Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
Online ISSN: 1531-2783 Print ISSN: 5970-2423

Monitoring and forecasting the ecological trend changes of the Biseh Dalan Wetland in Borujerd

Ali Haghizadeh [*1], **Hafez Mirzapour** [2], **Leila Ghasemi** [3]

1. Professor, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, Iran, Email: haghizadeh.a@lu.ac.ir
2. Former Ph.D. Student, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, Iran, Email: mirzapour.lu@yahoo.com
3. Ph.D. Student, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, Iran, Email: l.ghasemileila70@gmail.com

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article history
Received: 27 October 2025
Revised: 14 November 2025
Accepted: 29 November 2025
Published online: 20 January 2026

Keywords:
Ecological assessment, Borujerd, Bisheh Dalan wetland, Facebook Prophet.

ABSTRACT

Wetlands are dynamic and productive ecosystems, recognized as some of the most vital yet threatened environments on Earth for both humanity and nature. This study aimed to monitor and predict ecological changes in the Bisheh Dalan wetland by utilizing various indices, including NDVI, VWR, MNDWI, LSWI, and MVWR. Landsat 5, 7, and 8 satellite images with a spatial resolution of 30 meters from 2007 to 2024 were analyzed. The trends in these indices were predicted using the Facebook Prophet model, while their ecological assessment was conducted through the chi-square test and the Mann-Kendall correlation coefficient. The findings revealed that during the initial years of the study period, the vegetation index (NDVI) in the Bisheh Dalan wetland showed lower density. However, recent years have seen an improvement in vegetation cover. Statistical analyses revealed a significant positive correlation between the NDVI and MVWR indices (Kendall's coefficient: 0.784), indicating a strong relationship between vegetation density and moisture conditions in the wetland. In contrast, the weakest association (Chi-square: 0.082) was observed between the LSWI and NDVI indices. Furthermore, a strong negative correlation between the MVWR and MNDWI indices (Kendall's coefficient: -0.778) indicates these indices exhibit contrasting behaviors in response to moisture variations. Projections of change trends until 2030, generated using the Facebook Prophet model, indicate that the current trajectory of ecological changes will persist, though at a reduced intensity. These findings underscore the imperative for immediate attention to integrated water resource management and the implementation of conservation programs to prevent the escalation of the ecological crisis in the Bishe Dalan Wetland.

Citation: Haghizadeh, A., Mirzapour, H., & Ghasemi, L. (2025). Monitoring and forecasting the ecological trend changes of the Biseh Dalan Wetland in Borujerd. *Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems*, 13(4), 21-40.

DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.3.9

Publisher: Iranian Rainwater Catchment Systems Association
© Author(s)

***Corresponding author:** Ali Haghizadeh
Address: Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, Iran.
Tel: +989163982677
Email: haghizadeh.a@lu.ac.ir

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.3.9]

Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
Online ISSN: 1531-2783 Print ISSN: 5970-2423

Monitoring and forecasting the ecological trend changes of the Biseh Dalan Wetland in Borujerd

Ali Haghizadeh [*1], **Hafez Mirzapour** [2], **Leila Ghasemi** [3]

1. Professor, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, Iran, Email: haghizadeh.a@lu.ac.ir
2. Former Ph.D. Student, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, Iran, Email: mirzapour.lu@yahoo.com
3. Ph.D. Student, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, Iran, Email: l.ghasemileila70@gmail.co

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: Wetlands are among the most dynamic and productive ecosystems on Earth, providing indispensable ecological services for both humanity and nature. Despite their critical importance, they are simultaneously some of the most threatened environments globally, facing degradation from anthropogenic pressures and climatic variations. The Bisheh Dalan wetland, like many others, is susceptible to such ecological shifts, necessitating continuous monitoring and predictive analysis for effective conservation planning. This study aims to conduct a comprehensive ecological assessment of the Bisheh Dalan wetland by monitoring its historical changes from 2007 to 2024 and forecasting its future trajectory up to 2030. The primary objectives are to quantify changes in vegetation cover and water presence using a suite of remote sensing indices, to analyze the statistical correlations between these ecological parameters, and to model future trends to inform management strategies.

Methodology: This research utilized a multi-temporal remote sensing approach to monitor the Bisheh Dalan wetland. Satellite imagery from Landsat 5, 7, and 8 satellites, spanning the years 2007 to 2024 with a consistent spatial resolution of 30 meters, formed the core dataset. To capture the complex interplay between vegetation and water, five key indices were calculated: the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) for vegetation health and density; the Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI) and the Land Surface Water Index (LSWI) for mapping surface water and soil moisture; and the Vegetation-Water Ratio (VWR) and Modified Vegetation-Water Ratio (MVWR) to analyze the relative balance between vegetation and water cover. The trends of these indices were analyzed over time. Their statistical relationships were assessed using the Chi-square test and the Mann-Kendall correlation coefficient. Finally, the Facebook Prophet model was employed to forecast the trends of each index from 2024 to 2030, capturing both long-term trajectories and seasonal patterns.

Results and Discussion: The analysis of historical data revealed significant ecological dynamics within the Bisheh Dalan wetland. The NDVI index indicated lower vegetation density in the initial years of the study period, particularly around 2009, followed by a notable improvement in recent years. In contrast, water-related indices indicated a concerning decline. The MNDWI trended towards zero, showing reduced surface water, while the LSWI confirmed a consistent drop in soil moisture. The VWR index decreased after 2009, signaling a reducing ratio of vegetation to water cover. Statistically, the strongest correlation was a positive link between NDVI and MVWR, while a significant inverse correlation was found between MVWR and MNDWI. These declining trends, particularly around 2009, are attributed to human activities like channel construction, aligning with some previous studies but contrasting with others. The forecasts generated by the Facebook Prophet model for 2024-2030 suggest a continuation of the current established trends, with negligible changes expected in the indices in the near future. The model also elucidated distinct seasonal patterns: the LSWI, MNDWI, and MVWR indices peak during winter, with their lowest values in summer, reflecting seasonal precipitation and evaporation cycles. In contrast, the NDVI peaks in spring and summer, aligning with plant growth cycles, and is lowest in fall and winter. The VWR is highest in winter and fall.

***Corresponding author:** Ali Haghizadeh
Address: Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, Iran.
Tel: +989163982677
Email: haghizadeh.a@lu.ac.ir

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.3.9]

ISSN (Online): 2783-1531 - ISSN (Print): 2423-5970

Conclusion: The study concludes that the Bisheh Dalan wetland has experienced significant ecological degradation, primarily driven by human activities, leading to a substantial loss of water resources. The forecast suggests this precarious state is likely to persist without intervention. These findings highlight the urgent need for effective conservation. The study recommends implementing restoration projects focused on rehabilitating the wetland's hydrology and vegetation using traditional methods. Future research should also investigate the additional impact of climate change on these critical ecological trends.

Ethical Considerations

Data availability statement: The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.

Authors' contribution: **Ali Haghizadeh, Hafez Mirzapour, and Leila Ghasemi:** conducted all parts of the research and wrote the whole manuscript.

Conflicts of interest: The authors of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

Acknowledgment: Appreciate the support from the Lorestan University.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.3.9]

Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
مجله علمی سامانه‌های سطوح آبگیر باران ایران
شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۱۵۳۱ شاپا چاپی: ۲۴۲۳-۵۹۷۰

پایش و پیش‌بینی تغییرات روند بوم‌شناختی تالاب بیشه دالان بروجرد

علی حقی‌زاده*[۱]، حافظ میرزاپور[۲]، لیلا قاسمی[۳]

۱. استاد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران، haghizadeh.a@lu.ac.ir
۲. دانش‌آموخته دکتری، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران، mirzapour.lu@yahoo.com
۳. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران، l.ghasemileila70@gmail.com

مشخصات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخچه مقاله
دریافت: ۰۵ آبان ۱۴۰۴
بازنگری: ۲۳ آبان ۱۴۰۴
پذیرش: ۰۸ آذر ۱۴۰۴
انتشار برخط: ۳۰ دی ۱۴۰۴

واژه‌های کلیدی:
ارزیابی بوم‌شناختی، بروجرد، تالاب بیشه دالان، فیسبوک پروفت

چکیده

تالاب‌ها بوم‌سازگان‌های سازنده و پویایی هستند که ازنظر بشریت و طبیعت، جزو مهم‌ترین و در معرض تهدیدترین بوم‌سازگان‌های روی زمین محسوب می‌شوند. در مطالعه حاضر به‌منظور پایش و پیش‌بینی تغییرات بوم‌شناختی تالاب بیشه دالان از شاخص‌های NDVI, VWR, MNDWI, LSWI, MVWR استفاده شد. به این منظور تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵، ۷ و ۸ با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر، از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۴ مورد بررسی قرار گرفت. پیش‌بینی روند تغییرات شاخص‌ها با استفاده از مدل فیسبوک پروفت و ارزیابی بوم‌شناختی آن‌ها با استفاده از آزمون مربع کای و ضریب همبستگی من کندال انجام شد. نتایج نشان داد در چند سال اول دوره مورد بررسی، شاخص پوشش گیاهی (NDVI) در تالاب بیشه دالان از تراکم کم‌تری برخوردار بوده است ولی در سال‌های اخیر تالاب از پوشش گیاهی مناسب‌تری برخوردار است. تحلیل‌های آماری نشان‌دهنده این بود که بیش‌ترین همبستگی مثبت و معنی‌دار بین شاخص‌های NDVI و MVWR (ضریب کندال: ۰/۷۸۴) وجود دارد که نشان‌دهنده ارتباط قوی بین تراکم پوشش گیاهی و شرایط رطوبتی در تالاب است. در مقابل، کم‌ترین میزان ارتباط (مربع کای: ۰/۰۸۲) بین شاخص‌های LSWI و NDVI مشاهده شد. هم‌چنین، همبستگی منفی قوی بین شاخص‌های MVWR و MNDWI (ضریب کندال: ۰/۷۷۸-) بیانگر رفتار متضاد این شاخص‌ها در پاسخ به تغییرات رطوبتی است. پیش‌بینی روند تغییرات تا سال ۲۰۳۰ با استفاده از مدل فیسبوک پروفت نشان می‌دهد که روند کنونی تغییرات بوم‌شناختی با شدت کم‌تری تداوم خواهد یافت. این یافته‌ها لزوم توجه فوری به مدیریت یکپارچه منابع آب و اجرای برنامه‌های حفاظتی را برای جلوگیری از تشدید بحران بوم‌شناختی در تالاب بیشه دالان نشان می‌دهد.

استناد: حقی‌زاده، علی، میرزاپور، حافظ و قاسمی، لیلا. (۱۴۰۴). پایش و پیش‌بینی تغییرات روند بوم‌شناختی تالاب بیشه دالان بروجرد. *سامانه‌های سطوح آبگیر باران*، ۱۳(۴)، ۲۱-۴۰.

DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.3.9

ناشر: انجمن علمی سیستم‌های سطوح آبگیر باران ایران

© نویسندگان

* **نویسنده مسئول:** علی حقی‌زاده
نشانی: گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران
تلفن: ۰۹۱۶۳۹۸۲۶۷۷
پست الکترونیکی: haghizadeh.a@lu.ac.ir

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.3.9]

مقدمه

با بهره‌برداری گسترده از منابع طبیعی، مدل‌سازی وضعیت بوم‌شناختی زمین با قدرت تفکیک مکانی و زمانی مناسب اهمیت فراوانی یافته است (He & Xie, 2019; Hou et al., 2020; Mijani et al., 2020). در این میان، تالاب‌ها و مناطق شهری به‌عنوان عرصه‌های طبیعی و انسان‌ساخت، تأثیر زیادی بر شرایط بوم‌سازگان دارند. ازاین‌رو، مدل‌سازی تغییرات مکانی–زمانی این نواحی اولویت بالایی دارد (Larson et al., 2016; Xu et al., 2020; Yuan et al., 2018). روش‌های متعارف تحلیل روندهای بوم‌شناختی، عمدتاً مبتنی بر مطالعات میدانی هستند. این روش‌ها زمان‌بر و پرهزینه بوده و در مناطق با دسترسی دشوار کارایی لازم را ندارند. هم‌چنین نقشه‌های تولیدی آن‌ها غالباً از دقت و جزئیات فضایی کافی برخوردار نیستند (Liu et al., 2018). در مقابل، پیشرفت‌های اخیر در سنجش از دور ماهواره‌ای، ابزارهای قدرتمندی برای مدیریت بوم‌سازگان فراهم کرده است. این فناوری قادر به ارائه اطلاعات ارزشمند در سطوح مختلف، از محلی تا جهانی است (Firozjaei et al., 2020).

تالاب‌ها خدمات ارزشمندی همچون حفظ تنوع زیستی، بهبود کیفیت آب، کنترل سیلاب و کاهش اثرات خشکسالی ارائه می‌دهند (Kim & Lee, 2011). از این‌رو، درک دقیق وضعیت و روند تغییرات آن‌ها برای مدیریت محیط زیست و دستیابی به توسعه پایدار ضروری است (Firozjaei et al., 2020; Yuan et al., 2021). فناوری سنجش از دور با فراهم‌آوری اطلاعات به‌موقع، دقیق و با پوشش گسترده، به ابزاری مؤثر برای ارزیابی‌های محیط‌زیستی تبدیل شده است (Mohammadi et al., 2017; Liu et al., 2018).

در مطالعات ارزیابی محیط‌زیست با استفاده از سنجش از دور، دو رویکرد اصلی تک‌عاملی و چندعاملی به کار گرفته شده است (Shan et al., 2019). در رویکرد تک‌عاملی، نظارت بر شرایط بوم‌شناختی با تمرکز بر یک شاخص خاص مانند شاخص تفاوت نرمال‌شده پوشش گیاهی انجام می‌شود (Piedallu et al., 2019). اگرچه این روش برای ارزیابی سریع کارآمد است، اما به‌دلیل سادگی ذاتی، قادر به ارائه ارزیابی جامع نیست. با توجه به پیچیدگی ویژگی‌های سطح زمین، استفاده از رویکرد چندعاملی برای تحلیل کامل‌تر ضروری به نظر می رسد (Zhang et al., 2023). در ادامه، مروری بر پژوهش‌های انجام‌شده در این حوزه ارائه خواهد شد.

حاجیان و همکاران (۱۴۰۰) در پژوهشی به تحلیل روند تغییرات بوم‌شناختی تالاب شادگان پرداختند. آن‌ها با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای مودیس، شاخص‌های بوم‌شناختی این تالاب را به‌صورت ماهانه از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۷ استخراج کردند. یافته‌های مطالعه نشان از یک توالی معکوس و شرایط بحرانی در این تالاب داشت. در مطالعه‌ای دیگر، سید موسوی و آخوندزاده (۱۴۰۰) تغییرات پهنه آبی تالاب انزلی را در بازه زمانی ۲۰۱۹–۲۰۰۰ با استفاده از یک سیستم هوشمند عصبی–فازی در پلتفرم گوگل ارث انجین پایش و پیش‌بینی کردند. با استفاده از تصاویر لندست و شاخص NDWI برای تفکیک پهنه آبی، نتایج حاکی از قابلیت بالای مدل مذکور برای مدیریت و نظارت مستمر بر تالاب بود. دستاران و همکاران (۱۴۰۱) نیز با استفاده از داده‌های سری زمانی در گوگل ارث انجین و مدل Facebook's Prophetبه پایش و پیش‌بینی تغییرات تالاب بختگان پرداختند. آن‌ها روند تغییرات سطح آب این تالاب را طی سال‌های ۲۰۲۰–۲۰۰۰ بررسی کرده و هم‌زمان تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی، دما و بارش منطقه را تحلیل کردند. یافته‌ها نشان داد که کاهش سطح آب تالاب با روند نزولی منابع آب زیرزمینی که حاکی از کاهش کلی منابع آبی منطقه است، هم‌خوانی دارد. در پژوهشی دیگر، امینی و همکاران (۱۴۰۱) به پایش و پیش‌بینی امنیت محیط‌زیست حوزه شهرستان نظرآباد استان البرز در بازه زمانی ۲۰۳۵–۱۹۹۱ پرداختند. آن‌ها با تلفیق الگوریتم ماشین بردار پشتیبانی، مدل بوم‌شناختی سیمای سرزمین و مدل ترکیبی CA-Markov، نتایجی را کسب کردند که حاکی از کاهش یکپارچگی و افزایش تکه‌تکه‌شدن اراضی کشاورزی همراه با گسترش فزاینده عرصه‌های انسان‌ساخت در این مناطق بود.

هم‌چنین Xia و همکاران (۲۰۲۴) در یک پژوهش به بررسی تأثیرات حفاظت در دوران محدودیت‌های ناشی از پاندمی بر احیای پوشش گیاهی در ذخیره‌گاه طبیعی ملی دریاچه ابینور پرداختند. به همین منظور از داده‌های سنجش‌ازدور Sentinel-2، Landsat-8 و طیف‌سنجی تصویربرداری با وضوح متوسط (MODIS) برای انتخاب داده‌های بهینه و از تخمین شیب سن، آزمون‌های آماری Mann-Kendall و مدل آشکارساز جغرافیایی برای تجزیه و تحلیل کمی استفاده کردند. NDVI محاسبه‌شده از داده‌های سنجش‌ازدور MODIS بالاتر از مقدار محاسبه‌شده توسط تصاویر سنجش‌ازدور Landsat-8 و Sentinel-2 بود و داده‌های سنجش‌ازدور Landsat-8 مناسب‌ترین داده‌ها بودند. Huang و همکاران (۲۰۲۴) به‌منظور نقشه‌برداری محیطی ساحلی، به ارزیابی پتانسیل استفاده از روش‌های هوش مصنوعی (AI) و یادگیری ماشین (ML) برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای Landsat در اطراف تالاب چیتام، خلیج پورت فیلیپ، استرالیا پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که استفاده از الگوریتم‌های AI و ML راه‌حل‌های مؤثری برای نظارت ساحلی با تجزیه و تحلیل تشخیص تغییر با استفاده از داده‌های RS چند زمانی ارائه می‌دهد. Jiang و همکاران (۲۰۲۴) در مطالعه‌ای به بررسی این اقدامات حفاظتی و احیای تالاب

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.3.9]

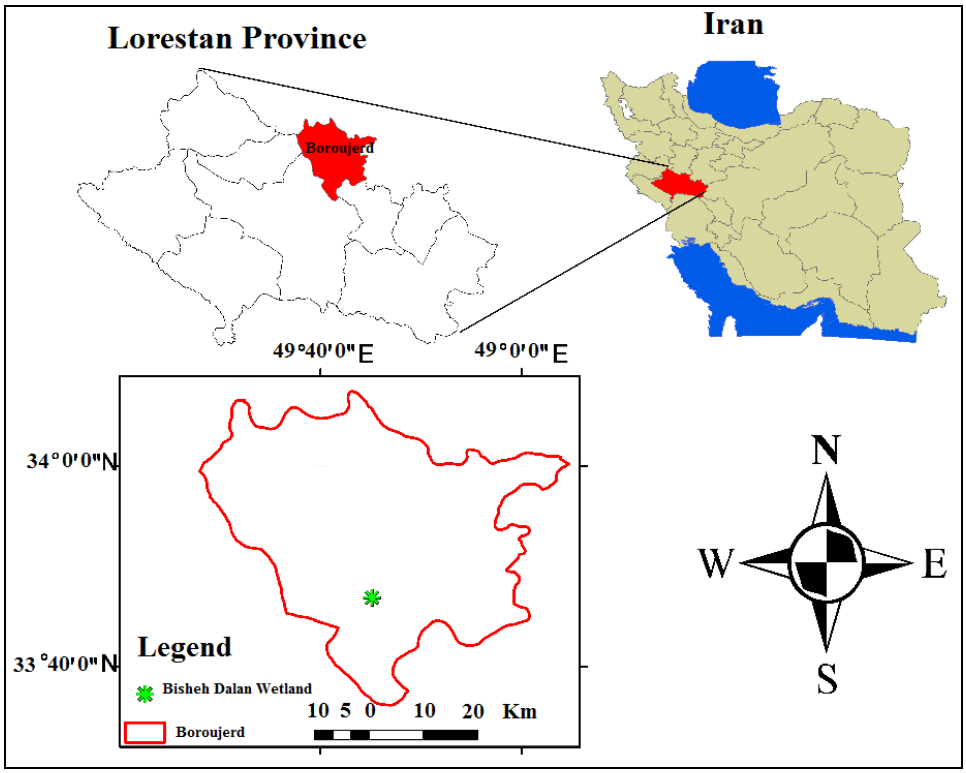
پرداختند، آن‌ها سیاست‌های مدیریت حفاظت و احیا تالاب چین را تفسیر کردند، و پیشنهاد دادند که تحقیقات آینده در مورد منابع تالاب در چین باید از جنبه‌های مرزهای بین‌المللی و برنامه‌های استراتژیک ملی، اجتماعی–اقتصادی و خدمات هوشمند انجام شود. نتایج نشان‌دهنده این بود که ۲۷ روز جهانی تالاب از سال ۱۹۹۷ تا ۲۰۲۳ اهداف و وظایف جدیدی را برای حفاظت و مدیریت تالاب‌ها ارائه کرده است. موضوعات و نتایج مهم ۱۴ کنفرانس طرف‌های متعاهد کنوانسیون تالاب‌ها از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۲ جهت‌گیری‌های جدید و چالش‌های جدیدی را برای توسعه تالاب‌ها ایجاد کرد.

با توجه به رشد فزاینده مطالعات در زمینه پایش شرایط تالاب‌ها در سال‌های اخیر، روش‌های متنوعی برای این منظور توسعه یافته‌اند. در این راستا، پژوهش حاضر با هدف پایش تغییرات پهنه‌های آبی و پوشش گیاهی تالاب بیشه دالان بروجرد، که از اهمیت بوم‌شناختی بالایی برخوردار است، انجام شده است. نوآوری این تحقیق در استفاده همزمان از چندین شاخص سنجش از دوری با مدل‌های پیشرفته پیش‌بینی برای پایش و آینده‌نگری تغییرات بوم‌شناختی تالاب مذکور است. هم‌چنین، به کارگیری روش‌های نوین تحلیل زمانی مانند مدل فیسبوک پروفت برای مدل‌سازی روندهای بلندمدت، از دیگر جنبه‌های نوآورانه این مطالعه محسوب می‌شود.

مواد و روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه

تالاب بیشه دالان با شکل تقریبی مثلثی، در جنوب شهرستان بروجرد و در حاشیه دشت سیلاخور واقع شده است. این تالاب در محدوده جغرافیایی ′۴۸ °۴۸ تا ′۱۰ °۴۸ طول شرقی و ′۴۹ °۳۳ تا ′۴۸ °۳۳ عرض شمالی، بین روستاهای چگنی کش، بوریاباف، کپرجودکی، کیدان، کاروانه، گنجینه و پاپولک قرار گرفته است. وسعت کل تالاب بیشه دالان ۹۱۳/۵ هکتار با ارتفاع متوسط ۱۴۸۳ متر از سطح دریا است، که از این مساحت در سال ۱۳۸۱ میزان ۷۹/۵ هکتار از آن طی صورت‌جلسه‌ای به اداره حفاظت محیطزیست بروجرد، ۱۱۶/۶ هکتار در قالب ۳۴ قطعه از طرف اداره منابع طبیعی به کشاورزان واگذار شده و مابقی وسعت منطقه منابع ملی است که توسط کشاورزان مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. سطح تالاب در بالاترین تراز آب در حدود ۹/۳ کیلومترمربع و حداقل عمق آن۰/۱ متر و حداکثر عمق آن ۱ متر متغیر است. این تالاب در حوضه آبریز کارون بزرگ و در محدوده مطالعاتی درود–بروجرد با کد ۲۳۳۹ قرارگرفته است (مهدی نسب، ۱۴۰۲). منطقه موردمطالعه در شکل (۱) نمایش داده‌شده است.



شکل ۱– موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی

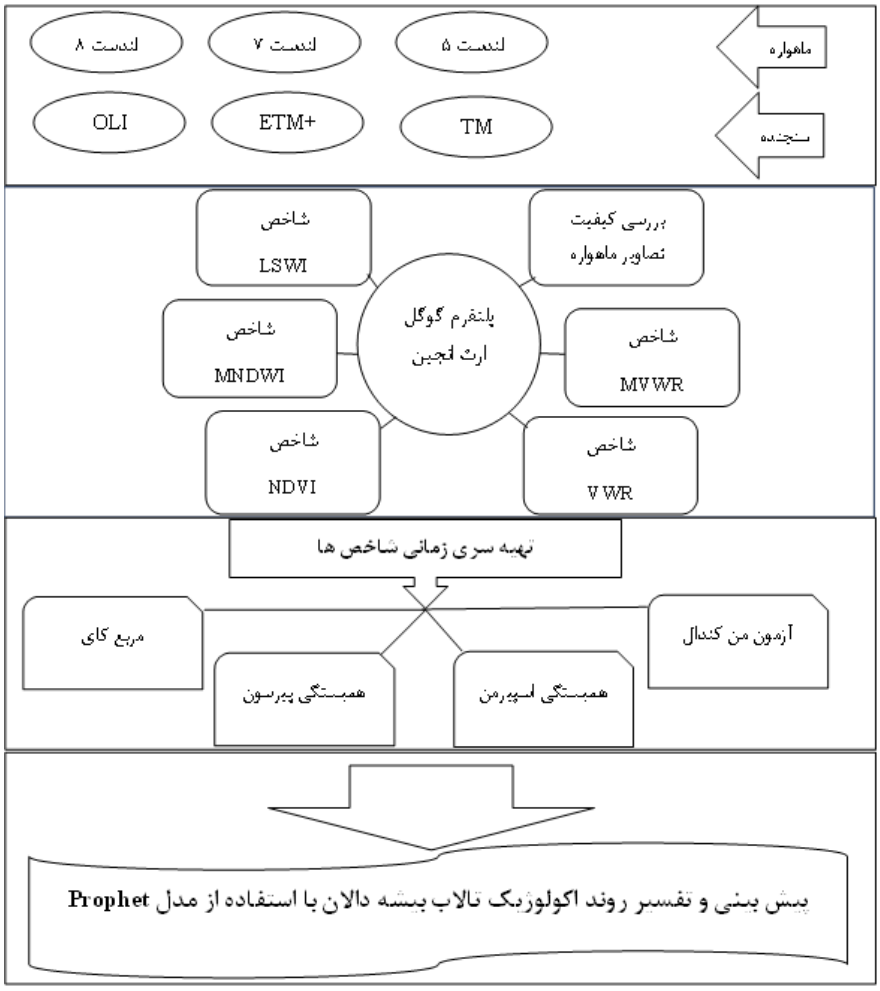
Figure 1– Geographical location of the study area

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.3.9]

داده‌های مورد نیاز

در مطالعه حاضر به‌منظور پایش شرایط بوم‌شناختی تالاب بیشه دالان بروجرد از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۴ از تصاویر سنجنده TM لندست ۵، سنجنده ETM+ لندست ۷ و سنجنده OLI لندست ۸ با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متری در چهار فصل سال در ماه‌هایی که تصویر بدون ابر موجود باشد برای هر سال استفاده شد. لازمه استفاده از تصاویر ماهواره‌ای این است که کیفیت داده‌ها ازلحاظ رادیومتری، نوار شدگی و هندسی قبل از استفاده مورد بررسی قرار گیرد و اطمینان حاصل شود که داده‌ها عاری از هرگونه خطای رادیومتری، نوار شدگی و هندسی هستند (میرزاپور و همکاران ۱۳۹۵).



شکل ۲- نمودار جریانی روش تحقیق

Figure 2– Flowchart of the research methodology

شاخص‌ها

شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI[1])

برای محاسبه شاخص تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI)، پیکسل‌های تصویر بر اساس ویژگی‌های طیفی به دو گروه پوشش گیاهی و سایر پدیده‌ها تفکیک می‌شوند. انتخاب باندهای طیفی با توجه به الگوی بازتابش مشخص گیاهان صورت می‌گیرد، چرا که پوشش گیاهی معمولاً نور مرئی (آبی و قرمز) را جذب کرده و بازتاب شدیدی در محدوده مادون قرمز نزدیک دارد. این شاخص بر اساس رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

[1] Normalized Difference Vegetation Index

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.3.9]

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$ رابطه (۱)

مقدار NDVI در بازه ۱+ تا ۱− قرار دارد، به‌طوری‌که مقادیر بالاتر نشان‌دهنده تراکم بیش‌تر پوشش گیاهی است (McFeeters, 1996، سفیدیان و همکاران، ۱۳۹۴). هم‌چنین، مقادیر منفی این شاخص بیانگر عدم وجود پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه است.

شاخص تصحیح‌شده نرمال تفاضلی آب (MNDWI[1])

شاخص‌های سنجش آب با هدف تشدید بازتاب طیفی در باند سبز و کاهش تأثیرات ناشی از بازتاب باند مادون‌قرمز نزدیک (NIR) طراحی شده‌اند. این رویکرد از ویژگی جذب قوی NIR توسط آب و بازتاب بالای آن توسط پوشش گیاهی و خاک بهره می‌برد. مقادیر شاخص NDWI در محدوده ۱+ تا ۱− قرار می‌گیرد، به‌طوری‌که مقادیر منفی یا نزدیک به صفر نشانگر عدم وجود آب بوده و مقادیر نزدیک به ۱+ حاکی از وجود رطوبت بسیار بالا است (McFeeters, 1996). مقدار MNDWI نیز از طریق رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$MNDWI = \frac{Green - SWRI}{Green + SWRI}$$ رابطه (۲)

در این رابطه Green نشان‌دهنده باند طیفی Green است که دارای بالاترین بازتاب برای آب است و باند مادون‌قرمز طول‌موج کوتاه (SWIR[2]) بوده که در مقایسه با NDWI، کنتراست بین آب و زمین‌های ساخته‌شده MNDWI به‌دلیل افزایش ارزش ویژگی آب و کاهش ارزش زمین‌های ساخته‌شده از مثبت به منفی، به میزان قابل‌توجهی افزایش‌یافته است (McFeeters, 1996).

شاخص آب سطح زمین (LSWI[3])

شاخص LSWI به‌عنوان یک ابزار کارآمد برای نظارت بر وضعیت آبی تالاب‌ها شناخته می‌شود (Zhao, et al., 2009). این شاخص از حساسیت باند SWIR نسبت به رطوبت خاک و محتوای آب برگ‌ها بهره می‌برد و برای ارزیابی میزان آب معادل در پوشش گیاهی توسعه یافته است (Wu et al., 2020). محاسبه این شاخص بر اساس رابطه (۳) انجام می‌پذیرد (Running et al. 2004).

$$LSWI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$$ رابطه (۳)

یکی از ویژگی‌های شاخص LSWI آشکارسازی مراحل جایگزینی پوشش گیاهی در بوم‌سازگان است (حاجیان و همکاران، ۱۴۰۰).

شاخص نسبت پوشش گیاهی-آب (VWR[4])

شاخص VWR با استفاده از چهار باند طیفی (سبز، قرمز، مادون قرمز نزدیک و SWIR) نسبت بین پوشش گیاهی و پهنه‌های آبی را اندازه‌گیری می‌کند که این امر منجر به غنای اطلاعاتی بیش‌تر آن می‌شود. تلفیق اطلاعات پوشش گیاهی و آب در این شاخص می‌تواند دقت و کارایی بالاتری نسبت به کاربرد جداگانه شاخص‌های گیاهی یا آبی ارائه دهد (Zhao, 2009). این شاخص بر اساس رابطه (۴) محاسبه می‌شود.

$$VWR = \frac{\sum NDVI}{\sum LSWI}$$ رابطه (۴)

ویژگی شاخص VWR این است که بیانگر وضعیت فیزیکی تالاب است (Alibakhshi et al., 2017).

نسبت اصلاح‌شده پوشش گیاهی-آب (MVWR[5])

شاخص MVWR که یک نسخه بهبودیافته از شاخص VWR محسوب می‌شود، قابلیت شناسایی همزمان پوشش‌های گیاهی و آبی را دارا است (Alibakhshi et al., 2017). در این شاخص، شاخص MNDWI جایگزین شاخص LSWI در محاسبات VWR می‌شود. مقادیر

[1] Modified Normalized Difference Water Index
[2] shortwave infrared
[3] Land Surface Water Index
[4] Vegetation-Water Ratio Index
[5] Modified Vegetation-Water Ratio Index

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.3.9]

مثبت حاصل از این شاخص نشانگر وجود پوشش گیاهی بوده، درحالی که مقادیر منفی آن بیانگر حضور پهنه‌های آبی است (Mozumder et al., 2014: Rokni et al., 2014: Li et al., 2013). این شاخص بر اساس رابطه (۵) محاسبه می‌شود.

رابطه (۵)
$$MVWR = LN\left(\frac{NDVI+1}{MNDWI+1}\right)$$

شاخص MVWR بیانگر وضعیت فیزیکی تالاب، قابلیت پیش‌بینی گذار بحرانی در بوم‌سازگان‌های تالابی است (Alibakhshi et al., 2017).

آزمون من کندال

آزمون ناپارامتری من کندال نخستین بار توسط من (۱۹۴۵) معرفی و در ادامه توسط کندال (۱۹۷۵) تکمیل شد (Serrano et al., 1999). این روش به‌صورت گسترده‌ای برای تحلیل روند در داده‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی مورد استفاده قرار می‌گیرد. از مهم‌ترین مزایای این آزمون، قابلیت اجرا بر روی سری‌های زمانی است که از توزیع نرمال پیروی نمی‌کنند. هم‌چنین، این روش تحت تأثیر مقادیر پرت و شدید که در برخی سری‌های زمانی وجود دارند، قرار نمی‌گیرد (Lettenmaier et al., 1994). در این آزمون، فرض صفر بر عدم وجود روند و تصادفی بودن داده‌ها دلالت دارد؛ بنابراین رد این فرض و پذیرش فرض مقابل، نشان‌دهنده وجود روند آماری معنی‌دار در سری زمانی مورد مطالعه است.

تعیین ارتباط بین شاخص‌های بوم‌شناختی

به‌منظور بررسی میزان و شدت ارتباط خطی بین شاخص‌های بوم‌شناختی موردمطالعه از آزمون سنجش نرمال بودن مربع کای (x^2) و ضریب همبستگی بین شاخص‌ها استفاده شد. فرض صفر برای آزمون مربع کای مبنی بر نرمال بودن داده‌هاست (رابطه ۶) (Zar, 1972).

رابطه (۶)
$$x^2 = \sum_{t=1}^{m} \frac{(Q_t - E_t)^2}{E_t}$$

که در آن Q_t و E_t به‌ترتیب فراوانی مشاهده‌شده داده‌ها و فراوانی قابل‌انتظار داده‌ها از توزیع نرمال است. آماره x^2 با توجه به درجه آزادی داده‌ها، با جدول مربع کای مقایسه خواهد شد. در جدول مربع کای، مقادیر Phi و Cramer's V از شاخص‌های قدرت ارتباط و اثر در آزمون مربع کای هستند که میزان وابستگی بین متغیرهای اسمی را نشان می‌دهند.

مدل Prophet

مدل Prophet یک چارچوب پیش‌بینی برای داده‌های سری زمانی است که توسط تیم علوم داده فیسبوک توسعه یافته است. این مدل به‌طور ویژه برای سری‌های زمانی با الگوهای فصلی مشخص و داده‌های تاریخی طولانی‌مدت طراحی شده و در برابر نقاط پرت و تغییرات ناگهانی در روند داده‌ها مقاوم است. قابلیت خودکار این مدل، امکان انعطاف‌پذیری بالایی در مواجهه با نوسانات شدید داده‌ها فراهم می‌کند. از این رو، کاربران بدون نگرانی از عدم تطابق داده‌هایشان می‌توانند از این ابزار که استفاده از آن ساده است، بهره‌برداری کنند (Satrio et al., 2021).

عبارت ریاضی زیر مدل Prophet را تعریف می‌کند:

رابطه (۷)
$$y(t) = g(t) + s(t) + h(t) + et$$

که در آن g(t) منحنی رشد خطی یا لجستیک تکه‌ای برای مدل‌سازی غیر تناوبی در سری‌های زمانی است، S(t) تغییرات دوره‌ای، h(t) اثرات غیرفعال است و عبارت e خطا است. Prophet برای یک مدل رگرسیون چندخطی و توابع غیرخطی متناسب است (Toharudin et al., 2020). به‌عنوان مثال یک مدل غیرخطی برای تغییرات غیر تناوبی به شرح زیر تعریف شده است:

رابطه (۸)
$$g(t) = C\ 1 + exp(-k(t - m))$$

که در آن c، k و m ظرفیت حمل، نرخ رشد و پارامتر انحراف هستند.

در نهایت، اثرات فصلی به‌وسیله سری زیر تعریف شده است:

رابطه (۹)
$$s(t) = N \sum n=1 ancos(2\pi nt\ P) + bnsin(2\pi nt\ P)$$

که در آن P دوره اثر فصلی است که برای دوره‌های ماهانه روی ۳۰ تنظیم شده است.

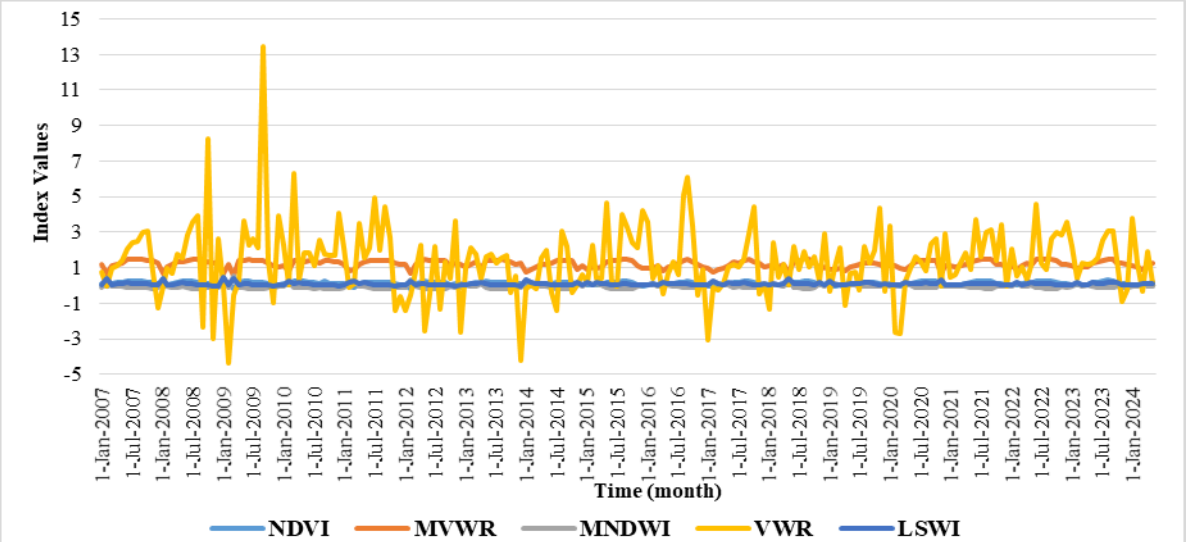
[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.3.9]

نتایج

در این مطالعه به‌منظور تغییرات تالاب بیشه دالان در طی سری زمانی ۲۰۲۴-۲۰۰۷ از شاخص‌های NDVI, VWR, MNDWI, LSWI, MVWR استفاده شد. نتایج مربوط به این شاخص‌ها در شکل (۲) ارائه شده است.

در شاخص پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) ارزش شاخص پوشش گیاهی از ۱- تا ۱+ بوده که ارزش بالاتر آن مبین پوشش گیاهی متراکم‌تر است. بر اساس شکل (۳) در تالاب بیشه دالان در برخی سال‌ها همچون ۲۰۰۹، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ مقادیر منفی برای این شاخص مشاهده می‌شود که در کل نشان‌دهنده این است که در چند سال اول سری زمانی، پوشش گیاهی در تالاب بیشه دالان از تراکم کم‌تری برخوردار بوده است ولی در سال‌های اخیر نسبت به سال‌های ذکر شده پوشش گیاهی بیش‌تری در تالاب بیشه دالان مشاهده می‌شود.



شکل ۳- داده‌های ماهانه شاخص‌ها از سال ۲۰۰۷-۲۰۲۴

Figure 3- Monthly data of the indices from 2007 to 2024

مقادیر شاخص تصحیح‌شده نرمال تفاضلی آب (MNDWI) بین ۱- تا ۱+ است. در این شاخص مقادیر منفی یا نزدیک به صفر به معنای بدون آب است، درحالی‌که مقادیر نزدیک به ۱+ نشان‌دهنده رطوبت بسیار زیاد است. با توجه به شکل (۳) مقادیر این شاخص در طول سری زمانی ۲۰۲۴-۲۰۰۷ به مقدار صفر میل می‌کند که نشان‌دهنده رطوبت کم‌تر تالاب بیشه دالان است. دامنه تغییرات مقادیر شاخص LSWI برای تالاب بیشه دالان بروجرد بین ۰/۴۷۱ تا ۰/۰۲- است و بیش‌ترین مقدار آن نیز در سال ۲۰۰۹ اتفاق افتاده است. شاخص LSWI به رطوبت خاک حساس است. مقدار بالای این شاخص نشان‌دهنده رطوبت خاک بالاست و مقدار پایین این شاخص نشان‌دهنده خشکی یا عدم پوشش گیاهی است. با توجه به این شاخص، رطوبت خاک در سری زمانی مورد بررسی در حال کاهش است. شاخص VWR نشان‌دهنده نسبت پوشش گیاهی به پوشش آب است. در حقیقت این شاخص وضعیت فیزیکی تالاب را بیان می‌کند. بر اساس شکل (۳) بیش‌ترین مقدار شاخص VWR مربوط به سال ۲۰۰۹ است که برابر با ۱۳/۴۷ است، ولی در حالت کلی به‌جز در اوایل دوره، در طول سری زمانی ۲۰۲۴-۲۰۰۷ این شاخص نوسان اندکی دارد. بعد از سال ۲۰۰۹ پس از نوسانات کوتاه روند کلی این شاخص رو به سمت صفر میل کرده است که نشان از کاهش نسبت پوشش گیاهی به پوشش آب است. شاخص MVWR نشان‌دهنده وضعیت فیزیکی تالاب؛ قابلیت پیش‌بینی گذار بحرانی در بوم‌سازگان‌های تالابی است. در این شاخص چنانچه مقادیر مثبت باشند بیانگر وجود پوشش گیاهی و اگر منفی باشند نشان‌دهنده پوشش آب است. با توجه به شکل (۳) تمامی مقادیر به‌دست‌آمده برای شاخص MVWR در طول سری زمانی ۲۰۲۴-۲۰۰۷ مثبت هستند بنابراین بیانگر وجود پوشش گاهی در تالاب بیشه دالان است. ولی کاهش روند کلی دوره مورد بررسی نشان‌دهنده کاهش سلامت پوشش گیاهی است.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.3.9]

بررسی شاخص‌های بوم‌شناختی

آزمون مربع کای (X^2)

در این پژوهش به‌منظور بررسی میزان و شدت ارتباط خطی بین شاخص‌های بوم‌شناختی موردمطالعه از آزمون سنجش نرمال بودن مربع کای (X^2) و ضریب همبستگی بین شاخص‌ها استفاده شد. نتایج این آزمون‌ها برای شاخص‌های NDVI, VWR, MNDWI, LSWI, MVWR در جدول (۱) ارائه شده است. بررسی نتایج آزمون مربع کای ارتباط شاخص MVWR و شاخص VWR را نشان می دهد که امری طبیعی است و بعد از آن بیش‌ترین ارتباط با مربع کای ۰/۴۳ بین شاخص NDVI و MVWR تشخیص داده‌شده است. ضمن این‌که کم‌ترین ارتباط با مربع کای ۰/۰۸۲ بین LSWI و NDVI است. در جدول (۱)، مقادیر Cramer's V در تمامی مقایسه‌ها نزدیک به ۱ است که نشان‌دهنده ارتباط بسیار قوی بین شاخص‌های مورد بررسی است. هم‌چنین مقادیر Phi در همه موارد بالاتر از ۱۱ بوده که حاکی از اثرپذیری قابل توجه متغیرها از یکدیگر است. این تغییرات همسو با نتایج حاصل از سطوح معنی‌داری (p-value) بوده و به‌طور هماهنگ، وجود رابطه معنادار و قوی بین جفت‌شاخص‌ها را تأیید می‌کنند.

جدول ۱- نتایج آزمون مربع کای (X2)

Table 1- Results of the Chi-Square test

		NDVI	MNDWI	LSWI	VWR	MVWR
NDVI	Chi-Square	<0.001	0.263	0.082	0.257	0.43
	Phi	13.304	12.205	11.488	13.304	12.892
	Cramer's V	1	0.923	0.926	1	0.969
MNDWI	Chi-Square	0.263	<0.001	0.374	0.258	0.085
	Phi	12.205	13.299	11.371	13.229	12.878
	Cramer's V	0.923	1	0.916	1	0.973
LSWI	Chi-Square	0.082	0.374	<0.001	0.271	0.102
	Phi	11.488	11.371	12.410	12.410	12.080
	Cramer's V	0.926	0.916	1	1	0.973
VWR	Chi-Square	0.257	0.258	0.271	<0.001	0.246
	Phi	13.304	13.299	12.410	14.422	14
	Cramer's V	1	1	1	1	1
MVWR	Chi-Square	0.43	0.085	0.102	0.246	<0.001
	Phi	12.892	12.878	12.080	14	14
	Cramer's V	0.969	0.973	0.973	0.973	1

ضریب همبستگی کندال

با توجه به جدول (۲) بیش‌ترین همبستگی میان شاخص‌ها، بین دو شاخص NDVI و MVWR برقرار است. در سطح معنی‌داری ۱ درصد، مقدار ضریب همبستگی این دو شاخص برابر با ۰/۷۸۴ به‌دست آمد. این مقدار به‌دلیل این‌که نزدیک به ۱+ است نشان‌دهنده این است که بین این دو شاخص همبستگی مناسبی وجود دارد. که این به معنای وجود ارتباط قوی و مستقیم است، به‌نحوی‌که افزایش یک شاخص افزایش شاخص دیگر را در پی دارد و یا کاهش آن سبب کاهش شاخص دیگر می‌شود. هم‌چنین دو شاخص MVWR و MNDWI با مقدار ضریب همبستگی ۰/۷۷۸- در سطح معنی‌داری ۱ درصد، دارای همبستگی مناسب ولی در جهت عکس هستند. این به معنای وجود یک ارتباط قوی و وارون است که اندازه‌های عددی دو شاخص در جهت عکس یکدیگر رفتار می‌کنند. دو شاخص LSWI و MVWR نیز با دارا بودن مقدار ضریب همبستگی ۰/۰۱- به‌دلیل نزدیک بودن به مقدار صفر، دارای کم‌ترین میزان همبستگی هستند. اندازه‌های عددی نزدیک به صفر نیز به این معناست که تغییرات یک شاخص، اطلاع کمی درباره تغییرات شاخص دیگر در اختیار ما قرار می‌دهد. علاوه‌براین، در شکل (۴) نمودار Heatmap ضرایب همبستگی کندال بین شاخص‌ها ارائه شده است. براساس این نمودار، رنگ‌های قرمزتر نشان‌دهنده همبستگی مثبت قوی‌تر و و رنگ‌های آبی‌تر نشان‌دهنده همبستگی منفی قوی‌تر هستند.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]

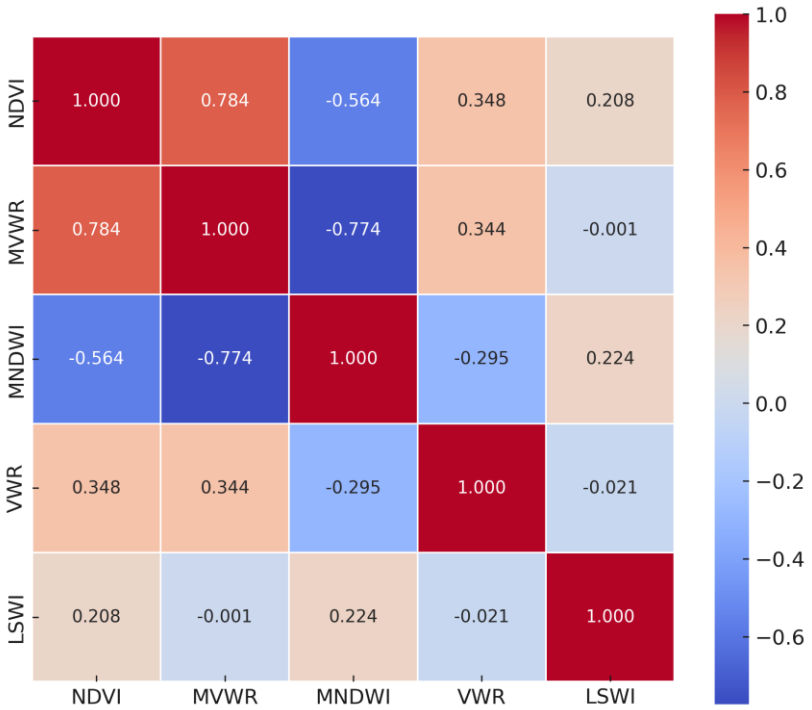
[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.3.9]

جدول ۲- نتایج ضریب همبستگی کندال بین شاخص‌ها

Table 2- Results of Kendall's correlation coefficient between indices

		NDVI	MVWR	MNDWI	VWR	LSWI
NDVI	Correlation Coefficient	1.000	.784**	-.564**	.348**	.208**
	Sig. (2-tailed)	.	.000	.000	.000	.000
	N	209	209	209	209	209
MVWR	Correlation Coefficient	.784**	1.000	-.774**	.344**	-.001
	Sig. (2-tailed)	.000	.	.000	.000	.988
	N	209	209	209	209	209
MNDWI	Correlation Coefficient	-.564**	-.774**	1.000	-.295**	.224**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.	.000	.000
	N	209	209	209	209	209
VWR	Correlation Coefficient	.348**	.344**	-.295**	1.000	-.021
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	.	.657
	N	209	209	209	209	209
LSWI	Correlation Coefficient	.208**	-.001	.224**	-.021	1.000
	Sig. (2-tailed)	.000	.988	.000	.657	.
	N	209	209	209	209	209

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



شکل ۴- نمودار Heatmap ضرایب همبستگی کندال بین شاخص‌ها

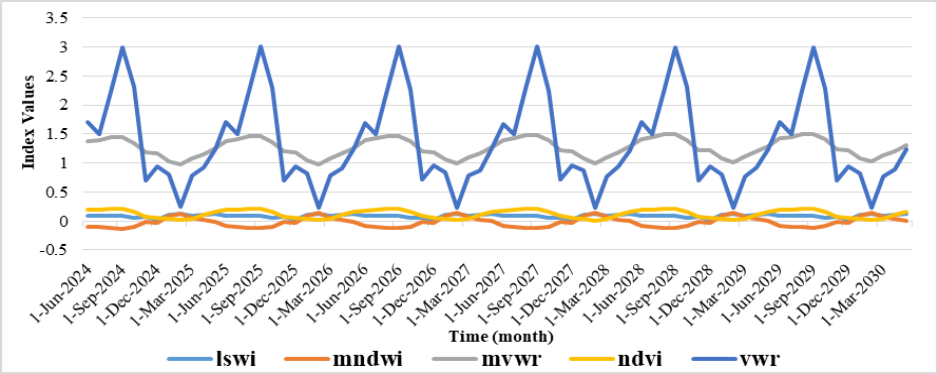
Figure 4- Heatmap of Kendall's correlation coefficient between indices

نتایج مدل فیسبوک پروفت

روند تغییرات شاخص‌های NDVI, VWR, MNDWI, LSWI, MVWR در طول دوره زمانی ۲۰۲۴–۲۰۰۷ با استفاده از مدل فیسبوک پروفت تعیین شد، علاوه‌براین پیش‌بینی روند تغییرات این شاخص‌ها در طی دوره زمانی ۲۰۳۰–۲۰۲۴ نیز انجام شد. در شکل (۵) نتایج پایش روند و پیش‌بینی روند بوم‌شناختی تالاب بیشه دالان با استفاده از مدل فیسبوک پروفت ارائه شده است. با توجه به این شکل، شاخص‌های موردبررسی از سال ۲۰۲۴ – ۲۰۰۷ از روند ثابتی تبعیت می‌کنند به‌گونه‌ای که تغییرات موجود در شاخص به‌صورت ناچیزی کاهشی یا افزایشی است. بر اساس پیش‌بینی صورت گرفته با استفاده از مدل فیسبوک پروفت برای سری زمانی ۲۰۳۰ – ۲۰۲۴ نیز روند مشابهی پیش‌بینی‌شده است به‌گونه‌ای تغییرات ایجادشده در شاخص‌ها برای آینده ناچیز است.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]

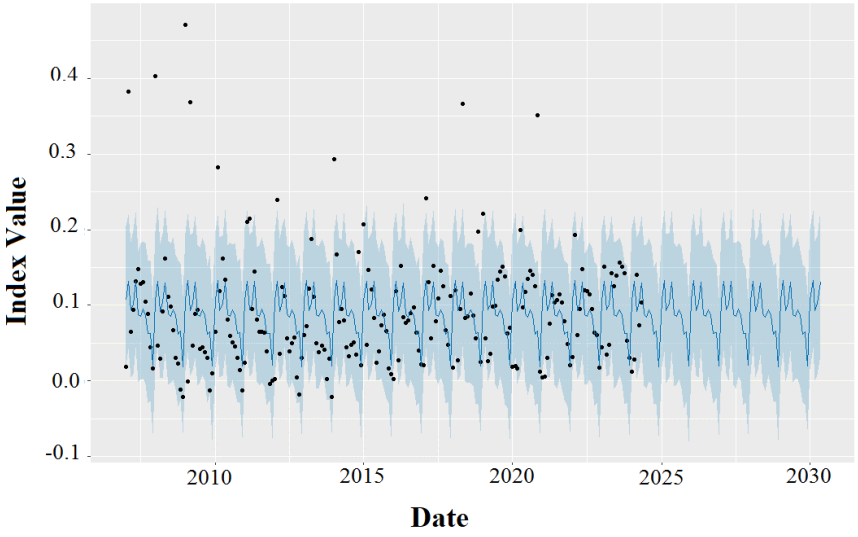
[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.3.9]



شکل ۵- نتایج پیش‌بینی مدل فیسبوک پروفت

Figure 5- Results of the facebook prophet model forecast

از قابلیت‌های مدل فیسبوک پروفت شناسایی روند به‌صورت روزانه هفتگی، فصلی و سالانه است. در شکل (۶) نمودار پیش‌بینی مدل فیسبوک پروفت برای شاخص LSWI به‌صورت سالانه برای تالاب بیشه دالان بروجرد ارائه شده است. بر اساس شکل (۶) نقاط سیاه نشان‌دهنده مقادیر اصلی شاخص LSWI هستند و این نقاط فقط تا سال ۲۰۲۴ دیده می‌شوند. پس از آن نیز مقادیر شاخص LSWI که با استفاده از مدل پیش‌بینی‌شده‌اند مشاهده می‌شوند. بنابراین ناحیه آبی‌رنگ حاکی از مقادیر پیش‌بینی‌شده است و نواحی بالا و پایین آن نیز که آبی کمرنگ هستند، به‌صورت تقریبی حد بالا و حد پایین را نشان می‌دهند. نتایج به‌دست‌آمده از این نمودار نشان‌دهنده روند نسبتاً ثابت شاخص LSWI در سال‌های آینده (۲۰۳۰-۲۰۲۴) در تالاب بیشه دالان بروجرد است.



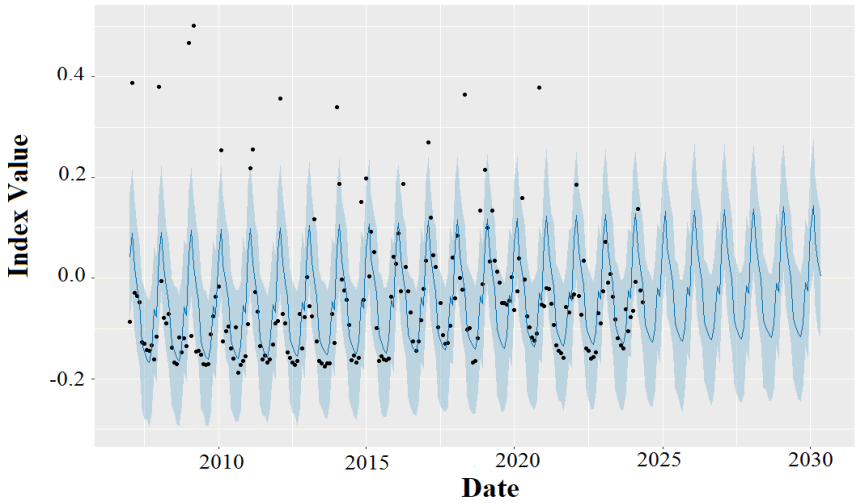
شکل ۶- نمودار پیش‌بینی مدل فیسبوک پروفت برای LSWI

Figure 6- Forecast chart of the facebook prophet model for the LSWI

نتایج حاصل از شکل (۷) نشان‌دهنده روند افزایشی در شاخص MNDWI در سال‌های آینده (۲۰۳۰-۲۰۲۴) در تالاب بیشه دالان بروجرد است. مقادیر این شاخص در طی دوره (۲۰۳۰-۲۰۲۴) افزایش یافته است. مطابق با نتایج به‌دست‌آمده در شکل (۸) در دوره زمانی ۲۰۲۴-۲۰۰۷ این شاخص در ابتدا تا سال ۲۰۱۸ دارای روند کاهشی بوده ولی پس‌ازآن روند افزایشی یافته است و این روند افزایشی در آینده (۲۰۳۰-۲۰۲۴) نیز مشاهده می‌شود. بر اساس شکل (۹) برای شاخص NDVI در دوره زمانی ۲۰۳۰-۲۰۲۴ روند کاهشی اندکی مشاهده می‌شود.

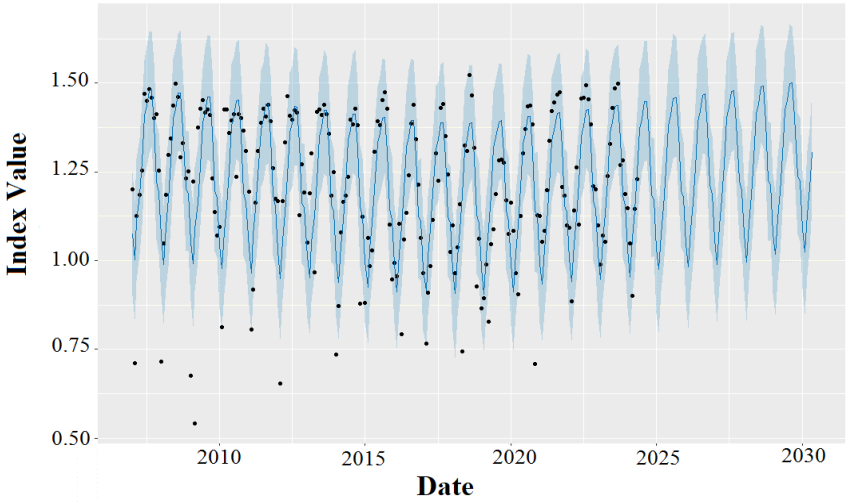
[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.3.9]



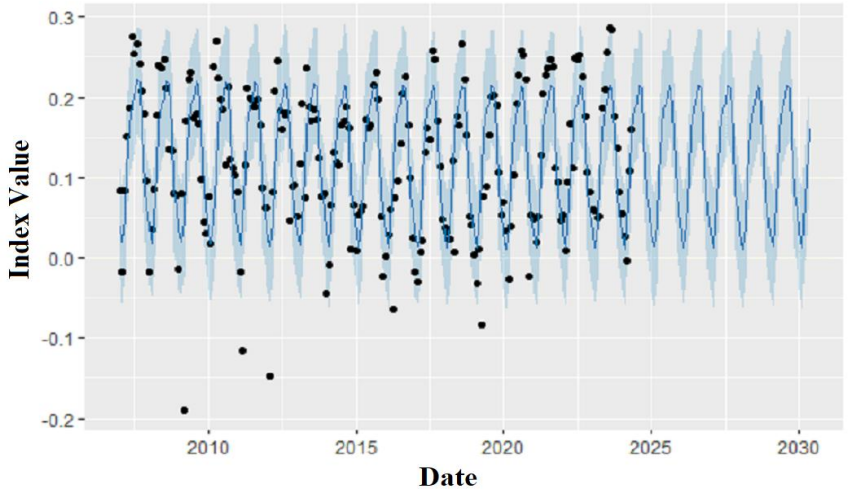
شکل ۷- نمودار پیش‌بینی مدل فیسبوک پروفت برای MNDWI

Figure 7- Forecast chart of the facebook prophet model for the MNDWI



شکل ۸- نمودار پیش‌بینی مدل فیسبوک پروفت برای شاخص MVWR

Figure 8- Forecast chart of the facebook prophet model for the MVWR index



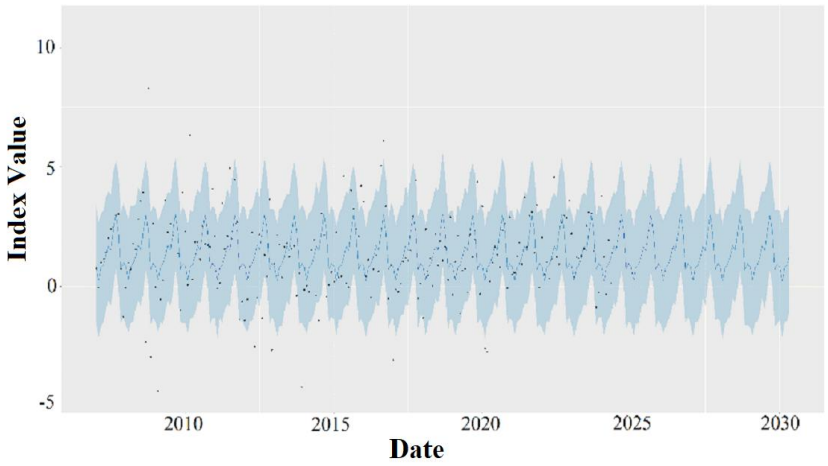
شکل ۹- نمودار پیش‌بینی مدل فیسبوک پروفت برای NDVI

Figure 9- Forecast chart of the facebook prophet model for the NDVI

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]

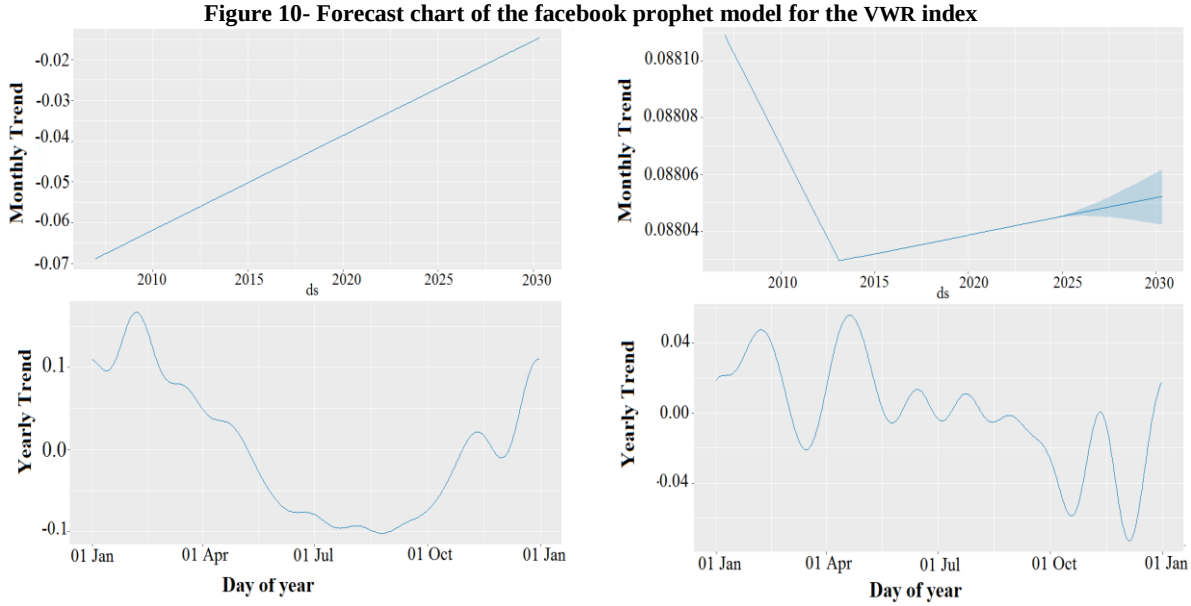
[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.3.9]

در شکل (۱۰) شاخص VWR در دوره زمانی ۲۰۳۰-۲۰۲۴ روند نسبتاً ثابتی را در پیش می‌گیرد. در شکل (۱۱) روند تغییرات سالانه و ماهانه شاخص‌های NDVI, VWR, MNDWI, LSWI, MVWR با استفاده از مدل فیسبوک پروفت برای تالاب بیشه دالان بروجرد نشان داده‌شده است. مطابق با شکل (۱۱-الف) مطابق از ابتدای سال ۲۰۰۷ تا سال ۲۰۱۳ روند نزولی شاخص LSWI را با یک شیب تند نشان می‌دهد. ولی از سال ۲۰۱۳ تا سال ۲۰۳۰ میزان شاخص LSWI روند صعودی دارد و این روند صعودی با شیب ملایمی انجام می‌شود. ناحیه آبی رنگی که از سال ۲۰۲۴ تا ۲۰۳۰ نشان داده‌شده است حاکی از مقادیر پیش‌بینی‌شده است و نواحی بالا و پایین آن نیز که آبی کمرنگ هستند، به‌صورت تقریبی حد بالا و حد پایین را نشان می‌دهند. در قسمت دوم شکل (۱۱-الف)، نمودار ماهانه شاخص LSWI ارائه شده است. بر این اساس بیش‌ترین مقدار شاخص LSWI مربوط به اواخر ماه آوریل و اویل ماه می (زمستان و پاییز) است. کم‌ترین مقدار آن نیز مربوط به ماه دسامبر (تابستان و پاییز) است. در شکل (۱۱-ب) شاخص MNDWI در طی دوره ۲۰۳۰ – ۲۰۰۷ دارای روند صعودی است. بر اساس قسمت دوم شکل (۱۱-ب)، بیش‌ترین مقدار شاخص MNDWI مربوط به ماه فوریه (زمستان) است. کم‌ترین مقدار آن نیز مربوط به ماه دسامبر (تابستان) است.



شکل ۱۰- نمودار پیش‌بینی مدل فیسبوک پروفت برای شاخص VWR

Figure 10- Forecast chart of the facebook prophet model for the VWR index



ب) شاخص MNDWI

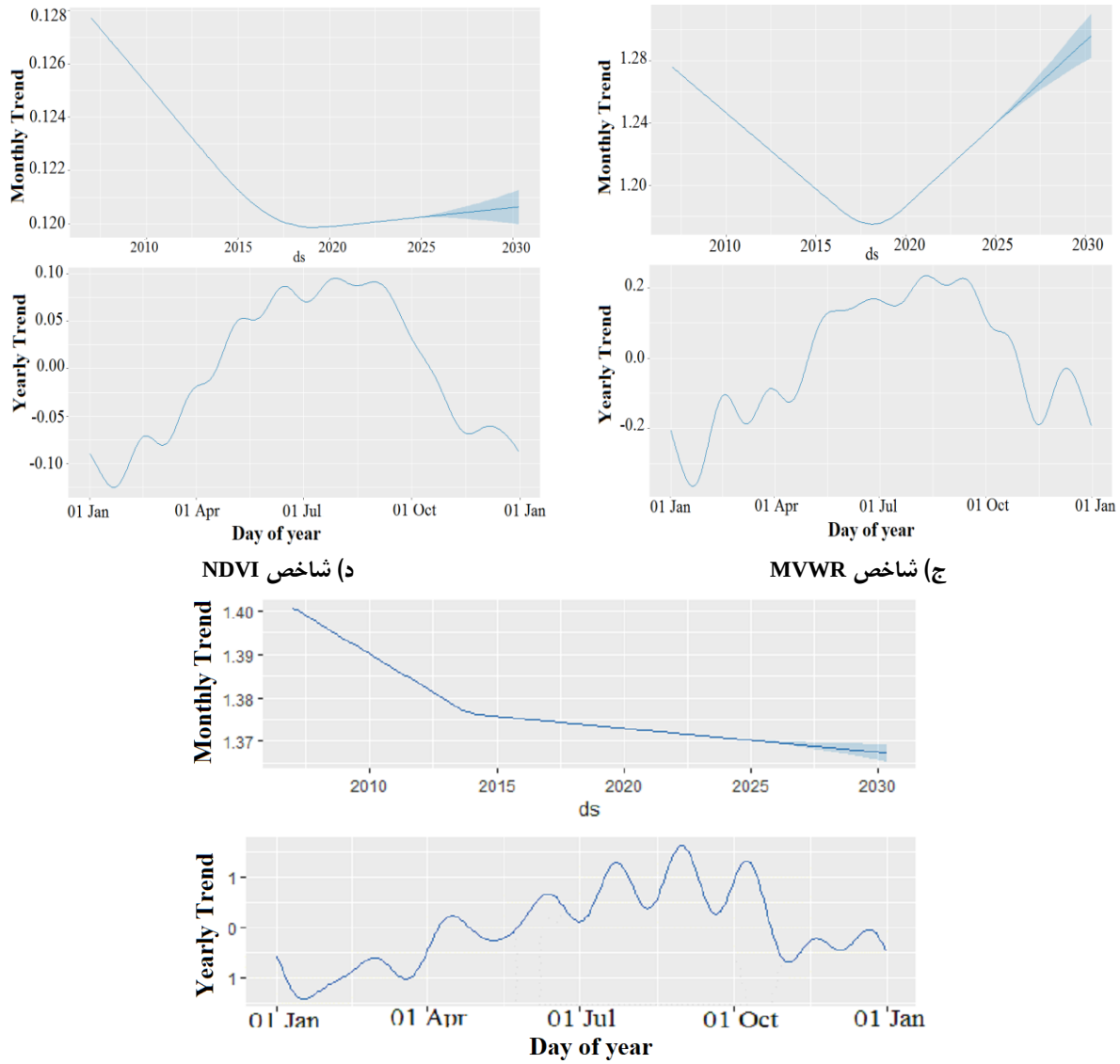
الف) شاخص LSWI

شکل ۱۱- روند تغییرات سالانه و ماهانه شاخص‌های بوم‌شناختی با مدل فیسبوک پروفت

Figure 11- Annual and monthly trends of ecological indicators with the facebook prophet model

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.3.9]



د) شاخص NDVI

ج) شاخص MVWR

ر) ماهانه شاخص VWR

ادامه شکل ۱۱- روند تغییرات سالانه و ماهانه شاخص‌های بوم‌شناختی با مدل فیسبوک پروفت

Continued Figure 11- Annual and monthly trends of ecological indicators with the facebook prophet model

شکل (۱۱–ج) از ابتدای سال ۲۰۰۷ تا سال ۲۰۱۷ روند نزولی شاخص MVWR را با یک شیب تند نشان می‌دهد. ولی از سال ۲۰۱۸ تا سال ۲۰۳۰ میزان شاخص MVWR روند صعودی دارد و این روند صعودی نیز با شیب تندی انجام می‌شود. در قسمت دوم شکل (۱۰–ج)، بیش‌ترین مقدار شاخص MVWR مربوط به ماه‌های اوت و سپتامبر (ماه‌های زمستان) است. کم‌ترین مقدار آن نیز مربوط به ماه فوریه (ماه‌های تابستان) است.

مطابق با شکل (۱۱–د) از ابتدای سال ۲۰۰۷ تا سال ۲۰۱۷ روند نزولی شاخص NDVI با یک شیب تند مشاهده می‌شود. اما از سال ۲۰۱۸ تا سال ۲۰۲۰ میزان شاخص NDVI ثابت است و پس از آن روند صعودی دارد و این روند صعودی نیز با شیب بسیار کمی انجام می‌شود. در قسمت دوم شکل (۱۱–د)، نمودار ماهانه شاخص NDVI ارائه شده است. بر این اساس بیش‌ترین مقدار شاخص NDVI مربوط به ماه‌های اوت و سپتامبر (بهار و تابستان) است. کم‌ترین مقدار آن نیز مربوط به ماه فوریه (پاییز و زمستان) است. هم‌چنین شکل (۱۱–ر) نیز از ابتدای سال ۲۰۰۷ تا سال ۲۰۱۴ روند نزولی شاخص VWR را با یک شیب تند نشان می‌دهد. اما از سال ۲۰۱۸ تا سال ۲۰۳۰ میزان شاخص VWR باز هم با روند نزولی مواجه است اما این روند با شیب ملایمی همراه است. در قسمت دوم شکل (۱۱–ر)، بیش‌ترین مقدار شاخص VWR مربوط به ماه سپتامبر (زمستان و پاییز) است. کم‌ترین مقدار آن نیز مربوط به ماه فوریه(بهار و تابستان) است.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.3.9]

بحث

در این مطالعه، تغییرات بوم‌شناختی تالاب بیشه دالان با استفاده از شاخص‌های NDVI، VWR، MNDWI، LSWI و MVWR و بر پایه تصاویر ماهواره‌ای لندست (۵، ۷ و ۸) در بازه زمانی ۲۰۲۴–۲۰۰۷ مورد پایش و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که شاخص NDVI در سال‌های اولیه از ترند کم‌تراکمی برخوردار بوده، اما در سال‌های اخیر، بهبود نسبی در پوشش گیاهی تالاب مشاهده شده است. از سوی دیگر، شاخص‌های MNDWI و LSWI که بیانگر وضعیت رطوبتی هستند، روندی کاهشی را در کل دوره نشان می‌دهند. این موضوع حاکی از کاهش تدریجی رطوبت خاک و منابع آبی تالاب است.

شاخص VWR نیز به‌جز در ابتدای دوره، نوسانات محدودی داشته و پس از سال ۲۰۰۹، گرایش به سمت مقادیر نزدیک به صفر نشان می‌دهد که کاهش نسبت پوشش گیاهی به آب را تأیید می‌کند. هم‌چنین، مقادیر مثبت شاخص MVWR در طول دوره، نشان از تداوم وجود پوشش گیاهی در محدوده تالاب دارد. از لحاظ مقایسه با مطالعات پیشین، کاهش کلی شاخص‌های پوشش گیاهی و آبی در تالاب بیشه دالان، با یافته‌های سیدموسوی و آخوندزاده (۱۴۰۰) همسو است که بر افول شاخص‌های بوم‌شناختی در تالاب‌های ایران تأکید دارند. در مقابل، این نتایج با گزارش‌های حاجیان و همکاران (۱۴۰۰) و اسکندری دامنه و قاسمی آریان (۱۴۰۳) که بهبود یا ثبات شرایط را در برخی تالاب‌ها نشان داده‌اند، همخوانی ندارد. به نظر می‌رسد این اختلاف ناشی از تفاوت در دوره‌های مطالعاتی، شرایط اقلیمی خاص منطقه و هم‌چنین تأثیر بیش‌تر عوامل انسانی در محدوده مورد مطالعه حاضر باشد.

شواهد این پژوهش از جمله توسعه اراضی کشاورزی، کاهش سطح آب‌های زیرزمینی و تغییر کاربری حاشیه تالاب، نشان می‌دهد که عوامل انسانی نقش محوری در کاهش روند بوم‌شناختی تالاب بیشه دالان داشته‌اند. این یافته با نتیجه پژوهش اسکندری دامنه و قاسمی آریان (۱۴۰۳) در خصوص تأثیر فعالیت‌های انسانی بر تخریب تالاب‌ها همسو است. هم‌چنین، پیش‌بینی روند شاخص‌ها تا سال ۲۰۳۰ با استفاده از مدل فیسبوک پروفت انجام شد. نتایج پیش‌بینی حاکی از تداوم روندهای کنونی است و تغییرات محسوسی در شاخص‌ها برای آینده نزدیک پیش‌بینی نمی‌شود. تحلیل فصلی مبتنی بر مدل نیز نشان داد که بیش‌ترین مقدار شاخص‌های LSWI، MNDWI و MVWR در فصل زمستان و کم‌ترین مقدار آن‌ها در تابستان مشاهده می‌شود. در مقابل، شاخص NDVI در بهار و تابستان به اوج خود رسیده و در پاییز و زمستان کاهش می‌یابد. شاخص VWR نیز بیش‌ترین مقدار را در زمستان و پاییز و کم‌ترین مقدار را در بهار و تابستان نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

بر اساس تحلیل داده‌های سنجش از دور طی دوره ۲۰۲۴–۲۰۰۷، روند تغییرات بوم‌شناختی تالاب بیشه دالان نشان‌دهنده افت تدریجی و تغییرات منفی سلامت این بوم‌سازگان پس از سال ۲۰۰۹ است. مشاهدات میدانی و بررسی‌های انجام شده، احداث کانال‌های آبی در حاشیه تالاب را در سال‌های اولیه دوره مطالعاتی تأیید می‌کند که به نظر می‌رسد نقش تعیین‌کننده‌ای در تغییر روند شاخص‌های بوم‌شناختی داشته است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که فعالیت‌های انسانی از جمله مدیریت نامناسب منابع آب، عامل اصلی کاهش یکپارچگی بوم‌شناختی تالاب بوده است. هم‌چنین، پیش‌بینی‌های انجام‌شده با مدل فیسبوک پروفت تا سال ۲۰۳۰ حاکی از تداوم این روند با تغییرات محدود در آینده نزدیک است. این یافته‌ها بر ضرورت اجرای راهبردهای حفاظتی و مدیریت پایدار منابع آب در منطقه تأکید می‌کنند. پیشنهاد می‌شود پروژه‌های احیای تالاب با بهره‌گیری از روش‌های بومی و سازگار با محیط‌زیست منطقه طراحی و اجرا شوند. هم‌چنین، بررسی تأثیر پدیده تغییر اقلیم بر پویایی بوم‌شناختی تالاب بیشه دالان به عنوان موضوعی کلیدی برای پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌شود.

ملاحظات اخلاقی

دسترسی به داده‌ها: داده‌ها و نتایج استفاده شده در این پژوهش از طریق مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

مشارکت نویسندگان: **علی حقی‌زاده، حافظ میرزاپور و لیلا قاسمی:** بخش‌های مختلف مقاله توسط نام‌بردگان انجام و نگاشته شده است.

تضاد منافع نویسندگان: نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

سپاس‌گزاری: نویسندگان این مقاله از دانشگاه لرستان صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایند.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.3.9]

منابع

۱. اصغری سراسکانرود، صیاد، جلیلیان، روح‌اله، پیروزی‌نژاد، نوشین، مددی، عقیل، و یادگاری، میلاد. (۱۳۹۹). ارزیابی شاخص‌های استخراج آب با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست (مطالعه موردی: رودخانه گاماسیاب کرمانشاه). *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۲۰(۵۸)، ۵۳-۷۰. doi:10.29252/jgs.20.58.53

۲. حاجیان، کیان، بیرقدار کشکولی، امید، محبوبی صوفیانی، نصرالله، و پورمنافی، سعید. (۱۴۰۰). ارزیابی روند تغییرات بوم‌شناختی تالاب شادگان با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس (از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۷). *بوم‌شناسی کاربردی*، ۱۰(۱)، ۷۸-۶۵. doi:10.47176/ijae.10.1.13111

۳. سفیدیان، سیما، سلمان ماهینی، عبدالرسول، میرکریمی، سید حامد، و حسن عباسی، نوروزعلی. (۱۳۹۴). طبقه‌بندی پوشش گیاهی بر اساس شاخص تالابی به کمک سنجش‌ازدور و نمونه‌برداری زمینی (مطالعه موردی: تالاب بین‌المللی آلاگل). *اکوبیولوژی تالاب*، ۷(۲۴)، ۵-۲۱. https://sid.ir/paper/174896/fa

۴. سید موسوی، سید مرتضی، و آخوندزاده هنزائی، مهدی. (۱۴۰۰). پایش و پیش‌بینی تغییرات پهنه آبی تالاب‌ها با استفاده از یک سیستم هوشمند عصبی-فازی مبتنی بر داده‌های سامانه گوگل ارث انجین (مطالعه موردی تالاب انزلی، ۲۰۱۹-۲۰۰۰). *مهندسی فناوری اطلاعات مکانی*، ۹(۴)، ۴۲-۱۹. doi:10.52547/jgit.9.4.19

۵. مهدی‌نسب، مهدی. (۱۴۰۲). بررسی تنوع گونه‌ای پرندگان تالاب بیشه دالان بروجرد. *محیط‌زیست جانوری*، ۱۵(۱)، بهار ۱۴۰۲.

۶. میرزاپور، حافظ، حقی‌زاده، علی، طهماسبی‌پور، ناصر، و زینی‌وند، حسین. (۱۳۹۵). مقایسه کارایی مدل‌های CA-Markov، Geomod و LCM در پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی حوزه آبخیز بادآور نورآباد، لرستان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه لرستان، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، سال ۱۳۹۵، ۱۱۱صفحه.

References

1. Alibakhshi, S., Groen, T. A., Rautiainen, M., & Naimi, B. (2017). Remotely-sensed early warning signals of a critical transition in a wetland ecosystem. *Remote Sensing*, 9(4), 352. doi:10.3390/rs9040352
2. Asghari, S., Jalilyan, R., Pirozineghad, N., Madadi, A., & Yadeghari, M. (2020). Evaluation of water extraction indices using landsat satellite images (Case study: Gamasiab River of Kermanshah). *Journal of the Geological Society of Iran*, 20(58), 53-70. doi:10.29252/jgs.20.58.53 [In Persian]
3. Firozjaei, M. K., Fathololoumi, S., Weng, Q., Kiavarz, M., & Alavipanah, S. K. (2020). Remotely sensed urban surface ecological index (RSUSEI): an analytical framework for assessing the surface ecological status in urban environments. *Remote Sensing*, 12(12), 2029. doi:10.3390/rs12122029
4. Hajian, K., Beyraghdar Kashkooli, O., Mahboobi Soofiani, N., & Pourmanafi, S. (2021). Evaluating the trend of ecological changes in shadegan wetland using MODIS imagery (2003-2017). *Iranian Journal of Applied Ecology*, 10(1), 65-78. doi:10.47176/ijae.10.1.13111 [In Persian]
5. He, Y., & Xie, H. (2019). Exploring the spatiotemporal changes of ecological carrying capacity for regional sustainable development based on GIS: A case study of Nanchang City. *Technological Forecasting and Social Change*, 148, 119720. 10.1016/j.techfore.2019.119720
6. Hou, K., Tao, W., Wang, L., & Li, X. (2020). Study on hierarchical transformation mechanisms of regional ecological vulnerability and its applicability. *Ecological Indicators*, 114, 106343. doi:10.1016/j.ecolind.2020.106343
7. Kim, K. G., Lee, H., & Lee, D. H. (2011). Wetland restoration to enhance biodiversity in urban areas: a comparative analysis. *Landscape and Ecological Engineering*, 7, 27-32. doi:10.1007/s11355-010-0144-x
8. Larson, K. L., Nelson, K. C., Samples, S., Hall, S., Bettez, N., Cavender-Bares, J., Groffman, P., Grove, M., Heffernan, J., & Hobbie, S. E. (2016). Ecosystem services in managing residential landscapes: Priorities, value dimensions, and cross-regional patterns. *Urban Ecosystems*, 19, 95-113. doi:10.1007/s11252-015-0477-1
9. Lettenmaier, D. P., Wood, E. F., & Wallis, J. R. (1994). Hydro-climatological Trends in the Continental United States, 1948–88. *Journal of Climate*, 7, 586-607. doi:10.1175/1520-0442(1994)007<0586:HCTITC>2.0.CO;2
10. Li, W., Du, Z., Ling, F., Zhou, D., Wang, H., Gui, Y., Sun, B., & Zhang, X. (2013). A comparison of land surface water mapping using the normalized difference water index from TM, ETM+ and ALI. *Remote Sensing*, 5, 5530-5549. doi:10.3390/rs5115530
11. Libiseller, C., & Grimvall, A. (2002). Performance of partial Mann–Kendall tests for trend detection in the presence of covariates. *Environmetrics*, 13(1), 71-84. doi:10.1002/env.507
12. Liu, Q., Wu, J., & Li, L. (2018). Ecological environment monitoring for sustainable development goals in the Belt and Road region. *Journal of Remote Sensing*, 22, 686-708.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.3.9]

13. Liu, Y., Yue, H., Meng, J., Zhang, F., & Cui, Q. (2018). Ecological environment assessment for the main cities along the Silk Road Economic Belt (China Section) based on remote sensing. *The Administration and Technique of Environmental Monitoring*, 30, 35-39, 48.
14. Mahdinasab, M. (2023). Study of Bird Species Diversity in the Biseh Dalan Wetland of Borujerd. *Journal of Animal Environment*, 15(1). [In Persian]
15. Mirzapur, H., Haghi Zadeh, A., Tahmasbi Pour, N., & Zeynivand, H. (2016). Comparison of the efficiency of CA-Markov, Geomod, and LCM models in predicting land use changes in the Badavur Watershed of Noorabad, Lorestan. Master's Thesis, Lorestan University, Faculty of Agriculture and Natural Resources, 111 pages. [In Persian]
16. Mohammadi, A., Costelloe, J. F., & Ryu, D. (2017). Application of time series of remotely sensed normalized difference water, vegetation and moisture indices in characterizing flood dynamics of large-scale arid zone floodplains. *Remote Sensing of Environment*, 190, 70-82. doi:10.1016/j.rse.2016.12.003
17. Mozumder, C., Tripathi, N., & Tipdecho, T. (2014). Ecosystem evaluation (1989–2012) of Ramsar wetland Deepor Beel using satellite-derived indices. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186, 7909-7927. doi:10.1007/s10661-014-3976-2
18. Piedallu, C., Chéret, V., Denux, J. P., Perez, V., Azcona, J. S., & Seynave, I. (2019). Soil and climate differently impact NDVI patterns according to the season and the stand type. *Science of the Total Environment*, 651, 2874-2885. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.10.064
19. Reza, M. I. H., & Abdullah, S. A. (2011). Regional index of ecological integrity: A need for sustainable management of natural resources. *Ecological Indicators*, 11, 220-229. doi:10.1016/j.ecolind.2010.04.008
20. Rokni, K., Ahmad, A., Selamat, A., & Hazini, S. (2014). Water feature extraction and change detection using multitemporal Landsat imagery. *Remote Sensing*, 6, 4173-4189. 10.3390/rs6054173
21. Satrio, C. B. A., Darmawan, W., Nadia, B. U., & Hanafiah, N. (2021). Time series analysis and forecasting of coronavirus disease in Indonesia using ARIMA model and PROPHET. *Procedia Computer Science*, 179, 524-532. doi:10.1016/j.procs.2021.01.036
22. Sefidian, S., Salman Mahini, A., Mirkarimi, S. H., & Hassan Abbasi, N. (2015). Classification of vegetation cover based on wetland index using remote sensing and ground sampling: Case study of the International Alagol Wetland. *Journal of Wetland Ecobiology*, 7(24), 5-21. URL: https://sid.ir/paper/174896/fa [In Persian]
23. Serrano, A., Mateos, V. L., & Garcia, J. A. (1999). Trend analysis of monthly precipitation over the Iberian Peninsula for the period 1921–1995. *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*, 24, 85-90. doi:10.1016/S1464-1909(98)00016-3
24. Seyed Mousavi, S. M., & Akhoondzadeh Hanzaei, M. (2022). Monitoring Prediction of the changes in water zone of wetlands using an intelligent neural-fuzzy system based on data from Google Earth Engine system (Case study of Anzali Wetland, 2000-2019). *Journal of Geomatics Science and Technology*, 9(4), 19-42. doi:10.52547/jgit.9.4.19 [In Persian]
25. Shan, W., Jin, X., Ren, J., Wang, Y., Xu, Z., & Fan, Y. (2019). Ecological environment quality assessment based on remote sensing data for land consolidation. *Journal of Cleaner Production*, 239, 118126. doi:10.1016/j.jclepro.2019.118126
26. Toharudin, T., Pontoh, R. S., Caraka, R. E., Zahroh, S., Lee, Y., & Chen, R. C. (2020). Employing long short-term memory and Facebook prophet model in air temperature forecasting. *Communications in Statistics - Simulation and Computation*, 1-24. doi:10.1080/03610918.2020.1854305
27. Wu, J., Wang, X., Zhong, B., Yang, A., Jue, K., Wu, J., Zhang, L., Xu, W., Wu, S., & Zhang, N. (2020). Ecological environment assessment for Greater Mekong Subregion based on pressure-state-response framework by remote sensing. *Ecological Indicators*, 117, 106521. doi:10.1016/j.ecolind.2020.106521
28. Xu, C., Jiang, W., Huang, Q., & Wang, Y. (2020). Ecosystem services response to rural-urban transitions in coastal and island cities: A comparison between Shenzhen and Hong Kong, China. *Journal of Cleaner Production*, 121033. doi:10.1016/j.jclepro.2020.121033
29. Yu, K., & Hu, C. (2013). Changes in vegetative coverage of the Hongze Lake national wetland nature reserve: a decade-long assessment using MODIS medium-resolution data. *Journal of Applied Remote Sensing*, 7(1), 073589. doi:10.1117/1.JRS.7.073589
30. Yuan, B., Fu, L., Zou, Y., Zhang, S., Chen, X., & Li, F. (2021). Spatiotemporal change detection of ecological quality and the associated affecting factors in Dongting Lake Basin, based on RSEI. *Journal of Cleaner Production*, 302, 126995. doi:10.1016/j.jclepro.2021.126995
31. Yuan, Y., Wu, S., Yu, Y., Tong, G., Mo, L., Yan, D., & Li, F. (2018). Spatiotemporal interaction between ecosystem services and urbanization: Case study of Nanjing City, China. *Ecological Indicators*, 95, 917-929. doi:10.1016/j.ecolind.2018.07.048

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.3.9]

32. Zar, J. H. (1972). Significance testing of the Spearman rank correlation coefficient. *Journal of the American Statistical Association*, 67(339), 578-580. doi:10.1080/01621459.1972.10481261
33. Zhang, Z., Fan, Y., & Jiao, Z. (2023). Wetland ecological index and assessment of spatial-temporal changes of wetland ecological integrity. *Science of the Total Environment*, 862, 160741. 10.1016/j.scitotenv.2022.160741
34. Zhao, B., Yan, Y., Guo, H., He, M., Gu, Y., & Li, B. (2009). Monitoring rapid vegetation succession in estuarine wetland using time series MODIS-based indicators: an application in the Yangtze River Delta area. *Ecological Indicators*, 9(2), 346-356. doi:10.1016/j.ecolind.2008.05.009

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.4.3.9]