگرایی حرارتی در این نواحی نیز است (جدول ۳ و نگاره ۷). افزایش دما در نتیجه‌ی کاهش پهنه‌های آبی، همچنین تأثیر منفی بر پوشش گیاهی داشته است؛ به‌طوری‌که

منجر شده‌اند. تحلیل لکه‌های داغ نیز این الگو را تأیید کرده و نشان داد که نواحی فاقد پوشش گیاهی و منابع آبی پایدار، بیشترین همپوشانی را با نقاط دارای شدت حرارتی بالا دارند. این یافته‌ها با نتایج مطالعات گلیس و همکاران (۱۹۹۵) هم‌راستا است که در مطالعات خود نشان دادند پوشش گیاهی و رطوبت سطحی در کنترل گرمایش سطحی، نقش کلیدی دارد.

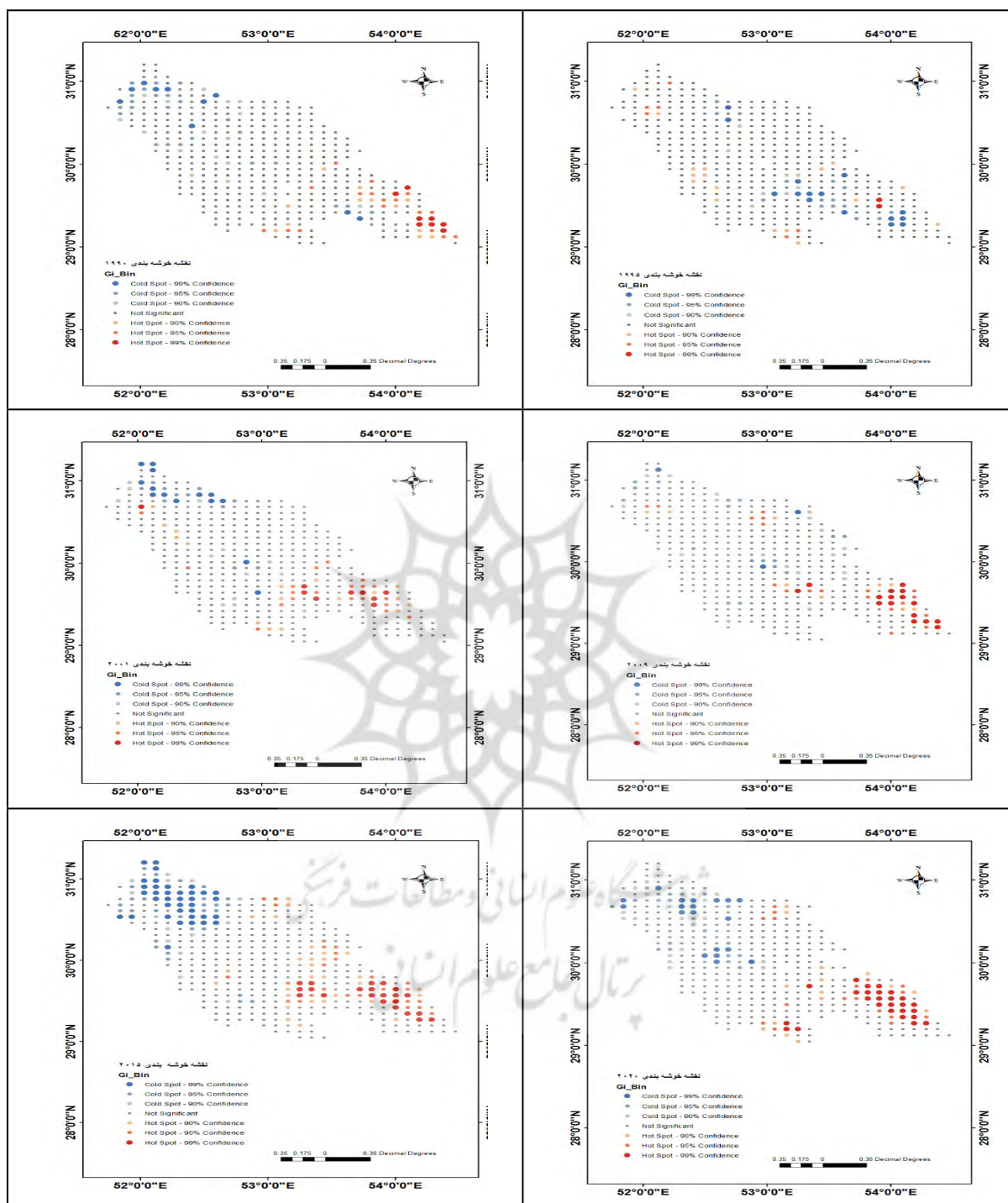
۵- نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر با تکیه بر داده‌های ماهواره‌ای لندست ۵ و ۸ و بهره‌گیری از شاخص‌های طیفی NDVI، NDWI و LST، همراه با داده‌های میانگین بارش تعداد ۱۱ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک، به تحلیل همزمان روندهای اقلیمی و محیطی در حوضه بختگان-مه‌ارلو طی سه دهه گذشته (۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰) پرداخته است. بررسی روند تغییرات بارش با استفاده از آزمون من-کندال نشان داد که در بیشتر ایستگاه‌های جنوبی و جنوب‌شرقی حوضه، کاهش معناداری در میزان بارندگی سالانه رخ داده است. کاهش بارش یکی از عوامل اصلی کاهش مستمر پهنه‌های آبی در سراسر دوره مورد مطالعه بوده است. شاخص NDWI نیز روند کاهشی قابل توجهی را در مساحت دریاچه‌های طشک، بختگان و مه‌ارلو نشان می‌دهد. در سال ۲۰۰۱ این دریاچه‌ها هنوز بخشی از وسعت خود را حفظ کرده بودند، اما از سال ۲۰۰۹ تا سال ۲۰۲۰ روند کاهشی تشدید شد و در سال ۲۰۲۰، به دلیل بارش‌های نسبتاً خوبی که اتفاق افتاد، وسعت پهنه‌های آبی کمی افزایش یافته به حدود ۴۷۰ کیلومتر مربع رسید. این روند کاهشی طی دو دهه اخیر، بیانگر خشکی مزمن و ناپایدار دریاچه‌ها بوده که نقش تنظیم‌کننده آن‌ها در تعادل دمایی منطقه را به شدت تضعیف کرده است. تحلیل شاخص NDVI در طی سه دهه گذشته نشان‌دهنده روندی ناهمگن از نظر زمانی و فضایی در سطح حوضه بختگان-مه‌ارلو است. افزایش پوشش گیاهی در نواحی شمالی و مرکزی، در مقابل کاهش شدید آن در مناطق جنوبی و

است. بنابراین، روند افزایشی دمای سطح زمین نه تنها با کاهش بارش و پوشش گیاهی، بلکه با ناپدید شدن پهنه‌های آبی که نقش مهمی در تعدیل گرمای موضعی دارند نیز مرتبط است. برای شناسایی خوشه‌های دمای سطح زمین در حوضه بختگان-مه‌ارلو، از آماره فضایی لکه‌های داغ (G_i^*) استفاده شد. این تحلیل به درک بهتر الگوی پراکندگی و تمرکز دمای سطح زمین کمک کرد. لکه‌های داغ نمایانگر مناطق با دمای بالای سطح زمین و لکه‌های سرد معرف مناطق با دمای پایین‌تر هستند. در این تحلیل، هفت الگوی مختلف حرارتی شناسایی شد که نمره Gi-Bin برابر با صفر به معنای نبود الگوی معنادار است، در حالی که نمرات ۱ تا ۳ به ترتیب بیانگر خوشه‌های حرارتی بالا و نمرات ۱- تا ۳- معرف خوشه‌های حرارتی پایین هستند. مقادیر P-Value به عنوان معیار سطح معناداری تحلیل در نظر گرفته شد، به طوری که الگوی درجه ۳ با سطح اطمینان ۹۰ درصد، الگوی درجه ۲ با سطح اطمینان ۹۵ درصد و الگوی درجه ۱ با سطح اطمینان ۹۹ درصد ارزیابی شدند. تحلیل خوشه‌های دمایی نشان می‌دهد که در سال ۱۹۹۰، لکه‌های سرد عمدتاً در بخش‌های شمال شرقی و جنوب حوضه مشاهده شدند، در حالی که لکه‌های داغ در بخش‌های جنوب شرقی حوضه و اطراف بخش شرقی دریاچه بختگان-مه‌ارلو قرار داشتند. در سال ۱۹۹۵ نیز الگوی مشابهی برقرار بود و جزایر حرارتی سرد در بخش‌های جنوبی و جنوب شرقی متمرکز بودند. با این حال، از سال ۲۰۰۱ به بعد، توزیع لکه‌های سرد کاهش یافته و بیشتر به بخش‌های شمالی حوضه منتقل شده است، در حالی که بخش‌های جنوبی و جنوب شرقی به طور گسترده‌ای توسط لکه‌های داغ پوشش داده شده‌اند (نگاره ۹).

این تغییرات عمدتاً ناشی از کاهش پهنه‌های آبی و تخریب پوشش گیاهی در بخش‌های جنوبی و جنوب شرقی حوضه است، که براساس تحلیل شاخص‌های NDWI، NDVI و همچنین نقشه‌های دمای سطح زمین، به افزایش محسوس دما و گسترش خوشه‌های حرارتی در این نواحی

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سیر)
تحلیل تغییرات دمای سطح زمین در حوضه بختگان-مهارلو با استفاده از ... / ۱۹۳



نگاره ۹: نقشه خوشه‌بندی لکه‌های داغ و سرد دمای سطح زمین در بین سال‌های ۲۰۲۰-۱۹۹۰

شرقی، گویای تأثیر متفاوت شرایط اقلیمی و انسانی در بخش‌های مختلف حوضه است. این الگوی افزایشی در شمال و مرکز حوضه، عمدتاً ناشی از کاهش ملایم بارندگی در این نواحی طی ۳۰ سال گذشته بوده است. در کنار این شرایط، توسعه کشاورزی، گسترش باغات و ظهور پوشش‌های فصلی با بهره‌برداری غیربهمینه از منابع آب

در بازه سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰ زمینه‌ساز انتقال دمای سطح زمین به طبقات بالاتر و گسترش خوشه‌های حرارتی با شدت بالا شده است. این هم‌پوشانی زمانی میان کاهش بارندگی و افت شاخص‌های زیست‌محیطی، به وضوح از یک سامانه واگرایی اقلیمی-زیستی در منطقه حکایت دارد. در بخش‌های شمالی و مرکزی حوضه، اگرچه افزایش NDVI از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ اتفاق افتاده و به ظاهر نشانه‌ای از بهبود زیستی است، اما تحلیل دقیق‌تر روند بارندگی و نوع کاربری‌ها در این نواحی نشان می‌دهد که این بهبود بیشتر حاصل گسترش کشاورزی و باغات، عمدتاً بر پایه بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آبی زیرزمینی و فصلی بوده است. این امر نه تنها پایداری بلندمدت این رشد را زیر سؤال می‌برد، بلکه خطر تشدید ناپایداری منابع در آینده را نیز برجسته می‌کند.

ریشه‌یابی این شرایط حاکی از آن است که ساختار فعلی بهره‌برداری از زمین و منابع آبی در حوضه، فاقد سازوکار بازدارنده برای مهار تبعات حرارتی و زیست‌محیطی ناشی از خشکسالی مزمن و تغییر در تعادل هیدرولوژیکی است. ترکیب روند بلندمدت کاهش بارش و بهره‌برداری ناپایدار از منابع موجب تخریب ظرفیت‌های طبیعی منطقه برای تعدیل دما، احیای پوشش سبز، و حفظ چرخه تبخیر-تعرق شده است. در نتیجه، گرمایش سطحی نه فقط به‌عنوان پیامد، بلکه به‌عنوان بازخورد تشدیدکننده‌ی زنجیره‌ای از تغییرات منفی عمل می‌کند که ادامه آن، منجر به تسریع روند بیابان‌زایی، تخلیه منابع آبی، و نابودی اکوسیستم‌های شکننده منطقه خواهد شد. این یافته‌ها با مطالعات پیشین نظیر ساب‌رینو و همکاران (۱۹۹۵) هم‌راستا هست که به ارتباط علی میان کاهش منابع آبی، تخریب پوشش گیاهی و افزایش گرمایش سطحی اشاره کرده‌اند.

تعارض منافع

در این پژوهش، حامی مالی و تعارض منافع وجود ندارد.

نیز به افزایش پوشش گیاهی در این مناطق کمک کرده است. در مقابل، بخش‌های جنوبی و پیرامون دریاچه‌های طشک، بختگان و مهارلو، به دلیل کاهش شدید بارش و فشار مضاعف خشکسالی، شاهد افت محسوس پوشش گیاهی، افزایش سطح زمین‌های بایر و تشدید گرمایش سطحی بوده است. تحلیل الگوی دمای سطح زمین در بازه زمانی مورد مطالعه نشان‌دهنده روندی افزایشی و نابرابر در سطح حوضه بختگان-مهارلو است. در ابتدای دوره، به‌ویژه در سال‌های ۱۹۹۰ و ۱۹۹۵، بخش قابل‌توجهی از حوضه در طبقات دمایی معتدل ۱۵ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار داشت که عمدتاً به دلیل وسعت قابل‌قبول پهنه‌های آبی و پوشش گیاهی مؤثر در آن مقطع زمانی بود. با این حال، از سال ۲۰۰۱ به‌ویژه از ۲۰۰۹ تا ۲۰۲۰، همراه با کاهش مستمر شاخص‌های NDVI و NDWI در مناطق جنوبی و شرقی، الگوی دمایی به تدریج به‌سوی طبقات بالاتر جابه‌جا شد. در سال ۲۰۲۰، بیشتر مناطق جنوبی، و بخشی از مرکز حوضه، در بازه دمایی بالا یعنی ۴۵ تا ۵۸ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. این جابه‌جایی دمایی عمدتاً با کم‌آبی و بعضاً خشک شدن دریاچه‌ها، تخریب پوشش گیاهی، و افزایش زمین‌های بایر در این مناطق مطابقت دارد. در عین حال، در بخش‌های شمالی و مرکزی حوضه که پوشش گیاهی بهبود یافته، طبقات دمایی پایین‌تری حفظ شده‌اند که این ناهمگنی فضایی در توزیع دما با نتایج تحلیل لکه‌های داغ نیز هم‌خوانی دارد.

در تحلیل نهایی، تلفیق داده‌های حاصل از شاخص‌های NDVI، NDWI، دمای سطح زمین (LST)، تحلیل روند بارندگی با آزمون من-کندال و تحلیل لکه‌های داغ نشان داد که افزایش دمای سطح زمین در حوضه بختگان-مهارلو، نه یک فرآیند منفرد، بلکه حاصل پیوند علی و چندلایه میان افت بارش، کاهش مداوم منابع آبی سطحی و تخریب پوشش گیاهی در مناطق آسیب‌پذیر بوده است. الگوی زمانی-فضایی این عوامل، به‌ویژه در نواحی جنوبی و جنوب‌شرقی حوضه، نشان می‌دهد که کاهش هم‌زمان NDVI و NDWI

variation in response to vegetation indices in twelve Wereda of Ethiopia using mono window, split window algorithm and spectral radiance model. Data in brief, 15-27.

doi: 10.1016/j.dib.2019.104773.

8- Bahri, Khosravi, Ali, Younes, 2017, Application of spatial statistics tools available in ArcGIS software in environmental sciences, mapping engineering and spatial information, 9th volume, 9(3), 50-39. (In Persian). <http://gej.issgeac.ir/article-1-244-fa.html>.

9- Bishal Roy, E., & Bari, E. (2022). Examining the relationship between land surface temperature and landscape feature using spectral indices with Google Earth Engine. Heliyon, 8, e10668.

doi: 10.1016/j.heliyon. 2022.e10668

10- Darvishi, Rashidpour, Soleimani, Shadman, Mustafa, Karim, 2019, Investigating the relationship between land use changes and land surface temperature using satellite images, case study: Marivan County, Geography and Development, No. 54, 143-162. (In Persian).

10.22111/GDIJ.2019.4361

11- Diksha, Kumari, M., Kumari, R. (2023). Spatiotemporal characterization of land surface temperature in relation to land use/cover: A spatial autocorrelation approach. Journal of Landscape Ecology, 16(1). <https://doi.org/10.2478>

<https://www.sid.ir/paper/102137/fa>

12- Divsalar, Hashemi, Nyusha, Karbala Saleh, Mahmoud, Mahmoud, Sajjad, 2014, Evaluation of the trend of changes in land surface temperature and analysis of spatial correlation with land structural elements in the Rasht watershed, Gilan province, Applied Ecology, 11th year, Fall, 47-59. (In Persian). <http://ijae.iut.ac.ir/article-1-1103-fa.html>

13- Ebrahimi, H., Aghighi, H., Azadbakht, M., Amani, M., Mahdavi, S., Matkan, A. A, 2021, Downscaling MODIS land surface temperature product using an adaptive random forest regression method and Google Earth Engine for a 19-year spatiotemporal trend analysis over Iran. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 14.

10.1109/JSTARS.2021.3051422

14- Elsu, C., Alex, K., V. Ramesh, & H. Sridevi, 2017,

References

1- Abdolmohammadi, Ildarmi, Heshmati, Shohreh, Alireza, Mosayeb, 2011, The effect of land use change on some physical and chemical characteristics of soil in the Halshi watershed of Kermanshah, Geography and Planning, Vol. 25, No. 75, 171-180. (In Persian).

<https://doi.org/10.22034/gp.2021.10902>

2- Abedini, Pasban, Babaei Olam, Musa, Amirhossein, Tayyebbeh, 2014, Investigating the relationship between land use changes and land surface temperature using Google Earth Engine (GEE) (Case study: Pars Abad County), Geography and Human Relations, Volume 7, Issue 1, 445-459. (In Persian). 10.22034/GAHR.2024.461242.2164

3- Ahmadi, Ghorbani, Safarrad, Sobhani, Behrouz, Ardavan, Taher, Behrouz, 2015, Investigation of land surface temperature in relation to land use and cover using remote sensing data. Journal of Remote Sensing and Geographic Information Systems in Natural Resources, Year 6, Issue 1, 61-78. (In Persian). <https://sid.ir/paper/189559/fa>

4- Alademomi, A. S., Okolie, C. J., Daramola, O. E., Agboola, R. O., & Salami, T. J, 2020, Assessing the Relationship of LST, NDVI and EVI with Land Cover Changes in the Lagos Lagoon Environment. Quaestiones Geographicae, 39(3), 87-109. (In Persian).

5- Alimoradi, Khorani, Esmaeil Pour, Saman, Asadolle, Yahya, 2017, Vegetation dynamics in relation to temperature and precipitation in the rangelands of the Karun Basin in Khuzestan Province, Applied Research in Geographical Sciences, Year 17, No. 44, 155-177. (In Persian).

6- Asghari Saraskanroud, Emami, Sayyad, Hadi, 2019, Monitoring land surface temperature and investigating the relationship between land use and land surface temperature using OLI and ETM sensor images + case study (Ardabil city), Applied Research in Geographic Sciences, Year 19(53), 195-215. (In Persian). <https://sid.ir/paper/102206/fa>

<https://doi.org/10.2478/quageo-2020-0025>

7- Athick, A. M. A., Shankar, K., & Naqvi, H. R. (2019). Data on time series analysis of land surface temperature

Detecting geothermal anomalies using Landsat 8 thermal infrared remotely sensed data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 80-96, 102283. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102283>

22- Gillies, R. R., & Carlson, T. N, 1995, Thermal remote sensing of surface soil water content with partial vegetation cover for incorporation into climate models. *Journal of Applied Meteorology*, 34(4), 745-756. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1995\)034<0745:TRSOS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1995)034<0745:TRSOS>2.0.CO;2)

23- Hasanvandi, Ali, 2010, Environmental Issues in Rural Development, *Sepehr Geographic Information*, Volume 21, Number 82, 89-91. (In Persian). 1001.1.258 83860.1391.21.82.14.8

24- Hashemi, Alavi Panah, Dinarvandi, Mahmoud, Seyed Kazem, Morteza, 2013, Evaluation of the spatial distribution of land surface temperature in the urban environment using thermal remote sensing, *Environment*. No. 1. 92 – 81. (In Persian). 10.22059/JES.2013.30392

25- Heidari, Khoshakhlaq, Moradi Moghadam, Molaei Pardeh, Faramarz, Mohammad Amin, Mohammad Amin, Asghar, 2013, Simulation of changes in Maragheh temperature regime due to drying of Lake Urmia, *Geography and Environmental Hazards*, Issue 8, 1-18. (In Persian). https://geoeh.um.ac.ir/article_38886.html

26- How Jin Aik, L., Muhammad, S., & Lee, K. (2020). Remote sensing applications in water surface studies using NDWI. *Hydrology Journal*, 12(3), 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.hydres.2024.09.002>

27- 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), 360-372. <https://doi.org/10.3390/land9100372>

28- Jamei, Y., Seyedmahmoudian, M., Jamei, E., Horan, B., Mekhilef, S., Stojcevski, A, 2022, Investigating the relationship between land use/land cover change and land surface temperature using Google Earth Engine: Case study: Melbourne, Australia. *Sustainability*, 14, 14868. <https://doi.org/10.3390/su142214868>

29- Kardvani, Parviz, (1993), *Soil Conservation*, Tehran

Quantification and understanding the observed changes in land cover patterns in Bangalore. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 8(4), 597-603. ID: IJCIET_08_04_067

15- Entezari, Amir Ahmadi, Ali Abadi, Khosraoian, Ebrahimi, Ali Reza, Abolghasem, Kazem, Maryam, Majid, 2016, Monitoring land surface temperature and assessing land use change trends (case study: Lake Parishan watershed), *Hydromorphology*, No. 8, 113-139. (In Persian).

16- Ermida, S. L., Soares, P., Mantas, V., Gottsche, F. M., & Trigo, I. F, 2020, Google Earth Engine open-source code for land surface temperature estimation from the Landsat series. *Remote Sensing*, 12, 1471. <https://doi.org/10.3390/rs12091471>

https://journals.tabrizu.ac.ir/article_5769.

17- Esmaeili 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 Maharlu-Bakhtegan Wetland watershed). Master's thesis in Civil Engineering, River Engineering, Ali Moridi and Mojtaba Sorian, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Shahid Abbaspour Technical and Engineering Campus. (In Persian).

18- Feizizadeh, Dideban, Gholamnia, Bakhtiar, Khalil, Khalil, 2016, Estimating Earth's Surface Temperature Using Landsat 8 Satellite Images and Discrete Window Algorithm, Case Study of Mahabad Basin, *Sepehr Geographic Information*, Volume 25, Issue 98, 171-185. (In Persian). <https://doi.org/10.22131/sepehr.2016.22145>

19- Gao, B. C, 1996, NDWI A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 40-58, 1429.

DOI:10.1016/S0034-4257(96)00067-3

20- Gaylan Rasul Faqe Ibrahim, 2017, Urban land use/land cover changes and their effect on land surface temperature: Case study using Dohuk City in the Kurdistan region of Iraq. *Climate*, 5(1), 13. <https://doi.org/10.3390/cli5010013>

21- Gemitzi, A., Dalampakis, P., & Falalakis, G, 2021,

- in the natural environment, Geographic Information Sepehr, Volume 19, Number 75, 16-21. (In Persian). 20.1001.1.25883860.1389.19.75.3.9
- 38- Moradi, Khosravi, Zehtabian, Khalighi-Sigarudi, Sarda, Ehsan, Hassan, Gholamreza, Shahram, 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, Issue 5. (In Persian). 10.22059/IJSWR.2020.293299.668410
- 39- Mozaffari, M., Hosseini, Z., & Feijani, E. (2022). Assessment of the role of meteorological and hydrological droughts in the desiccation of Bakhtegan and Tashk Lakes. Journal of Natural Environmental Hazards, 11(34), 79–100. <https://doi.org/10.22111/jneh.2022.39448.1835>
- 40- Nadian, Mirzaei, Soltani Mohammadi, Marzieh, Ruhollah, Saeed, 2018, Application of Moran's Spatial Autocorrelation Index in Spatio-Temporal Analysis of PM2.5 Pollutants (Case Study: Tehran City), Environmental Health Engineering, Year 5, Issue 3. (In Persian). 10.29252/jehe.5.3.197
- 41- Nateghi, Nohegar, Ehsani, Bazrafshan, Saeedeh; Ahmad, Amirhoshang, Umm al-Baneen, 2017, Investigation of vegetation changes based on plant indices using remote sensing, rangeland and desert, Volume 24, Number 4, 790-778. (In Persian) . <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2017.114889>
- 42- Neinavaz, E., Skidmore, A. K., Darvishzadeh, R., 2020, Effects of prediction accuracy of the proportion of vegetation cover on land surface emissivity and temperature using the NDVI threshold method. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 70-85, 101984. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.101984>
- 43- Pahlavanzadeh, Janalipour, Abbaszadeh Tehrani, Noushin, Milad, Nadia, Farinaz, Fahrenj, 2019, Improving the accuracy of land surface temperature extraction from Landsat satellite thermal bands using linear regression and ground observations, Geography and Environmental Planning, Volume 30, Issue 3, 59-78. University Press. (In Persian).
- 30- Khosravi, Y., Bahri, A., Tavakoli, A, 2020, Investigating sea surface temperature (SST) and spatial changes in Gulf of Oman for the period of 2003 to 2005. Journal of the Earth and Space Physics, 45(4), 165–179. 10.22059/JESPHYS.2019.252382.1006976
- 31- Khosravi, Heidari, Tavakoli, Zamani, Younes, Mohammad Ali, Azadeh, Abbas Ali, 2017, Investigating the relationship between temporal changes in land surface temperature and spatial patterns of land use changes (case study of Zanzan city), Spatial Planning and Arrangement, Volume 21, Issue 3, 119-144. (In Persian). <http://hsmmp.modares.ac.ir/article-21-4560-fa.html>
- 32- Kumari, M, Sarma, K, & Sharma, R, 2019, Using Moran's I and GIS to study the spatial pattern of land surface temperature in relation to land use/cover around a thermal power plant in Singrauli district, Madhya Pradesh, India. Remote Sensing Applications: Society and Environment, 15, 100239. DOI:10.1016/j.rsase.2019.100239
- 33- Leon, N., Ullmann, T., Kneisel, C., Sobiech-Wolf, J., Baumhauer, R., 2019, Assessing spatiotemporal variations of Landsat land surface temperature and multispectral indices in the Arctic Mackenzie Delta region between 1985 and 2018. Remote Sensing, 11, 2329. <https://doi.org/10.3390/rs11192329>
- 34- Masoudian, Seyed Abolfazl, 2019, Reflection of environmental changes in changes in the frequency distribution of land surface temperature, a case study of the Zayandeh Rood and Urmia basins, Natural Environmental Hazards, Volume 8, Issue 19, 264-275. (In Persian). 10.22111/JNEH.2019.28272.1485
- 35- McFeeters, S. K, 1996, The use of the normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. Remote Sensing, 1429. 10.1080/01431169608948714
- 36- Mir Mousavi, Seyed Hossein, 1403, Analysis of drought effects on water level changes in Bakhtegan-Tashk-Maharlu lakes, Sepehr Geographic Information, Volume 33, Number 130. (In Persian). 10.22131/SEPEHR.2024.2004008.2983
- 37- Momeni, Mehdi, 2010, The role of humans in changes

- vegetation indices: A review of developments and applications. Journal of Sensors, 2017, 1-17. <https://doi.org/10.1155/2017/1353691>
- 51- Zandi, Salmani Moghadam, Rudaki, Rahman, Mohammad, Zohreh, 2013, Measuring the autocorrelation of land surface temperature with land use. Study sample: Isfahan city, Geography and Environmental Planning, Year 34, Serial 89, No. 1, 61-76. (In Persian). 10.22108/GEP.2022.132524.1488
- 52- Zareie, S., Khosravi, H., & Nasiri, A, 2016, Derivation of land surface temperature from Landsat Thematic Mapper (TM) sensor data and analyzing relation between land use changes and surface temperature. Solid Earth Discuss, 1-15. DOI:10.5194/se-2016-22 (In Persian). 10.22108/GEP.2019.118336.1179
- 44- Pirestani, Shafaghi, Mohammad Reza, Mehdi, 2009, Investigating the environmental effects of dam construction, New Perspectives in Human Geography, Year 1, Issue 3, 2009, 39-50. (In Persian). <https://sid.ir/paper/177139/fa>
- 45- Sadeghinia, Alijani, Ziaian, Khaledi, Alireza, Bahloul, Parviz, Shahriar, 2012, Application of spatial autocorrelation techniques in heat island analysis of Tehran city. Applied Research in Geographical Sciences, Year 13, Issue 30, 67-90. (In Persian). <http://jgs.khu.ac.ir/article-1-1623-en.html>
- 46- Salehi, Negahban, Jafarian Dehkordi, Ismail, Saeed, Zohreh, 2010, Study and investigation of the effects of urban development on the environment, Sepehr Geographic Information, Volume 19, Number 76, 28-33. (In Persian). 20.1001.1.25883860.1389.19.76.5.3
- 47- 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, 20-34, 100693. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100693>
- 48- 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>
- 49- Vanhellemont, Q ,2020, Combined land surface emissivity and temperature estimation from Landsat 8 OLI and TIRS. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 155-166, 390-402. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.06.007>
- 50- Xue, J., Su, B, 2017, Significant remote sensing

COPYRIGHTS

©2025 by the authors. Published by National Geographical Organization. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons [Attribution-NoDerivs 4.0 International \(CC BY-ND 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/)

