

Original scientific paper

UDC 528.8(1-751.3),,2017/2024”  
<https://doi.org/10.2298/GSGD2502537R>

Received: September 8, 2025

Corrected: October 24, 2025

Accepted: November 5, 2025

**Nemanja Ristić<sup>1\*</sup>, Anđela Ratković\*, Jovana Ratković\***

*\*\* University of Belgrade, Faculty of Geography, Belgrade, Serbia*

## **ASSESSMENT OF VEGETATION DEGRADATION IN THE SPECIAL NATURE RESERVE “BRZANSKO MORAVIŠTE” USING SATELLITE VEGETATION INDICES (2017–2024)**

**Abstract:** This paper presents an assessment of vegetation degradation in the Special Nature Reserve “Brzansko Moravište” using Sentinel-2 satellite imagery for the period 2017–2024. Vegetation condition was analyzed by calculating the NDVI, NDMI, and NDWI indices, as well as indicators such as the Vegetation Condition Index (VCI) and the Land Degradation Index (LDI). All indices were derived by processing satellite images in the QGIS software. The analysis was carried out seasonally, for four characteristic periods within the year (March, May, July, and September), while interannual changes enabled insight into the annual state of vegetation. The results indicate that the vegetation cover is generally stable with a slight positive trend, but with pronounced interannual variations. The most favorable condition was recorded in 2018, while 2022 was identified as a critical year with the lowest VCI values and the highest spatial heterogeneity, indicating increased vegetation stress. NDMI confirmed periodic moisture deficits, especially during the summer months, while NDWI indicated limited dynamics of surface waters. LDI showed that, relative to the baseline year 2017, there was an initial decline in vitality, followed by partial stabilization in the later period. A combined risk map based on LDI and VCI identified localized high-risk zones requiring priority management measures. The research confirms that the integration of multiple vegetation indices represents a reliable framework for monitoring ecological changes and provides a basis for effective conservation planning and sustainable management of protected areas.

**Keywords:** Special Nature Reserve “Brzansko Moravište”, vegetation indices, Sentinel-2, risk maps, NDVI, VCI, LDI

### **Introduction**

Vegetation represents one of the most important indicators of environmental status, as it directly reflects the influence of natural and anthropogenic factors on ecosystems. The impacts of

---

<sup>1</sup> nemanjaristico0@gmail.com (corresponding author)

Nemanja Ristić (<https://orcid.org/0009-0009-4710-9381>)

climate change and human activities on ecosystems are becoming increasingly intensive, and thus the conservation of protected areas requires special attention and care in order to preserve these landscapes.

Anthropogenic activities constantly pose threats by fostering various forms of degradation caused by changes in land use, pollution, and other land management practices. Land degradation reduces soil quality, i.e., it affects one or more of its functions (Belanović Simić, 2022).

The subject of nature conservation in Serbia is the protection of biodiversity (species, habitats, and ecosystems), the preservation of forest, wetland, and aquatic ecosystems and habitats within agroecosystems, the conservation of genetic diversity, speleological objects, and the protection of landscapes (Ministarstvo za zaštitu životne sredine Republike Srbije, 2009).

One of the last preserved wetland habitats, an old meander of the Great Morava River near the village of Brzan, has been proclaimed a protected area of great importance, i.e., a Category II protected area, designated as the Special Nature Reserve “Brzansko Moravište.” This reserve was placed under protection as an area of special significance for wetland bird conservation because it forms part of a migratory corridor, while also providing nesting conditions for many rare and protected bird species (Vlada Republike Srbije, 2019/2022).

The basic unit of nature protection in Serbia is the protected natural asset. Protected areas are those with significant geological, biological, ecosystem, and/or landscape diversity, and for that reason they are declared protected by a legal act (Đurđić, 2015). One such protected area is the SNR “Brzansko Moravište.” It represents an oxbow lake, formed by the natural cutoff of a meander. The reserve is of high importance for bird conservation, as it constitutes a part of a migratory corridor, while also providing nesting conditions for many rare and protected bird species. A total of 59 strictly protected bird species regularly occur in this area, 29 of which breed at the site. Furthermore, Brzansko Moravište is of exceptional importance as a reproductive center for several amphibian and reptile species (Ministarstvo za zaštitu životne sredine Republike Srbije, 2023).

However, due to changes in water regime, intensive agricultural activity, and potential climate change, Brzansko Moravište has become increasingly vulnerable to degradation of its vegetation cover. Because of its importance for the conservation of birds, amphibians, and reptiles, it is necessary to conduct a detailed spatial analysis of vegetation condition in order to identify critical zones.

In this study, multi-year satellite images and vegetation indices such as NDVI, NDWI, NDMI, and SAVI, as well as condition and degradation indices (VCI and LDI), were applied to assess the degree of vegetation degradation during the period 2017–2024 in the Special Nature Reserve “Brzansko Moravište.” This approach enables monitoring of degradation dynamics and provides guidelines for ecosystem management and conservation within protected areas.

## **Materials and Methods**

### ***Study Area***

The Special Nature Reserve “Brzansko Moravište” is located in central Serbia, within the Pomoravlje District. Administratively, it belongs to the City of Jagodina, since most of its territory lies within the cadastral municipality of Miloševo. Jagodina is the largest settlement in the Great Morava River basin and the administrative center of the Pomoravlje

District, with a favorable geographical position and historical significance in the region (Valjarević et al., 2020).

Within the area of the Special Nature Reserve “Brzansko Moravište,” it is prohibited to carry out activities that may damage populations, communities, and habitats of plant and animal species, disrupt natural processes and ecological integrity, or significantly and adversely affect the aesthetic and cultural-historical characteristics of the area and the environment. In zones designated under the second level of protection, active conservation measures are implemented to preserve and enhance natural values, particularly through the management of wild plant and animal populations, maintenance and improvement of natural habitats, and the traditional use of natural resources.

A smaller part of the reserve extends across the administrative border into the municipality of Batočina, within the cadastral municipality of Brzan. Thus, the reserve is situated at the junction between two municipalities.

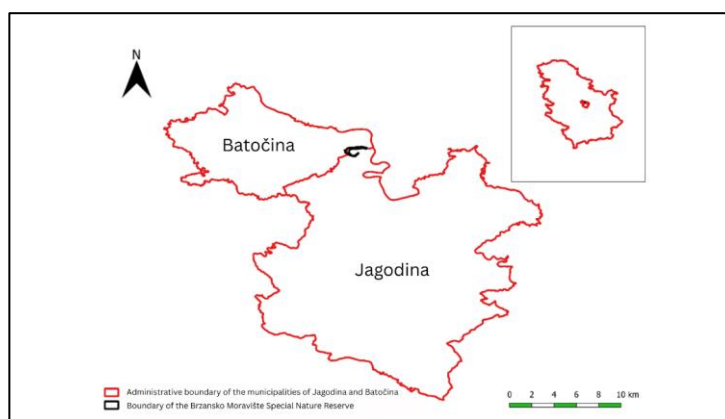


Fig 1. Geographic location of the Special Nature Reserve “Brzansko Moravište”

The Great Morava is the main river of central Serbia and plays a significant role in the formation of fertile valleys and wetland habitats. Its valley provides natural resources and water surfaces that support biodiversity and agricultural development in the surrounding area. The favorable relief and fertile soils along the Great Morava Valley enable sustainable land use, while the river and its tributaries represent a key element for the preservation of aquatic ecosystems and natural habitats (Valjarević et al., 2020).

“Moravišta” are river lakes, arcuate in shape, which at the beginning of their formation retain the width and depth of the Morava’s riverbed. Brzansko Moravište is an oxbow lake formed by the natural cutoff of a meander, with an estimated age of over 130 years. It also has two temporary tributaries, Grabovik and Kovanluk, which carry water only periodically, during the wet season or occasionally after stronger and prolonged rainfall (Ministarstvo za zaštitu životne sredine Republike Srbije, 2023).

The Pomoravlje area around Batočina belongs to the Great Morava climatic region. This area is characterized by a pronounced continental climate with dry and very hot summers, while winters can be extremely cold. Average annual temperatures in the region are around 11 °C. Precipitation levels are relatively low and do not exceed 650 mm (Ministarstvo za zaštitu životne sredine Republike Srbije, 2023).

The oxbow lake is surrounded by arable fields, with willows growing along its edges. The most significant changes in the past decades relate to substantial hydrological alterations, primarily the general lowering of water levels. Once well-developed marsh and aquatic vegetation has now practically disappeared. This can be explained by the fact that the hydrological regime of the lake has been significantly altered (Ministarstvo za zaštitu životne sredine Republike Srbije, 2023).

What was once the main pond in the southern part of the oxbow has now turned into a shallow area that completely dries out in summer. A somewhat larger water mass remains in the rest of the oxbow, but during very dry summers, it also completely dries out. This fact has led to the near absence of aquatic vegetation, with only the species *Salvinia natans* being recorded. A total of nine species of amphibians and reptiles have been documented in the Brzansko Moravište area (five amphibian species and four reptile species) (Ministarstvo za zaštitu životne sredine Republike Srbije, 2023).

The management of the Special Nature Reserve “Brzansko Moravište” has been entrusted by the Government of the Republic of Serbia to the Public Enterprise “Zoo” of Jagodina. Based on the valorization of the area, it is assessed that the site meets the conditions for protection, particularly due to its authenticity, representativeness, rarity, and preservation. The protected natural asset “Brzansko Moravište” is a slightly modified natural habitat, and to ensure the continued preservation of its natural values, the implementation of appropriate active protection measures is necessary. For this reason, regimes of protection level II and III have been established. In order to reduce the negative impacts of human activities in the surroundings of the reserve, the designation of a protective buffer zone has also been proposed (Ministarstvo za zaštitu životne sredine Republike Srbije, 2023).

### **Data Sources**

For the analysis, Sentinel-2 multispectral images (ESA, Copernicus program) with a spatial resolution of 10 m were used. The time period from 2017 to 2024 was analyzed in total, with selected images having less than 10% cloud cover. Level-2A (Bottom-of-Atmosphere reflectance) products were used, which contain atmospherically corrected values. The data were downloaded from the Copernicus Open Access Hub platform. For the calculation of vegetation indices, the following bands were used: B4 (red), B8 (NIR), B11 (SWIR), as well as B3 (green), in accordance with the definition of specific indices.

In order to assess the condition and degradation of vegetation cover in the Special Nature Reserve “Brzansko moravište,” various satellite vegetation and moisture indices were applied. The analysis covered the period from 2017 to 2024, with four representative months observed – March, May, July, and September – which correspond to key phases of the vegetation cycle. Based on the monthly values, average annual values of each index were calculated.

All satellite images were downloaded, processed, and analyzed in the QGIS software, where vegetation indices (NDVI, NDMI, NDWI, VCI, and LDI) were calculated, values were classified, and thematic maps were created. Statistical analysis of the obtained data (calculation of seasonal and annual mean values, variations, correlations, and presentation in the form of tables and graphs) was conducted in Microsoft Excel.

Vegetation condition represents an important indicator of ecosystem conditions and the health of natural habitats. By applying modern methods of remote sensing and geospatial analysis, it is possible to monitor forest density, tree structure, and distribution across large areas. The combination of satellite images, vegetation indices such as NDVI, and GIS technologies enables accurate determination of vegetation density, identification of land cover changes, and assessment of the impact of human and natural factors on ecosystems. Such analysis is particularly important in the management of protected areas, as it allows the detection of degradation, planning of protection measures, and sustainable use of natural resources (Valjarević et al., 2018).

For vegetation analysis and satellite image preparation, various raster processing methods are used, including the elimination of clouds and haze, which enables accurate calculation of vegetation indices (Valjarević et al., 2024).

### **Methodology**

#### *NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)*

For the assessment of vegetation condition, satellite images and vegetation indices are often used, such as the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). NDVI allows the classification of areas by vegetation density and can be combined with other spatial data, such as canopy cover maps, for a more precise assessment of biomass and ecosystem health (Permatasari Putri Hartoyo et al., 2021).

The Landsat Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) is used to quantify vegetation greenness and is useful for understanding vegetation density and assessing changes in plant health ("Landsat Normalized Difference Vegetation Index," n.d.).

NDVI represents one of the most commonly applied indices for monitoring vegetation condition. Values range from  $-1$  to  $+1$ , where higher values indicate dense and healthy vegetation cover, while lower values indicate degradation or absence of vegetation.

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED}) \quad (1)$$

#### *NDMI (Normalized Difference Moisture Index)*

NDMI is used for monitoring the moisture content in vegetation. Higher values indicate well-hydrated vegetation, while lower values may indicate drought-induced stress.

$$\text{NDMI} = (\text{NIR} - \text{SWIR}) / (\text{NIR} + \text{SWIR}) \quad (2)$$

According to Rahman and Mesev (2019), NDMI is a marker of canopy moisture content and therefore its main scope of application is the identification of water stress levels. A general interpretation of water stress and plant canopy characteristics using NDMI values is presented in Table 1.

#### *NDWI (Normalized Difference Water Index)*

This index was designed to (1) maximize the reflection of water features by using green wavelengths; (2) minimize the low near-infrared reflectance by water bodies; and (3) take advantage of the high near-infrared reflectance by vegetation and soil. As a result, water bodies have positive values and are therefore enhanced, while vegetation and soil generally have zero or negative values and are thus suppressed (McFeeters, 1996).

NDWI is used for the identification of water surfaces, but also for the assessment of water content in vegetation.

$$\text{NDWI} = (\text{GREEN} - \text{NIR}) / (\text{GREEN} + \text{NIR}) \quad (3)$$

#### *LDI (Land Degradation Index)*

LDI represents an indicator of land degradation, derived from long-term changes in vegetation indices. Positive values indicate stable or improved vegetation cover, while negative values indicate degradation.

For monitoring land condition and natural resource degradation at the local level, the Land Degradation Index (LDI) is used, which shows the degree of land degradation and allows comparative analysis of different areas, taking into account both natural and anthropogenic factors. By applying LDI, it is possible to identify areas with high risk of degradation and propose measures for preserving natural capital and ensuring the sustainable use of resources.

For the calculation of the Land Degradation Index, a combination of several vegetation and moisture indices was applied. The formula used in this research is as follows:

$$\text{LDI} = 0.3 \times \text{NDVI} + 0.2 \times \text{NDWI} + 0.2 \times \text{NDMI} + 0.3 \times \text{VCI} \quad (4)$$

This approach provided a synthetic value that integrates different aspects of vegetation status – biomass density (NDVI), moisture content in vegetation and soil (NDMI, NDWI), as well as vegetation condition relative to long-term extremes (VCI).

The weighting coefficients in the LDI formula were defined to reflect the relative importance of individual indices in the process of vegetation degradation. NDVI and VCI were given a higher weight (0.3) since they directly reflect the condition and vitality of vegetation cover. On the other hand, NDMI and NDWI were given a lower weight (0.2), as they mainly represent indirect indicators through the moisture content of plants and soil. This combination allows LDI to integrate both vegetation growth aspects and moisture aspects, while emphasizing vegetation status as the primary indicator of degradation.

#### *Proposed classification for LDI interpretation*

In order for the obtained results to be quantified and interpreted, the index values were classified into five categories:

- $\leq -30\%$  → strong degradation
- $-30\%$  to  $-10\%$  → moderate degradation
- $-10\%$  to  $+10\%$  → stable
- $+10\%$  to  $+30\%$  → moderate improvement
- $\geq +30\%$  → strong improvement

The classification was carried out based on the relative change of LDI compared to a chosen reference point (the starting year of the series or the average for the entire period).

#### *VCI (Vegetation Condition Index)*

The Vegetation Condition Index (VCI) is a widely used indicator for monitoring vegetation condition and drought stress. It compares the current value of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) with the range of NDVI values recorded in the same period of previous years. VCI is expressed as a percentage and shows the position of the current NDVI value between the historical minimum and maximum values. High VCI values indicate that NDVI is close to the historical maximum, while low VCI values indicate that NDVI is close to the historical minimum (UNCCD, 2021).

$$VCI = 100 \times (NDVI - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min}) \quad (5)$$

The Vegetation Condition Index (VCI) compares the current NDVI with the range of values observed in the same period of previous years. VCI is expressed in percentages and provides an indication of where the observed value lies between the extreme (minimum and maximum) values of previous years. Lower and higher values indicate poor and good vegetation conditions, respectively. VCI ranges from 0 for extremely unfavorable conditions to 100 for optimal conditions. NDVI<sub>max</sub> and NDVI<sub>min</sub> are the multi-year maximum and minimum NDVI for a pixel in relation to specific climatology (Symbiosis Institute of Geoinformatics, n.d.).

*Classification of VCI values was applied into five classes:*

- 0–20% → extremely poor conditions / severe degradation
- 21–40% → unfavorable conditions / moderate degradation
- 41–60% → moderate conditions
- 61–80% → good conditions
- 81–100% → very good / optimal conditions

### **Analytical procedure**

- The calculation of all the mentioned indices was performed in the QGIS environment using Sentinel-2 imagery.
- For each month (March, May, July, September), index values were calculated for the period 2017–2024.
- The obtained values were transferred to Excel, where annual average values were calculated.
- A correlation analysis was carried out between indices to determine interdependence.
- Based on VCI and LDI, a risk map was constructed showing the spatial distribution of degradation risk.

### **Risk Map**

In order to identify the zones most sensitive to vegetation cover degradation, a risk map was created. For its development, a combination of two indices was applied:

- **LDI (Land Degradation Index)** – a synthetic index that integrates NDVI, NDWI, NDMI, and VCI, reflecting long-term changes in vegetation and land cover conditions.
- **VCI (Vegetation Condition Index)** – an index that shows the state of vegetation relative to extreme NDVI values in the 2017–2024 period, enabling the assessment of annual fluctuations.

Both indices were calculated for the 2017–2024 period based on Sentinel-2 imagery and then reclassified into five categories (1 = favorable condition, 5 = unfavorable condition).

After reclassification, the **Risk Index (R)** was derived as the average of LDI and VCI classes for each pixel, using a formula in QGIS.

$$R = \frac{LDI_{class} + VCI_{class}}{2} \quad (6)$$

**The obtained R values were categorized into five risk classes according to the following intervals:**

1.  $\leq R < 1.5$  (no risk)
2.  $1.5 \leq R < 2.5$  (low risk)
3.  $2.5 \leq R < 3.5$  (medium risk)
4.  $3.5 \leq R < 4.5$  (high risk)
5.  $R \geq 4.5$  (very high risk)

In this way, the final map of the spatial distribution of vegetation degradation risk was obtained, allowing for the identification of zones with different levels of vulnerability within the Special Nature Reserve “Brzansko Moravište.”

The combination of these two indices enabled the delineation of zones according to the degree of risk:

- **Low risk** – areas with stable LDI and VCI values, where vegetation is in favorable condition.
- **Medium risk** – areas with moderate index values, which may be sensitive to changes in climatic conditions and anthropogenic influence.
- **High risk** – zones with low LDI and VCI values, indicating pronounced vegetation degradation and potentially threatened ecosystems.

The risk map was created in a QGIS environment by applying classification of index values and their spatial overlay. In this way, an integrated cartographic representation of the spatial distribution of degradation risk was produced within the Special Nature Reserve “Brzansko Moravište”.

## Results

This chapter presents the results of the analysis of vegetation indices (NDVI, NDMI, NDWI, LDI, VCI), the correlation analysis, and the risk map for the area of the Special Nature Reserve “Brzansko Moravište” in the period 2017–2024. The results are organized by indices, and are presented both graphically (tables and diagrams) and cartographically.

### NDVI

The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) represents the basic indicator of vegetation cover density and vitality. NDVI values in the area of the Special Nature Reserve “Brzansko Moravište” during the 2017–2024 period show stable but also seasonally conditioned variations (Table 2).

The average annual NDVI values recorded a slight increase, from 0.54 in 2017 to 0.62 in 2024, indicating relative stability and a possible slight improvement in vegetation condition. This trend is particularly noticeable in the last years of the study, where values in March and May show higher levels compared to the initial period.

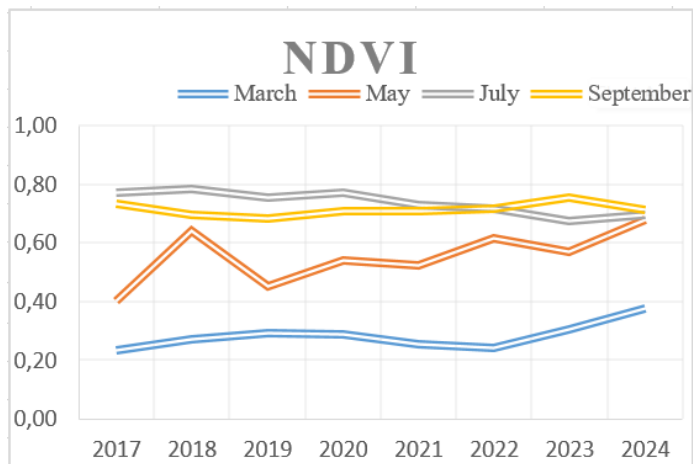
The seasonal dynamics of NDVI show the expected pattern:

- **March** records the lowest values (0.23–0.37), corresponding to the beginning of the vegetation season.
- **May** shows a significant increase (0.40–0.68), but with greater interannual variation (e.g., lower values in 2017 and 2019, higher in 2018 and 2024).

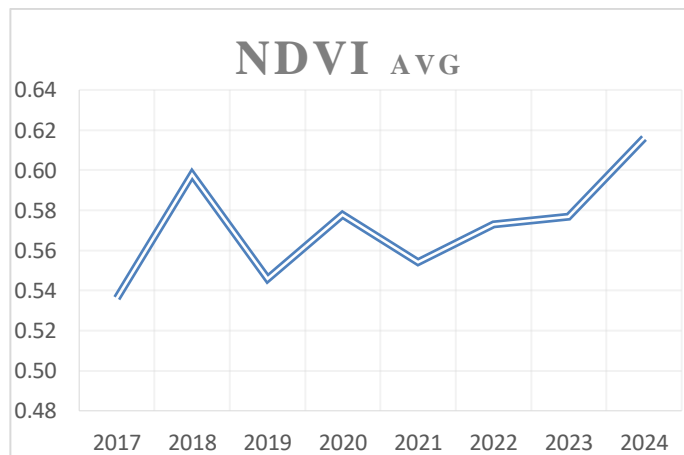
- **July and September** reach the highest values (0.68–0.78), corresponding to the maximum photosynthetic activity and vegetation stability in the summer and early autumn period.

Table 1. NDVI Index Values

NDVI					
Year	March	May	July	September	Avg
2017	0,23	0,40	0,77	0,73	0,54
2018	0,27	0,64	0,78	0,70	0,60
2019	0,29	0,45	0,76	0,68	0,55
2020	0,29	0,54	0,77	0,71	0,58
2021	0,25	0,52	0,73	0,71	0,55
2022	0,24	0,62	0,72	0,72	0,57
2023	0,31	0,57	0,68	0,76	0,58
2024	0,37	0,68	0,70	0,71	0,62



Graph 1. Average Monthly NDVI Index Values for the Period 2017–2024



Graph 2. Average Annual NDVI Index Values for the Period 2017–2024

The displayed NDVI maps for 2017, 2020, and 2024 show the average annual values for the selected periods and clearly illustrate the spatial distribution of different vegetation categories.

Table 2. NDVI Index Classification

Scope NDVI	Surface Type	Description/Interpretation
< 0	<b>Water</b>	Negative values – open water, shadows, clouds
0 – 0.1	<b>Bare soil / sand / rock / snow</b>	Areas without vegetation, very poor
0.1 – 0.25	<b>Sparse vegetation / degraded surfaces</b>	Dry grass, sparse low vegetation, abandoned fields
0.25 – 0.4	<b>Moderate vegetation</b>	Agriculture, pastures, low vegetation
0.4 – 0.6	<b>Dense vegetation</b>	Healthy vegetation, forests, intensive agriculture
> 0.6	<b>Very dense vegetation / natural forests / wetlands</b>	Very healthy vegetation, often untouched forest areas

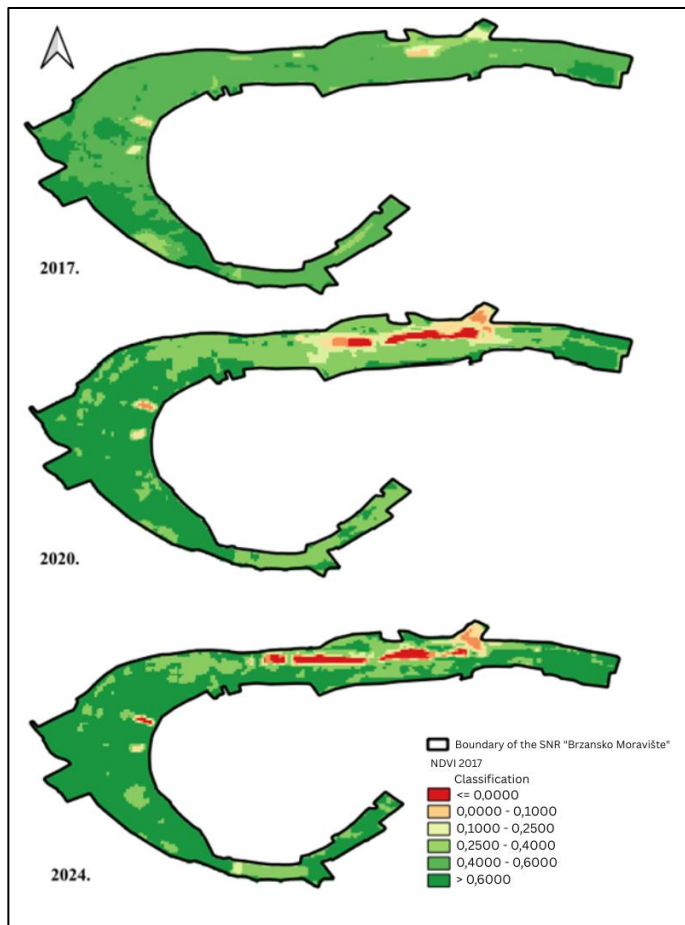


Fig 2. NDVI Maps for 2017, 2020, and 2024

Analyzing the NDVI maps for 2017, 2020, and 2024, an increase in water surfaces over time can be observed, as well as the fact that the majority of the studied area is covered by healthy and dense vegetation.

## NDMI

The Normalized Difference Moisture Index (NDMI) was used to assess the moisture content in vegetation.

*Table 3. Interpretation of NDMI in Terms of Water Stress Levels and Canopy Cover Characteristics*

NDMI scope	Surface Cover Description	Vegetation Condition / Water Stress
-1.0 ... -0.8	Bare soil	—
-0.8 ... -0.6	Vegetation almost absent	—
-0.6 ... -0.4	Extremely sparse vegetation	—
-0.4 ... -0.2	Sparse vegetation	Severe water stress
-0.2 ... 0.0	Moderately sparse / exceptionally sparse vegetation	High water stress / moderate water stress
0.0 ... 0.2	Moderate / moderately sparse vegetation	Under high water stress / moderate water stress
0.2 ... 0.4	Moderately dense / moderate vegetation	Under high water stress / under low water stress
0.4 ... 0.6	Dense vegetation	No water stress
0.6 ... 0.8	Very dense vegetation	No water stress
0.8 ... 1.0	Full vegetation cover	No water stress or occurrence of water saturation due to excessive water supply

Source: (P.V. Lykgovyd, V.O. Sharii, 2024)

*Table 4. NDMI Index Values*

Year	NDMI				
	March	May	July	September	Avg
2017	-0,11	0,12	0,12	0,21	0,08
2018	-0,01	0,20	0,29	0,15	0,16
2019	-0,11	0,02	0,32	0,14	0,09
2020	-0,16	0,11	0,31	0,26	0,13
2021	-0,15	0,11	0,29	0,23	0,12
2022	-0,16	0,18	0,30	0,21	0,13
2023	-0,15	0,11	0,28	0,24	0,12
2024	-0,09	0,23	0,26	0,18	0,14

The average annual NDMI values ranged from 0.08 to 0.16, with a slight increase observed in the more recent years (2020–2024). This indicates that the vegetation in the study period mostly maintained a stable water status, with a slight tendency for improvement in the final years.

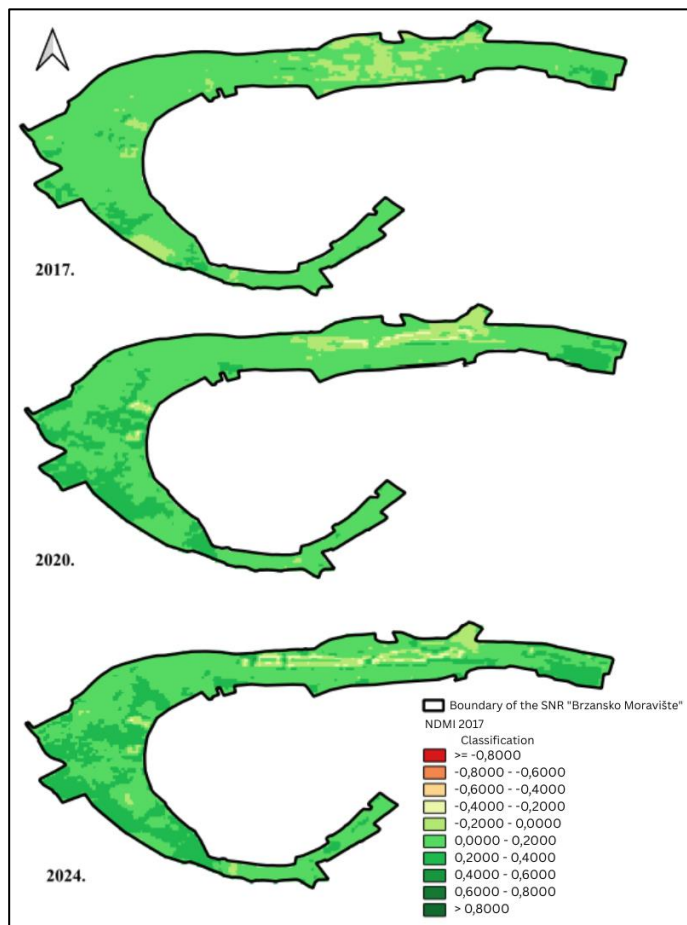


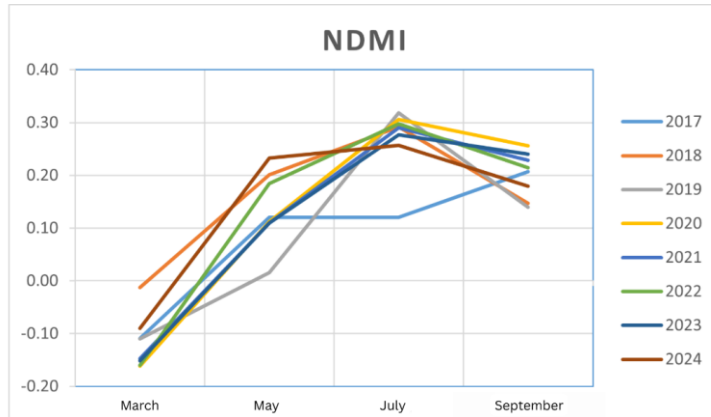
Fig 3. NDMI Maps for 2017, 2020, and 2024

The results show that in March, the index mostly had negative values (from  $-0.16$  to  $-0.01$ ), indicating weak to moderately weak vegetation cover under high water stress.

In May, NDMI shows a significant increase ( $0.02$ – $0.23$ ), but with noticeable variations between years. For example, in 2019, NDMI was very low ( $0.02$ ), indicating moderate cover under high water stress, while in 2024, it reached the highest values of the entire period ( $0.23$ ), representing moderately strong vegetation cover under low water stress.

In July, the index reaches its highest values ( $0.26$ – $0.32$ ), corresponding to moderately strong vegetation cover with low water stress. Except for 2017, in all other years the values are relatively stable and without major fluctuations.

September shows moderate values ( $0.14$ – $0.26$ ), indicating moderate vegetation cover under moderate to high water stress. These results correspond with the end of the growing season and the gradual loss of moisture.



Graph 3. Average Annual NDMI Values for the Period 2017–2024

**NDWI**

In the study area, all recorded NDWI values were negative (−0.32 to −0.68), indicating that vegetation and soil dominate within the reserve, while water bodies were not sufficiently present to generate positive index values. This corresponds to the natural characteristics of the area, where water bodies are limited in size and do not represent a dominant landscape element.

The average annual NDWI values ranged between −0.45 (2017) and −0.57 (2018), with no significant fluctuations in the following years. These results confirm that during the study period, the vegetation cover was not subject to major changes in water content, maintaining a stable status with noticeable seasonal oscillations.

Table 5. NDWI Index Values

NDWI					
Year	March	May	July	September	Avg
2017	-0,34	-0,39	-0,39	-0,68	-0,45
2018	-0,36	-0,59	-0,68	-0,63	-0,57
2019	-0,37	-0,46	-0,66	-0,64	-0,53
2020	-0,40	-0,53	-0,67	-0,63	-0,56
2021	-0,35	-0,50	-0,64	-0,64	-0,53
2022	-0,32	-0,57	-0,62	-0,63	-0,54
2023	-0,38	-0,52	-0,58	-0,66	-0,54
2024	-0,41	-0,60	-0,60	-0,64	-0,56

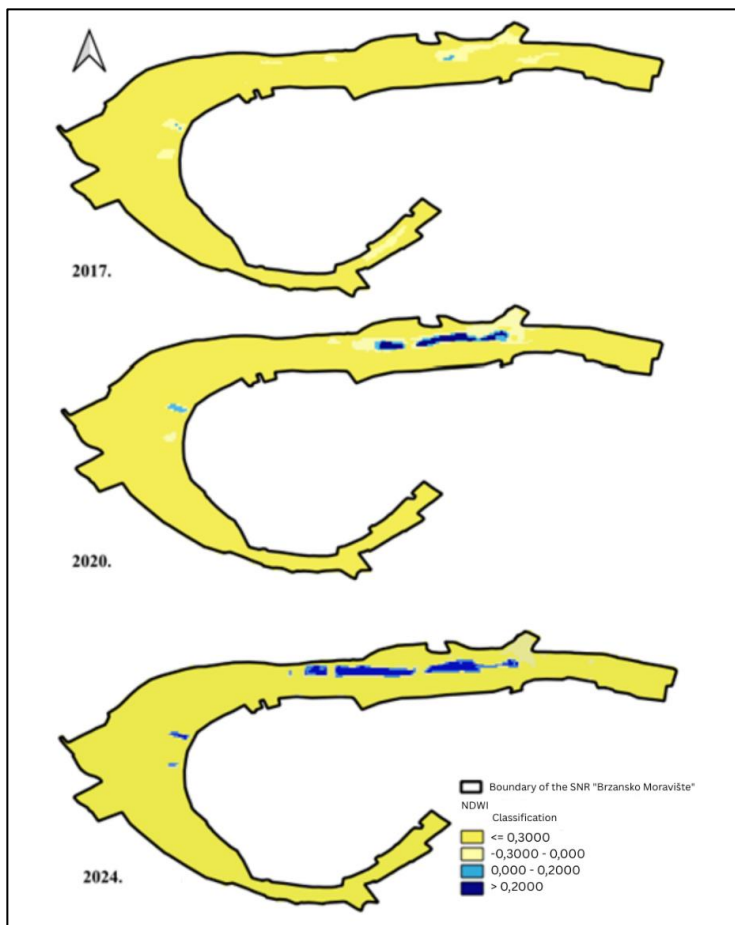
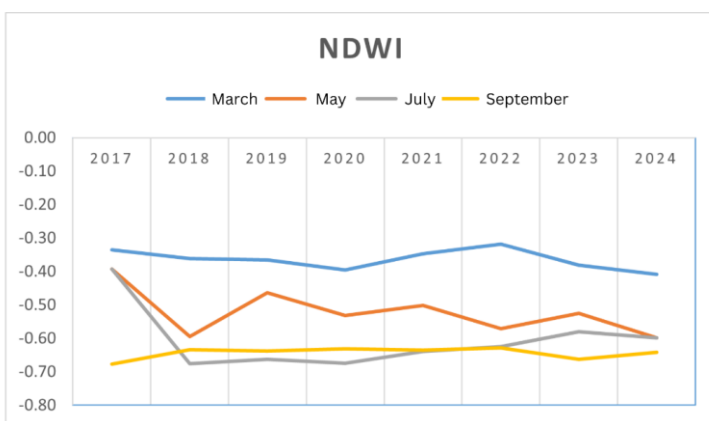


Fig. 4. NDWI Maps for 2017, 2020, and 2024



Graph 4. Average NDWI Index Values

The seasonal dynamics of NDWI show that in March, the values were moderately low ( $-0.32$  to  $-0.41$ ), reflecting a stable but limited moisture content in the initial phase

of the growing season. In May and July, the lowest values were recorded (down to  $-0.68$ ), indicating increased water stress and reduced water content in plant biomass during the most intensive photosynthetic activity period. September consistently shows the lowest values ( $-0.62$  to  $-0.68$ ), which aligns with the end of the growing season and the gradual loss of moisture.

The average annual NDWI values ranged from  $-0.45$  (2017) to  $-0.57$  (2018), without significant fluctuations in the subsequent years. These results confirm that the vegetation cover during the study period did not experience major changes in water content but maintained a stable status with noticeable seasonal oscillations.

### ***LDI (Land Degradation Index)***

The Vegetation Degradation Index (LDI) was analyzed in two variants:

- In relation to the starting year of the series (2017), which was taken as a reference point for tracking changes over time, and
- In relation to the average for the entire period (2017–2024), which represents a neutral baseline for assessing deviations in individual years.

When 2017 is taken as the starting year, all subsequent years show lower LDI values ranging from  $-38\%$  to  $-45\%$  relative to the baseline. This places them in the class of severe degradation, indicating that after the beginning of the period, there was a sharp decline and the system did not return to the initial level.

*Table 6. LDI Values (2017 as Reference Year)*

<b>Year</b>	<b>Normalized LDI</b>	<b><math>\Delta</math> relative to 2017 (%)</b>	<b>Degradation Class</b>
2017	0.769	0%	Stable
2018	0.475	$-38\%$	Strong degradation
2019	0.423	$-45\%$	Strong degradation
2020	0.450	$-41\%$	Strong degradation
2021	0.432	$-44\%$	Strong degradation
2022	0.431	$-44\%$	Strong degradation
2023	0.437	$-43\%$	Strong degradation
2024	0.471	$-39\%$	Strong degradation

Reference value: 0.769 (2017)

Formula:  $\Delta (\%) = ((LDI_{year} - LDI_{2017}) / LDI_{2017}) \times 100$

*Table 7. LDI Values (Average 2017–2024 as Reference)*

<b>Year</b>	<b>Normalized LDI</b>	<b><math>\Delta</math> relative to the average (%)</b>	<b>Degradation Class</b>
2017	0.769	$+58\%$	Strong improvement
2018	0.475	$-2\%$	Stable
2019	0.423	$-13\%$	Moderate degradation
2020	0.450	$-7\%$	Moderate degradation
2021	0.432	$-11\%$	Moderate degradation
2022	0.431	$-11\%$	Moderate degradation
2023	0.437	$-10\%$	Moderate degradation
2024	0.471	$-3\%$	Stable

When the average for the entire period ( $\approx 0.486$ ) is taken as the reference, a more balanced picture emerges. In this case:

- 2017 deviates positively by approximately +58%, placing it in the class of strong improvement;
- 2018 and 2024 have values close to the average ( $-3\%$  to  $-4\%$ ) and are considered stable;
- The period from 2019 to 2023 shows deviations of  $-10\%$  to  $-13\%$  relative to the average, indicating moderate degradation.

This dual approach demonstrates that the choice of reference point significantly affects result interpretation: if analyzed relative to the starting year, a clear deterioration is observed, whereas analysis relative to the average indicates stability with minor fluctuations and moderate degradation in most years.

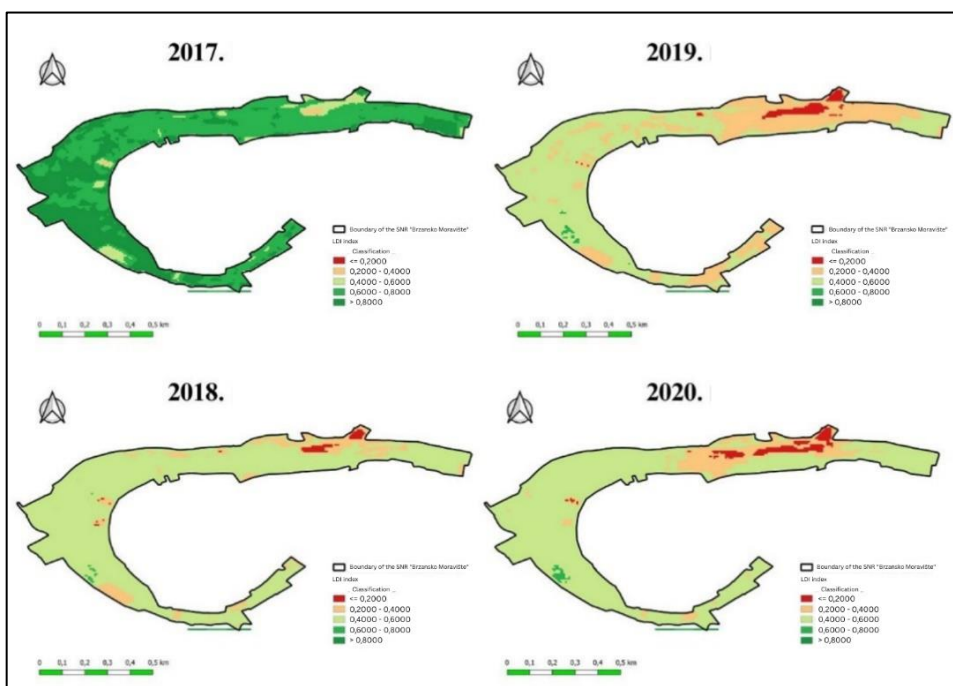


Fig. 5. Comparative View of VCI Index for the Period 2017–2020

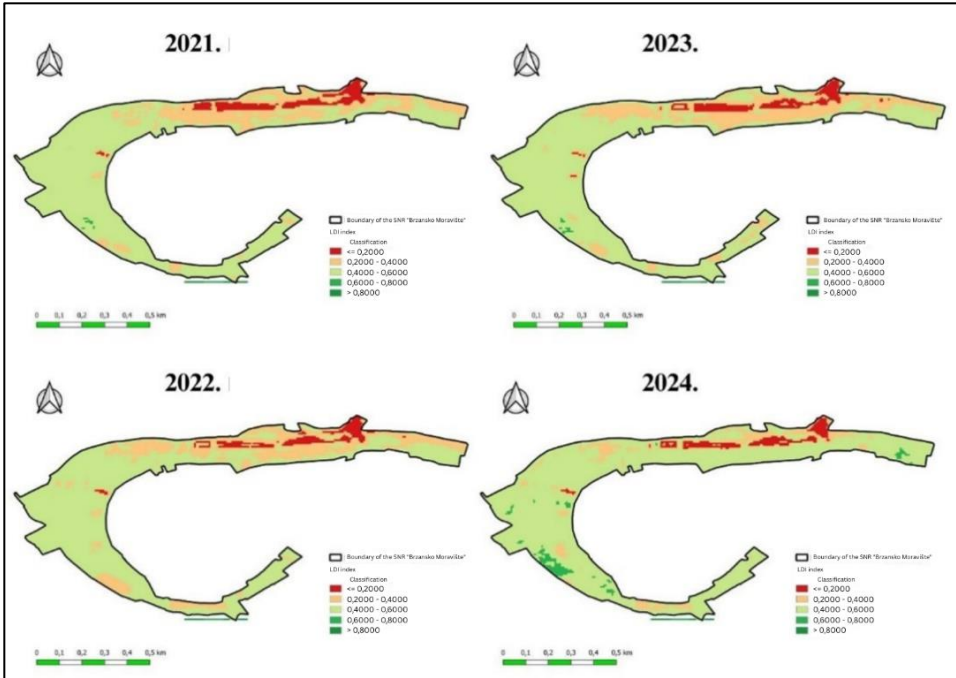


Fig. 6. Comparative View of VCI Index for the Period 2020–2024

### VCI (Vegetation Condition Index)

In the analysis for the period 2017–2024, the average VCI values ranged from 67.24 (2017) to 79.70 (2018). The lowest minimum values (14.77 in 2022) indicate the presence of localized areas under severe stress, while the maximum values remained stable (81–94), confirming that part of the vegetation remained in optimal condition throughout all years. The standard deviation increased in the later period, suggesting growing spatial variability within the reserve.

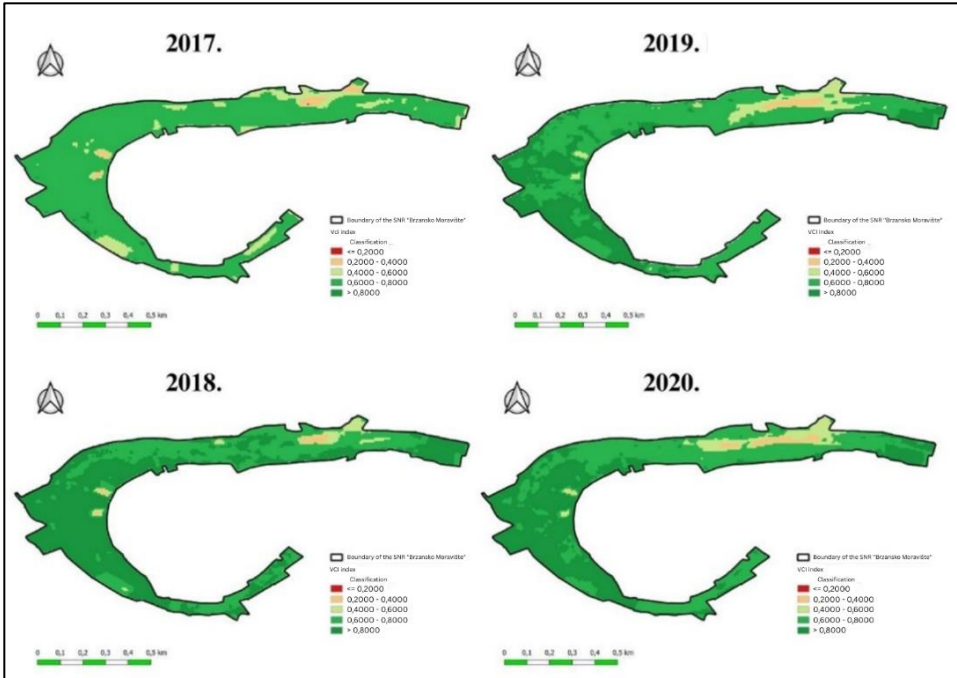


Fig 7. Comparative View of VCI Index for the Period 2017–2020

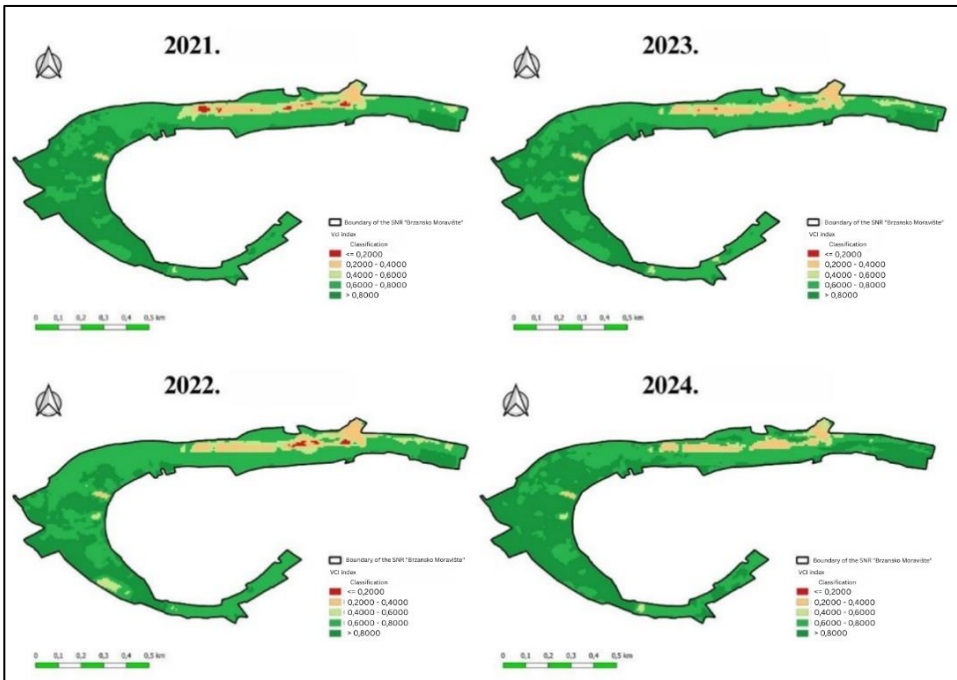


Fig. 8. Comparative View of VCI Index for the Period 2020–2024

Table 8. VCI Index Values

Year	min	max	mean	stddev
2017.	19,85	81,11	67,24	8,16
2018.	21,08	93,59	79,70	9,68
2019.	25,54	92,99	74,36	11,11
2020.	26,23	92,98	77,02	11,28
2021.	15,06	91,25	73,83	14,29
2022.	14,77	86,99	70,85	13,20
2023.	19,61	90,71	73,13	13,65
2024.	20,48	93,79	77,39	13,30

### Risk Map

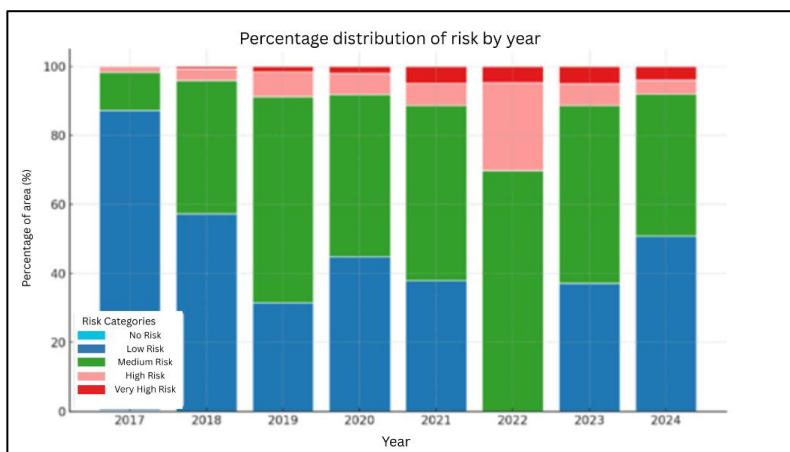
The analysis of the spatial distribution of vegetation degradation risk for the period 2017–2024 showed significant interannual fluctuations within the Brzansko Moravište Special Nature Reserve.

In 2017, taken as the reference year, low risk dominated (52.92%), while the share of medium risk was 6.72%, and high and very high risk were negligible (1.07% in total). This structure indicates a relatively stable state of the vegetation cover at the beginning of the analyzed period.

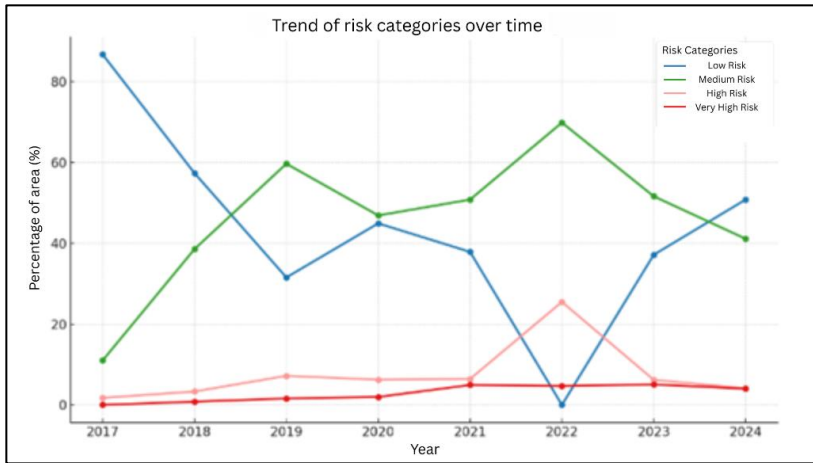
In the following years, a gradual increase in risk is observed. By 2019, most of the reserve fell into the medium (35.49%) and low risk categories (18.76%), while high risk reached 4.28%.

The most critical year was 2022, when the medium risk category dominated with 42.94%, while 15.67% of the area was in the high-risk category and 2.88% in the very high-risk category. This represents the peak of degradation processes during the entire analysis period.

In the final years of the analysis (2023–2024), some stabilization is observed: the share of high risk decreased to 3.81% (2023) and 2.52% (2024), while very high risk remained relatively constant (3.11% in 2023 and 2.46% in 2024). At the same time, most of the area fell into the low to medium risk categories, indicating partial recovery of vegetation after 2022.



Graph 5. Percentage Distribution of Risk by Year



Graph 6. Trends in Risk Categories Over Time

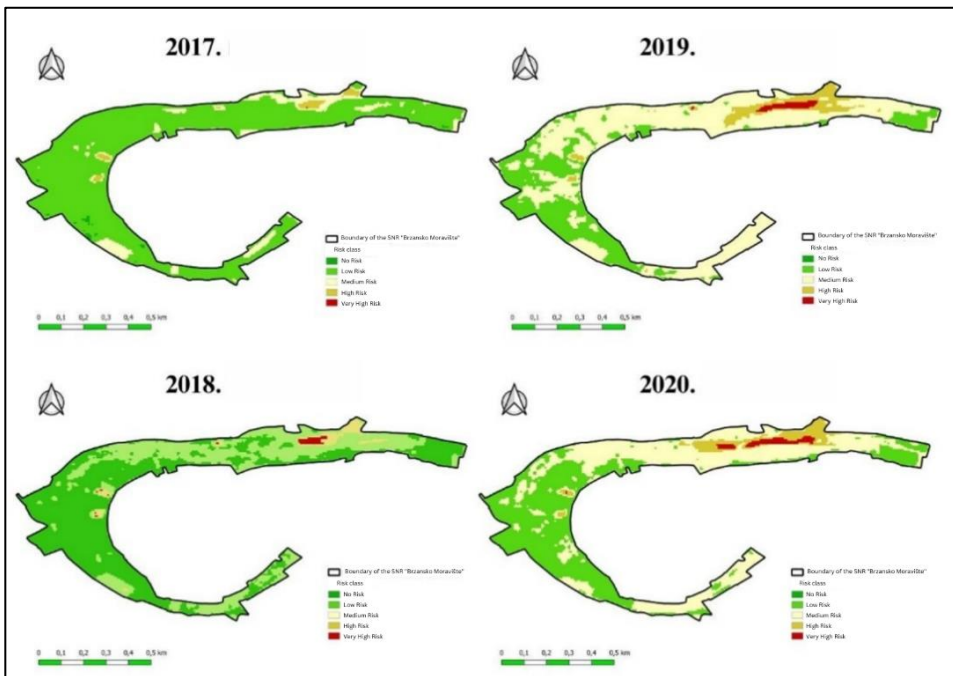


Fig. 9. Comparative View of Risk Maps for the Period 2017–2020

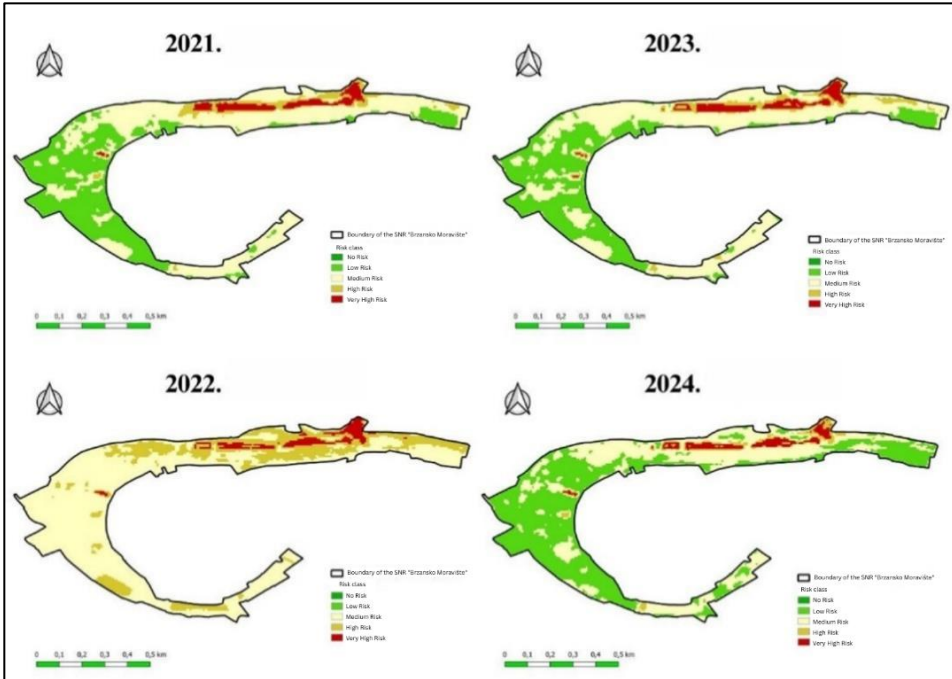


Fig. 10. Comparative View of Risk Maps for the Period 2021–2024

Summarized for the entire period, the average values show that low risk was dominant ( $\approx 50\text{--}60\%$  of the total area), while medium risk accounted for 30–40%. The share of high and very high risk ranged from 5% to 20% in the most vulnerable years. The “no risk” category was almost negligible ( $\leq 1\%$ ).

These results indicate that the reserve area is generally in a low to medium risk state, but with distinct episodes of degradation (e.g., 2022), likely caused by a combination of climatic extremes and local anthropogenic impacts.

## Discussion

The results of the vegetation index analysis in the Brzansko Moravište Special Nature Reserve indicate that the area largely maintained a stable state during the period 2017–2024, albeit with noticeable seasonal and interannual variations. The main strength of using satellite data lies in the ability to combine and compare different indices, providing a comprehensive picture of vegetation degradation and regeneration dynamics.

NDVI indicates a slight increase in overall vegetation vitality during the observed period, with occasional declines in critical years. NDMI confirms that biomass moisture generally remained at favorable levels, although drier episodes are noticeable, particularly during the summer. On the other hand, NDWI shows that the overall extent of surface water does not follow a significant trend, but it locally affects the regeneration or degradation of adjacent vegetation units.

VCI demonstrates that vegetation was mostly in good condition, but certain years experienced increased stress risk. Notably, 2022 stands out as the year with the lowest average and the highest spatial variability, likely due to a combination of drought conditions and anthropogenic pressure. While most years showed satisfactory values, the increased variability in recent years suggests the presence of localized degradation hotspots.

LDI, observed relative to 2017 as the baseline year, indicates an initial decline in vitality, followed by partial stabilization in subsequent years. It is important to emphasize that the choice of reference year affects absolute LDI values, yet regardless, the system did not degrade uniformly; recovery zones and areas of permanent biomass loss are evident.

The risk map, which combines LDI and VCI, allowed the identification of the most vulnerable zones. The majority of the area falls into the low to medium risk categories, but hotspots of high risk were also identified—spatially limited yet ecologically significant. The highest risk was again observed in 2022, consistent with the results of the other indices.

In a broader context, these results have practical implications for protected area management. Spatial analysis of the indices allows for precise localization of degradation zones, which can support planning of conservation measures such as water regime restoration, monitoring of critical areas, or mitigation of agricultural pressure. Moreover, it is evident that climatic extremes (e.g., the 2022 drought) have a decisive impact on vegetation dynamics, which is particularly relevant in light of climate change projections.

## **Conclusion**

The study of vegetation degradation in the Brzansko Moravište Special Nature Reserve using satellite indices enabled a comprehensive assessment of dynamics during the period 2017–2024.

NDVI, NDMI, and NDWI showed that biomass remained largely stable, vegetation moisture varied but stayed within functional limits, and surface water did not exhibit a significant trend of change.

VCI identified critical years, with 2022 representing the highest risk of degradation. LDI indicated that the initial decline relative to the 2017 baseline was partially mitigated in the later period, although the degradation process was spatially uneven.

The risk map revealed that the majority of the area falls under low to medium risk, but localized high-risk zones exist and require priority protection.

These results confirm that integrating multiple indices (NDVI, NDMI, NDWI, VCI, LDI) provides a reliable approach for assessing vegetation status and detecting degradation. Such analysis not only allows reconstruction of past conditions and trends but also provides a practical basis for future conservation and management measures.

Overall, it can be concluded that vegetation in the Brzansko Moravište Reserve remained relatively stable during the observed period, with noticeable short-term stress phases and localized degradation zones. The main challenges in the coming period will remain climatic extremes and anthropogenic pressures, which may increase degradation risk but can be timely identified and mitigated through systematic monitoring.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

Publisher's Note: Serbian Geographical Society stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

© 2025 Serbian Geographical Society, Belgrade, Serbia.

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs 3.0 Serbia.

## References

- Белановић Симић, С. (2022). *Процена деградације земљишта – методе и модели*. Универзитет у Београду – Шумарски факултет, Српско друштво за проучавање земљишта [Belanović Simić, S. (2022). *Procena degradacije zemljišta – metode i modeli*. Univerzitet u Beogradu – Šumarski fakultet, Srpsko društvo za proučavanje zemljišta].
- Copernicus Data Space Ecosystem. (2024). *Copernicus Browser*. European Space Agency. Retrieved September 7, 2025, from: <https://browser.dataspace.copernicus.eu>
- Lykhovyd, P. V., & Sharii, V. O. (2024). Normalised difference moisture index in water stress assessment of maize crops. *Agrology*, 7(1), 21–26. <https://doi.org/10.32819/202403>
- McFeeters, S. K. (1996). The use of normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425–1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
- Министарство за заштиту животне средине Републике Србије (2023). *Правилник о унутрашњем реду и чуварској служби Специјалног резервата природе „Брзанско моравиште“*. Службени гласник РС [Ministarstvo za zaštitu životne sredine Republike Srbije (2023). *Pravilnik o unutrašnjem redu i čuvarskoj službi Specijalnog rezervata prirode „Brzansko moravište“*. Službeni glasnik RS].
- Ministarstvo za zaštitu životne sredine Republike Srbije (2009). *Zakon o zaštiti prirode*. Službeni glasnik Republike Srbije, br. 36/09, 88/10, 91/10 – ispravka, 14/16, 95/18 i 91/19.
- Permatasari Putri Hartoyo, A., Sunkar, A., Ramadani, R., Faluthi, S., & Hidayati, S. (2021). Normalized difference vegetation index (NDVI) analysis for vegetation cover in Leuser ecosystem area, Sumatra, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 22(3), 1160–1171. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d220311>
- Sandu, A., Banica, A. (2015). Assessing the local environmental performance in western Moldavia (Romania). *Present Environment and Sustainable Development* 9(1). <https://doi.org/10.1515/pesd-2015-0004>
- Symbiosis Institute of Geoinformatics (n.d.). *Vegetation Condition Index (VCI)*. Retrieved August 30, 2025, from: <https://dms.sig.ac.in/facts/indices.html>
- United Nations Convention to Combat Desertification (2021). *Vegetation index*. [https://www.unccd.int/sites/default/files/inline-files/04\\_Vegetation\\_index.pdf](https://www.unccd.int/sites/default/files/inline-files/04_Vegetation_index.pdf)
- U.S. Geological Survey (n.d.). *Landsat normalized difference vegetation index*. Retrieved August 30, 2025, from <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-normalized-difference-vegetation-index>

- Valjarević, A. (2024). Long-term remote sensing-based methods for monitoring air pollution and cloud cover in the Balkan countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 31, 27155–27171. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-32982-y>
- Valjarević, A., Djekić, T., Stevanović, V., Ivanović, R., & Jandžiković, B. (2018). GIS numerical and remote sensing analyses of forest changes in the Toplica region for the period of 1953–2013. *Applied Geography*, 92, 131–139. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.01.016>
- Valjarević, A., Filipović, D., Živković, D., Ristić, N., Božović, J., & Božović, R. (2020). *Spatial Analysis of the Possible First Serbian Conurbation*. Springer Nature.
- Влада Републике Србије (2019/2022). *Уредба о проглашењу Специјалног резервата природе „Брзанско Моравиште“*. Службени гласник РС, 94/2019 и 144/2022 [Vlada Republike Srbije (2019/2022). *Uredba o proglašenju Specijalnog rezervata prirode „Brzansko Moravište“*. Službeni glasnik RS, 94/2019 i 144/2022].

Оригинални научни рад

UDC 528.8(1-751.3),,2017/2024”  
<https://doi.org/10.2298/GSGD2502537R>

Примљено: 8. септембра, 2025  
Исправљено: 24. октобра, 2025  
Прихваћено: 5. новембра, 2025

**Немања Ристић<sup>1\*</sup>, Анђела Ратковић\*, Јована Ратковић\***

*\* Универзитет у Београду, Географски факултет, Београд, Србија*

## **ПРОЦЕНА ДЕГРАДАЦИЈЕ ВЕГЕТАЦИЈЕ У СРП БРЗАНСКО МОРАВИШТЕ ПРИМЕНОМ САТЕЛИТИСКИХ ВЕГЕТАЦИОНИХ ИНДЕКСА (2017-2024)**

**Апстракт:** У раду је приказана процена деградације вегетације у Специјалном резервату природе „Брзанско моравиште“ применом сателитских снимака Sentinel-2 за период 2017–2024. године. Стање вегетације анализирано је рачунањем индекса NDVI, NDMI и NDWI, као и показатеља као што су индекс стања вегетације (VCI) и индекс деградације земљишта (LDI), сви ови индекси добијени су обрадом сателитских снимака у Qgis програму. Анализа је спроведена сезонски, за четири карактеристична периода у години (март, мај, јул и септембар), док су међугодишње промене омогућиле стицање увида у годишње стање вегетације. Резултати указују да је вегетациони покривач углавном стабилан са благим позитивним трендом, али и са израженим међугодишњим варијацијама. Најповољније стање забележено је 2018. године, док је 2022. идентификована као критична година са најнижим вредностима VCI и највећом просторном хетерогеношћу, што указује на повећани стрес вегетације. NDMI је потврдио периодични дефицит влаге, нарочито у летњим месецима, док је NDWI указао на ограничену динамику површинских вода. LDI је показао да је у односу на базу 2017. годину дошло до почетног пада виталности, али и делимичне стабилизације у каснијем периоду. Комбинована ризик мапа на основу LDI и VCI идентификовала је локализоване зоне високог ризика које захтевају приоритетне мере управљања. Истраживање потврђује да интеграција више вегетационих индекса представља поуздан оквир за праћење еколошких промена и даје основу за ефикасно планирање заштите и одрживо управљање заштићеним подручјима.

**Кључне речи:** СРП „Брзанско моравиште“, вегетациони индекси, Sentinel-2, мапе ризика, NDVI, VCI, LDI

<sup>1</sup> nemanjaristicoo@gmail.com (аутор за кореспонденцију)  
Немања Ристић (<https://orcid.org/0009-0009-4710-9381>)

## Увод

Вегетација представља један од најважнијих индикатора стања животне средине, јер директно одражава утицај природних и антропогених фактора на екосистеме. Све је интензивнији утицај климатских промена и човекове активности на екосистеме, те очување заштићених подручја захтева посебну пажњу и негу како би се ови предели сачували.

Антропогене активности константно представљају претње за развијање различитих облика деградације изазваних променом начина коришћења, загађењем и другим мерама управљања земљишним простором. Деградација земљишта нарушава његов квалитет, односно утиче на једну или више његових функција (Белановић Симић, 2022).

Предмет заштите природе Србије јесте заштита биодиверзитета (врста, станишта и екосистема), заштита шумских, влажних и водених екосистема и станишта унутар агроекосистема, очување генетске разноврсности, спелеолошких објеката и заштита предела (Министарство за заштиту животне средине, 2009).

Једно од последњих очуваних мочварних станишта, стари меандер реке Велике Мораве код села Брзан, проглашава се заштићеним подручјем од великог значаја, односно II категорије као Специјални резерват природе под именом 'Брзанско моравиште'. Специјални резерват природе 'Брзанско моравиште' ставља се под заштиту као подручје значајно са аспекта заштите птица мочварица јер је део коридора миграције, али обезбеђује и услове за гнезђење многих ретких и заштићених врста птица (Влада Републике Србије, 2019/2022).

Основна јединица заштите природе Србије јесте заштићено природно добро. Заштићена подручја су подручја која имају изражену геолошку, биолошку, екосистемску и/или предеону разноврсност и због тога се актом о заштити проглашавају заштићеним (Ђурђић, 2015). Једно од таквих заштићених подручја је СРП Брзанско моравиште. Оно представља мртвају, насталу природним пресецањем врата меандра. Подручје Специјалног резервата природе „Брзанско моравиште“ има велики значај са аспекта заштите птица, јер чини део коридора миграције, али и обезбеђује услове за гнездење многих ретких и заштићених врста. На овом простору редовно борави 59 строго заштићених врста птица, од којих се 29 и гнезди на овом локалитету. Исто тако, Брзанско моравиште је и од изузетног значаја као репродуктивни центар за више врста водоземаца и гмизаваца (Министарство за заштиту животне средине, 2023).

Међутим, услед промена у режиму водостаја, интензивне пољопривредне активности и потенцијалних климатских промена, Брзанско моравиште је све подложније деградацији вегетационог покривача. Због своје важности из аспекта заштите птица, водоземаца и гмизаваца, неопходно је спровести детаљну и просторну анализу стања вегетације, како би се идентификовале критичне зоне.

У овом раду примењени су вишегодишњи сателитски снимци и вегетациони индекси као што су NDVI, NDWI, NDMI и SAVI, као и индекси стања и деградације – VCI и LDI, са циљем да се процени степен деградације вегетације у периоду од 2017. до 2024. године на подручју Специјалног резервата природе „Брзанско моравиште“. Оваквим приступом пружа се могућност за праћење динамике

деградације и доношење смерница за управљање и заштиту екосистема унутар заштићених подручја.

## Материјали и методе

### *Простор истраживања*

Специјални резерват природе „Брзанско моравиште“ смештен је у централном делу Србије, у оквиру Поморавског округа. Територијално припада граду Јагодини, с обзиром на то да се већина његове површине налази унутар катастарске општине Милошево. Јагодина представља највеће насеље у сливу Велике Мораве и административни центар Поморавског округа, са повољним географским положајем и историјским значајем у региону (Valjarević et al., 2020).

На подручју Специјалног резервата природе 'Брзанско моравиште', није дозвољено обављати радове и активности које могу оштетити популације, заједнице и станишта биљних и животињских врста, нарушити природне процесе и еколошку целовитост подручја или значајно неповољно утицати на естетска и културно-историјска обележја подручја и животну средину. На површинама на којима је утврђен режим заштите II степена, спроводи се активна заштита ради очувања и унапређења природних вредности, посебно кроз мере управљања популацијама дивљих биљака и животиња, одржавање и побољшање услова у природним стаништима и традиционално коришћење природних ресурса.

Мањи део резервата прелази административну границу и простире се на подручју општине Баточина, у оквиру катастарске општине Брзан. Резерват се, дакле, налази на контакту између две општине.

*Сл. 1. Географски положај Специјалног резервата природе „Брзанско моравиште“ (погледати у енглеској верзији текста, стр. 539)*

Велика Морава представља главну реку централне Србије и има значајну улогу у формирању плодних долина и влажних станишта. Њена долина обезбеђује природне ресурсе и водене површине које подржавају биодиверзитет и развој пољопривреде у околини. Повољан рељеф и плодна тла дуж долине Велике Мораве омогућавају одрживу употребу земљишта, док реку и њене притоке чине кључним елементом за очување водених екосистема и природних станишта (Valjarević et al., 2020).

Моравишта су речна језера, лучног облика, која на самом почетку свог настанка задржавају ширину и дубину корита Мораве. Брзанско моравиште је мртваја, настала природним пресецањем врата меандра, чија је старост процењена на преко 130 година. Брзанско моравиште има и две привремене притоке Грабовик и Кованлук. Њима вода тече само периодично, у време влажне сезоне, или повремено након јачих и дуготрајних падавина (Министарство за заштиту животне средине, 2023).

Поморавље око Баточине налази се у оквиру великоморавског климатског региона. Ово подручје карактерише изражена континентална клима са сувим и веома топлим летима и зимама које могу да буду веома хладне. Просечне годишње температуре у овом региону се крећу око 11°C. Количине падавина су релативно мале и не прелазе 650 mm (Министарство за заштиту животне средине, 2023).

Бара је са свих страна окружена њивама око које расту врбе. Најкрупније и најзначајније промене у претходних неколико деценија које су се десиле тичу се значајних хидролошких промена у смислу општег смањивања нивоа воде. Некада јако добро развијена мочварна односно водена вегетација данас је практично потпуно нестала. Ово се може објаснити чињеницом да је водни режим у овој бари данас знатно измењен (Министарство за заштиту животне средине, 2023).

Некада главна бара на југу мртваје, данас је претворена у плићак који лети потпуно пресушује. Нешто више водене масе налази се у осталом делу мртваје, али и ова вода током јако сушних лета потпуно пресушује. Ова чињеница довела је до тога да данас водена вегетација практично одсуствује, а бележимо само присуство врсте *Salvinia natans*. На простору Брзанског моравишта забележено је укупно 9 врста водоземавца и гмизаваца (пет врста водоземаца и 4 врсте гмизаваца) (Министарство за заштиту животне средине, 2023).

Управљање Специјалним резерватом природе „Брзанско моравиште“, Влада Републике Србије поверила је Јавном предузећу „Зоолошки врт“ из Јагодине. На основу валоризације простора Брзанског моравишта процењује се да оно испуњава услове за заштиту посебно ценећи његову аутентичност, репрезентативност, реткост и очуваност. Заштићено природно добро „Брзанско моравиште“ је у мањој мери измењено природно станиште и за даље очување његових природних вредности неопходно је спровођење одговарајућих мера активне заштите. Из тог разлога успостављена је примена режима II и III степена заштите. У циљу смањења негативних утицаја човекових активности у околини резервата предлаже се и одреживање заштитне зоне (Министарство за заштиту животне средине, 2023).

### ***Извори података***

За анализу су коришћени Sentinel-2 мултиспектрални снимци (ESA, Copernicus program), просторне резолуције 10 m. Укупно је анализиран временски период од 2017. до 2024. године, при чему су одабрани снимци са облачношћу мањом од 10%. Коришћени су Level-2A<sup>1</sup> (Bottom-of-Atmosphere reflectance) производи, који садрже атмосферски кориговане вредности. Податке сам преузео са Copernicus Open Access Hub платформе. За обрачун вегетационих индекса коришћени су бендови: B4 (red), B8 (NIR), B11 (SWIR), као и B3 (green) у складу са дефиницијом појединих индекса. Потенцијално присуство облака, сенки и измаглице контролисано је коришћењем Scene Classification Layer-a (SCL) који је део Sentinel-2 Level-2A производа. Снимци са уоченим присуством ових класа нису узимани у анализу.

У циљу процене стања и деградације вегетационог покривача на простору Специјалног резервата природе „Брзанско моравиште“ коришћени су различити сателитски вегетациони и индекси влаге. Анализа је обухватила период од 2017. до 2024. године, при чему су посматрана четири репрезентативна месеца – март, мај, јул и септембар – који одговарају кључним фазама вегетационог циклуса. На основу месечних вредности израчунате су и просечне годишње вредности сваког индекса.

---

<sup>1</sup> Подаци нивоа 2A су подаци високог квалитета где су искључени ефекти атмосфере на светлост која се рефлектује од површине Земље и доспева до сензора. Подаци су доступни широм света од марта 2017. године (Copernicus Data Space Ecosystem, 2024).

Сви сателитски снимци су преузети, обрађени и анализирани у програму QGIS, где су израчунавани вегетациони индекси (NDVI, NDMI, NDWI, VCI и LDI), вршена класификација вредности и израђене тематске карте. Статистичка анализа добијених података (рачунање сезонских и годишњих средњих вредности, варијација, корелација и приказ у виду табела и графикана) спроведена је у програму Microsoft Excel.

Стање вегетације представља важан индикатор екосистемских услова и здравља природних станишта. Применом савремених метода даљинског сензинга и геопросторне анализе могуће је праћење густине шума, структуре и расподеле дрвећа на великим територијама. Комбинација сателитских снимака, индекса вегетације као што је NDVI и GIS технологија омогућава прецизно одређивање густине вегетације, идентификацију промена у покривачу тла и процену утицаја људских и природних фактора на екосистеме. Таква анализа је посебно значајна у управљању заштићеним подручјима, јер омогућава уочавање деградације, планирање мера заштите и одрживо коришћење природних ресурса (Valjarević et al., 2018).

### **Методологија**

За анализу вегетације и припрему сателитских снимака користе се различите методе растерске обраде, укључујући елиминацију облака и измаглице, што омогућава прецизно израчунавање вегетационих индекса (Valjarević et al., 2024).

#### *NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)*

За процену стања вегетације често се користе сателитски снимци и вегетациони индекси, као што је Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). NDVI омогућава класификацију површина по густини вегетације и комбиновање са другим просторним подацима, као што су карте покрива крошњи, ради прецизније процене биомасе и здравља екосистема (Permatasari Putri Hartoyo et al., 2021).

Ландсатов нормализовани индекс разлике вегетације (NDVI) се користи за квантификацију зеленила вегетације и користан је за разумевање густине вегетације и процену промена у здрављу биљака (Landsat Normalized Difference Vegetation Index, n.d.).

NDVI представља један од најчешће примењиваних индекса за праћење стања вегетације. Вредности се крећу од  $-1$  до  $+1$ , при чему више вредности указују на густ и здрав вегетациони покривач, док ниже вредности указују на деградацију или одсуство вегетације.

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \quad (1)$$

#### *NDMI (Normalized Difference Moisture Index)*

NDMI служи за праћење садржаја воде у вегетацији. Више вредности указују на добро хидрирану вегетацију, док ниже вредности могу указивати на стрес изазван сушом.

$$NDMI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR) \quad (2)$$

Према објашњењу Rahman и Mesev (2019), NDMI је маркер садржаја воде у крошњи биљака и стога је његов главни обим примене идентификација нивоа водног стреса. Опште тумачење водног стреса и карактеристика крошње биљке помоћу NDMI вредности приказано је у Табели 1.

### *NDWI (Normalized Difference Water Index)*

Овај индекс је осмишљен да (1) максимизира рефлексију воде коришћењем зелених таласних дужина; (2) минимизира ниску рефлексију ближњег инфрацрвеног зрачења од водених елемената; и (3) искористи високу рефлексију ближњег инфрацрвеног зрачења од вегетације и земљишта. Као резултат тога, водени елементи имају позитивне вредности и стога су појачани, док вегетација и земљиште обично имају нулте или негативне вредности и стога су потиснуте (McFeeters, 1996).

NDWI се користи за идентификацију водених површина, али и за процену водног садржаја у вегетацији.

$$NDWI = (GREEN - NIR) / (GREEN + NIR) \quad (3)$$

### *LDI (Land Degradation Index)*

LDI представља индикатор деградације земљишта, изведен на основу дугорочних промена вегетационих индекса. Позитивне вредности указују на стабилан или побољшан вегетациони покривач, док негативне указују на деградацију.

За праћење стања земљишта и деградације природних ресурса на локалном нивоу користи се Land Degradation Index (LDI), који показује степен деградације терена и омогућава упоредну анализу различитих подручја узимајући у обзир природне и антропогене факторе. Применом LDI-а могу се идентификовати области са високим ризиком од деградације и предложити мере за очување природног капитала и одрживо коришћење ресурса

За израчунавање индекса деградације земљишта примењена је комбинација више вегетационих и индекса влаге. Формула која је коришћена у овом истраживању гласи:

$$LDI = 0.3 \times NDVI + 0.2 \times NDWI + 0.2 \times NDMI + 0.3 \times VCI \quad (4)$$

Оваквим приступом добијена је синтетичка вредност која интегрише различите аспекте стања вегетације – густину биомасе (NDVI), садржај влаге у вегетацији и земљишту (NDMI, NDWI), као и стање вегетације у односу на дугорочне екстреме (VCI).

Тежински коефицијенти у формули за LDI дефинисани су тако да одражавају релативни значај појединих индекса у процесу деградације вегетације. NDVI и VCI добијају већу тежину (0.3), јер директно одражавају стање и виталност вегетационог покривача. Са друге стране, NDMI и NDWI добијају мању тежину (0.2), јер углавном представљају индиректне показатеље кроз садржај влаге у биљкама и земљишту. Оваква комбинација омогућава да LDI интегрише и аспекте вегетационог раста и аспекте влажности, али уз нагласак на вегетациони статус као примарни индикатор деградације.

Предлог класа за интерпретацију LDI-а. Да би се добијени резултати могли квантификовати и тумачити, примењена је класификација вредности индекса на пет категорија:

- $\leq -30\%$  → јака деградација
- $-30\%$  до  $-10\%$  → умерена деградација
- $-10\%$  до  $+10\%$  → стабилно
- $+10\%$  до  $+30\%$  → умерено побољшање

- $\geq +30\%$  → јако побољшање

Класификација је урађена на основу релативне промене LDI-а у односу на изабрану референтну тачку (почетна година серије или просек за цео период).

#### *VCI (Vegetation Condition Index)*

Vegetation Condition Index (VCI) је широко коришћен индикатор за праћење стања вегетације и стреса услед суше. Он упоређује текућу вредност Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) са распонем NDVI вредности забележених у истом периоду претходних година. VCI се изражава у процентима и показује положај текуће NDVI вредности између минималних и максималних историјских вредности. Високе VCI вредности указују да је NDVI близу историјског максимума, док ниске VCI вредности указују да је NDVI близу историјског минимума (UNCCD, 2021).

$$VCI = 100 * (NDVI - NDVI \min) / (NDVI \max - NDVI \min) \quad (\text{Kogan, 1990}) \quad (5)$$

Индекс стања вегетације (VCI) упоређује тренутни NDVI са распонем вредности примећених у истом периоду претходних година. VCI се изражава у % и даје представу о томе где се примећена вредност налази између екстремних вредности (минималне и максималне) у претходним годинама. Ниже и више вредности указују на лоше и добро стање вегетације, респективно. VCI варира од 0 за изузетно неповољне услове до 100 за оптималне. NDVI max и NDVI min су вишегодишњи максимални и минимални NDVI за пиксел у односу на специфичну климатологију (Symbiosis Institute of Geoinformatics, n.d.).

Примењена је класификација вредности индекса на 3 класе:

- 0 – 20% → екстремно лоши услови / јака деградација
- 21 – 40% → неповољни услови / умерена деградација
- 41 – 60% → умерени услови
- 61 – 80% → добри услови
- 81 – 100% → врло добри / оптимални услови

#### ***Аналитички поступак***

- Израчунавање свих наведених индекса вршено је у **QGIS** окружењу, коришћењем Sentinel-2 снимака.
- За сваки месец (март, мај, јул, септембар) израчунате су вредности индекса за период 2017–2024. године.
- Добијене вредности су пренешене у **Excel**, где су израчунате просечне годишње вредности.
- Израђена је **корелациона анализа** између индекса ради утврђивања међусобне зависности.
- На основу VCI и LDI конструисана је **мапа ризика** која приказује просторну расподелу ризика од деградације.

#### ***Мапа ризика***

У циљу идентификације зона које су најосетљивије на деградацију вегетационог покривача, израђена је карта ризика (Risk Map). За њену израду примењена је комбинација два индекса:

- **LDI (Land Degradation Index)** – синтетички индекс који интегрише NDVI, NDWI, NDMI и VCI, и који одражава дугорочне промене у стању вегетације и земљишног покривача.
- **VCI (Vegetation Condition Index)** – индекс који приказује стање вегетације у односу на екстремне вредности NDVI у периоду 2017–2024, и који омогућава процену годишњих осцилација.

Оба индекса су израчуната за период 2017–2024. године на основу Sentinel-2 снимача, а затим рекласификована у пет категорија (1 = повољно стање, 5 = неповољно стање).

Након рекласификације, индекс ризика (Risk Index) изведен је као просек класа индекса LDI и VCI по сваком пикселу, применом формуле у QGIS-у:

$$R = \frac{LDI_{class} + VCI_{class}}{2} \quad (6)$$

Добијене вредности индекса R категорисане су у пет класа ризика, према следећим интервалима:

1.  $1.0 \leq R < 1.5$  (без ризика)
2.  $1.5 \leq R < 2.5$  (низак ризик)
3.  $2.5 \leq R < 3.5$  (средњи ризик)
4.  $3.5 \leq R < 4.5$  (висок ризик)
5.  $R \geq 4.5$  (врло висок ризик)

На овај начин добијена је финална мапа просторне расподеле ризика деградације вегетације, која омогућава издвајање зона са различитим степеном угрожености унутар СРП „Брзанско моравиште“.

Комбинација ова два индекса омогућила је издвајање зона према степену ризика:

- **Низак ризик** – подручја са стабилним вредностима LDI и VCI, где је вегетација у повољном стању.
- **Средњи ризик** – подручја са умереним вредностима индекса, која могу бити осетљива на промене у климатским условима и антропогеном утицају.
- **Висок ризик** – зоне са ниским вредностима LDI и VCI, које указују на изражену деградацију вегетационог покривача и потенцијално угрожене екосистеме.

Израда карте ризика урађена је у QGIS окружењу, применом класификације вредности индекса и њиховим просторним преклапањем. На овај начин добијен је интегрисан картографски приказ просторне расподеле ризика деградације унутар Специјалног резервата природе „Брзанско моравиште“.

## Резултати

У овом поглављу приказани су резултати анализе вегетационих индекса (NDVI, NDMI, NDWI, LDI, VCI), корелационе анализе и карте ризика за простор Специјалног резервата природе „Брзанско моравиште“ у периоду 2017–2024. Резултати су

организовани по индексима, при чему су представљени и графички (табеле и дијаграми) и картографски прикази добијених вредности.

## **NDVI**

Нормализовани индекс вегетације (NDVI) представља основни индикатор густине и виталности вегетационог покривача. Вредности NDVI-а на подручју Специјалног резервата природе „Брзанско моравиште“ у периоду 2017–2024 показују стабилне, али и сезонски условљене варијације (Табела 2).

Просечне годишње вредности NDVI-а бележе благо повећање, са 0.54 у 2017. години на 0.62 у 2024. години, што указује на релативну стабилност и могући благ напредак у стању вегетације. Овај тренд је нарочито уочљив у последњим годинама истраживања, где вредности у марту и мају бележе виши ниво у односу на почетни период.

Сезонска динамика NDVI-а показује очекиван образац:

- **Март** бележи најниже вредности (0.23–0.37), што одговара почетку вегетационе сезоне.
- **Мај** показује значајан раст (0.40–0.68), али са већим варијацијама између година (нпр. ниже вредности у 2017. и 2019, више у 2018. и 2024).
- **Јул и септембар** достижу највише вредности (0.68–0.78), што одговара максимуму фотосинтетске активности и стабилности вегетације у летњем и раној јесењем периоду.

*Табела 1. Вредности NDVI индекса (погледати у енглеској верзији текста, стр. 545)*

*Графикон 1. Просечне месечне вредности NDVI индекса за период од 2017. до 2024. године (погледати у енглеској верзији текста, стр. 545)*

*Графикон 2. Просечне годишње вредности NDVI индекса за период од 2017. до 2024. године (погледати у енглеској верзији текста, стр. 545)*

Приказане карте NDVI индекса за 2017., 2020., и 2024. годину показују просечне годишње вредности за изабране периоде и јасно приказују где се у простору налазе одређене категорије вегетације.

*Табела 2. Класификација NDVI индекса (погледати у енглеској верзији текста, стр. 546)*

*Слика 2. Карте NDVI индекса за 2017., 2020., и 2024. годину (погледати у енглеској верзији текста, стр. 546)*

Анализирајући карте NDVI индекса за 2017., 2020., и 2024. годину може се уочити повећање водених површина кроз време, као и да највећи део истраживаног подручја чини здрава и густа вегетација.

## **NDMI**

Нормализовани индекс влаге (NDMI) коришћен је за процену садржаја влаге у вегетацији.

*Табела 3. Интерпретација NDMI-ја у смислу нивоа водног стреса и карактеристика покривености крошње. Извор (P.V. Lykova, V.O. Shari, 2024) (погледати у енглеској верзији текста, стр. 547)*

*Табела 4. Вредности NDMI индекса (погледати у енглеској верзији текста, стр. 547)*

Просечне годишње вредности NDMI-а кретале су се у распону 0.08–0.16, при чему је уочљив благ пораст у новијим годинама (2020–2024). Ово указује да је вегетација у истраживаном периоду углавном одржавала стабилан водни статус, уз благу тенденцију побољшања у завршним годинама.

*Слика 3. Карте NDMI индекса за 2017., 2020., и 2024. Годину (погледати у енглеској верзији текста, стр. 548)*

Резултати показују да је у марту индекс најчешће имао негативне вредности (од –0.16 до –0.01), што указује на слаб до умерено слаб вегетациони покривач под високим водним стресом.

У мају NDMI бележи значајан пораст (0.02–0.23), али са израженим варијацијама између година. Тако је у 2019. години NDMI био врло низак (0.02), што указује на *умерен покривач под високим водним стресом*, док је 2024. достигао највише вредности у целокупном периоду (0.23), што представља *умерено јак вегетациони покривач под ниским водним стресом*.

У јулу индекс достиже своје највише вредности (0.26–0.32), што одговара *умерено јаком вегетационом покривачу са ниским водним стресом*. Изузев 2017. године, у свим осталим годинама вредности су релативно стабилне и без већих осцилација.

Септембар показује умерене вредности (0.14–0.26), што упућује на *умерен вегетациони покривач под умереним до високим водним стресом*. Ови резултати су у складу са завршетком вегетационог циклуса и постепеним губитком влаге.

*Графикон 3. Просечне годишње вредности NDMI индекса за период од 2017. до 2024. Године (погледати у енглеској верзији текста, стр. 549)*

## **NDWI**

На истраживаном подручју све забележене вредности NDWI-а биле су негативне (–0.32 до –0.68), што указује да унутар резервата доминира вегетација и земљиште, док водене површине нису биле у довољној мери заступљене да би генерисале позитивне вредности индекса. Ово је у складу са природним карактеристикама подручја, где су водена тела ограниченог обима и не представљају доминантан елемент пејзажа.

Просечне годишње вредности NDWI-а кретале су се између –0.45 (2017) и –0.57 (2018), без значајних осцилација у наредним годинама. Ови резултати потврђују да вегетациони покривач у истраживаном периоду није био подложен већим променама у водном садржају, већ је одржавао стабилан статус са уочљивим сезонским осцилацијама.

*Табела 5. Вредности NDWI индекса (погледати у енглеској верзији текста, стр. 549)*

*Слика 4. Карте NDWI индекса за 2017., 2020., и 2024. Годину (погледати у енглеској верзији текста, стр. 550)*

*Графикон 4. Просечне вредности NDWI индекса (погледати у енглеској верзији текста, стр. 550)*

Сезонска динамика NDWI-а показује да су у марту вредности умерено ниске (–0.32 до –0.41), што одражава стабилан, али ограничен садржај влаге у почетној фази вегетационог циклуса. У мају и јулу бележе се најниже вредности (до –0.68), што указује на појачан водни стрес и смањен водни садржај у биљној биомаси током најинтензивнијег периода фотосинтетске активности. Септембар конзистентно

бележи најниже вредности (−0.62 до −0.68), што је у складу са завршетком вегетационе сезоне и постепеним губитком влаге.

Просечне годишње вредности NDWI-а кретале су се између −0.45 (2017) и −0.57 (2018), без значајних осцилација у наредним годинама. Ови резултати потврђују да вегетациони покривач у истраживаном периоду није био подложен већим променама у водном садржају, већ је одржавао стабилан статус са уочљивим сезонским осцилацијама.

### **LDI (Land Degradation Index)**

Индекс деградације вегетације (LDI) анализиран је у две варијанте:

- у односу на **почетну годину серије (2017)**, која је узета као референтна тачка за праћење промена кроз време, и
- у односу на **просек за целокупни период (2017–2024)**, који представља неутралну основу за процену одступања појединачних година.

Када се 2017. година узме као почетна, све наредне године показују ниже вредности LDI-а у распону од −38% до −45% у односу на полазну тачку. Ово их сврстава у класу јаке деградације, што указује да је након почетка периода дошло до наглог пада и да се систем није вратио на почетни ниво.

*Табела 6. Вредности LDI индекса (2017. година као референтна) (погледати у енглеској верзији текста, стр. 551)*

Референтна вредност: **0.769** (2017).

Формула:  $\Delta (\%) = ((LDI_{\text{год}} - LDI_{2017}) / LDI_{2017}) \times 100$

*Табела 7. Вредности LDI индекса (просек 2017. – 2024. година као референтна) (погледати у енглеској верзији текста, стр. 551)*

Када се 2017. година узме као почетна, све наредне године показују ниже вредности LDI-а у распону од −38% до −45% у односу на полазну тачку. Ово их сврстава у класу јаке деградације, што указује да је након почетка периода дошло до наглог пада и да се систем није вратио на почетни ниво.

*Слика 5. Упоредни приказ LDI индекса за период од 2017. – 2020. године (погледати у енглеској верзији текста, стр. 552)*

*Слика 6. Упоредни приказ LDI индекса за период од 2020. – 2024. године (погледати у енглеској верзији текста, стр. 553)*

С друге стране, када се као референтни узме просек за цео период ( $\approx 0.486$ ), добија се избалансирана слика. У том случају:

- 2017. одступа позитивно за око +58%, што је сврстава у класу јаког побољшања;
- 2018. и 2024. имају вредности блиске просеку (−3% до −4%) и оцењују се као стабилне;
- период од 2019. до 2023. показује одступања од −10% до −13% у односу на просек, што упућује на умерену деградацију.

Оваквим двоструким приступом показано је да избор референтне тачке значајно утиче на интерпретацију резултата: ако се посматра у односу на почетну годину, уочава се јасно погоршање, док анализа у односу на просек указује на стабилност са благим осцилацијама и умерену деградацију у већини година.

## VCI (Vegetation Condition Index)

У анализи за период 2017–2024, просечне вредности VCI кретале су се у интервалу од 67.24 (2017) до 79.70 (2018). Најниже минималне вредности (14.77 у 2022. години) указују на постојање локализованих зона под изразитим стресом, док су максималне вредности биле стабилне (81–94), што потврђује да је у свим годинама део вегетације остао у оптималном стању. Стандардна девијација се повећавала у каснијем периоду, што упућује на растуће просторне разлике унутар резервата.

*Слика 7. Упоредни приказ VCI индекса за период од 2017. – 2020. године (погледати у енглеској верзији текста, стр. 554)*

*Слика 8. Упоредни приказ VCI индекса за период од 2020. – 2024. године (погледати у енглеској верзији текста, стр. 554)*

*Табела 8. Вредности VCI индекса (погледати у енглеској верзији текста, стр. 555)*

## Мапа ризика

Анализа просторне расподеле ризика деградације вегетације у периоду 2017–2024 показала је значајне међугодишње осцилације унутар СРП „Брзанско моравиште“.

У 2017. години, која је узета као референтна, доминирао је **низак ризик** (52,92%), док је удео **средњег ризика** износио 6,72%, а **висок и врло висок ризик** били су занемарљиви (1,07% укупно). Ова структура указује на релативно стабилно стање вегетационог покривача на почетку анализираних година.

Наредних година уочава се постепено повећање ризика. Већ 2019. године највећи део резервата био је у категоријама **средњег (35,49%)** и **низког ризика (18,76%)**, док је **висок ризик** достигао 4,28%.

Најкритичнија је била **2022. година**, када је категорија **средњег ризика** доминирала са 42,94%, док је чак 15,67% површине било у категорији **високог ризика**, а 2,88% у **врло високом ризику**. Ово представља врхунац деградационих процеса у читавом периоду анализе.

У завршним годинама анализе (2023–2024) уочава се извесна стабилизација: удео високог ризика смањен је на 3,81% (2023) и 2,52% (2024), док је врло висок ризик остао релативно константан (3,11% у 2023, односно 2,46% у 2024). Истовремено, највећи део подручја је био у категоријама **низак до средњи ризик**, што указује на делимичан опоравак вегетације након 2022. године.

*Графикон 5. Процентуална расподела ризика по годинама (погледати у енглеској верзији текста, стр. 555)*

*Графикон 6. Кретање категорија ризика кроз време (погледати у енглеској верзији текста, стр. 556)*

*Слика 9. Упоредни приказ мапа ризика за период од 2017. – 2020. године (погледати у енглеској верзији текста, стр. 556)*

*Слика 10. Упоредни приказ мапа ризика за период од 2021. – 2024. Године (погледати у енглеској верзији текста, стр. 557)*

Сумирано за цео период, просечне вредности показују да је **низак ризик** био доминантан ( $\approx$  50–60% укупне површине), док је **средњи ризик** чинио 30–40%. Удео **високог и врло високог ризика** креће се од 5% до 20% у најугроженијим годинама. Категорија „без ризика“ готово је занемарљива ( $\leq$ 1%).

Ови резултати указују да је простор резервата углавном у стању **ниског до средњег ризика**, али са изразитим деградационим епизодама (нпр. 2022) које су вероватно условљене комбинацијом климатских екстрема и локалних антропогених утицаја.

## Дискусија

Резултати анализе индекса вегетације у СРП „Брзанско моравиште“ показују да је простор у периоду 2017–2024. године углавном задржао стабилно стање, али са уочљивим сезонским и међугодишњим варијацијама. Највећа снага примене сателитских података огледа се у могућности да се различити индекси комбинују и упоређују, чиме се добија свеобухватнија слика динамике деградације и регенерације вегетације.

NDVI указује на благо повећање укупне виталности вегетације током посматраног периода, уз поједине падове у критичним годинама. NDMI је потврдио да се влажност у биомаси углавном одржавала на повољном нивоу, иако се уочавају сушније епизоде, нарочито у летњем периоду. С друге стране, NDWI показује да укупна распрострањеност површинских вода нема значајнији тренд промена, али локално утиче на регенерацију или деградацију суседних вегетационих целина.

VCI је показао да је вегетација углавном у добром стању, али да постоје године са повећаним ризиком од стреса. Посебно се издваја 2022. година, када је забележен најнижи просек и највећа просторна варијабилност, што је вероватно последица комбинације сушних услова и антропогеног притиска. Иако је већина година показала задовољавајуће вредности, повећана варијабилност у последњим годинама упућује на постојање локалних жаришта деградације.

LDI, посматран у односу на 2017. годину као базну, указује на почетни пад виталности, након чега следи делимична стабилизација у каснијим годинама. Овде је важно нагласити да избор референтне године утиче на апсолутне вредности LDI, али без обзира на то, уочава се да систем није равномерно деградирао, већ да постоје зоне опоравка и зоне трајног губитка биомасе.

Карта ризика, која комбинује LDI и VCI, омогућила је идентификацију најугроженијих зона. Највећи део подручја припада категорији ниског до умереног ризика, али су уочена и жаришта високог ризика, која су просторно ограничена али еколошки значајна. Најизраженији ризик је такође детектован у 2022. години, што је у складу са резултатима осталих индекса.

У ширем контексту, ови резултати имају практичан значај за управљање заштићеним подручјем. Просторна анализа индекса омогућава прецизну локализацију зона деградације, што може помоћи у планирању мера очувања, као што су реституција водног режима, мониторинг критичних делова или ублажавање аграрног притиска. Такође, показано је да климатски екстремни (попут сушне 2022) имају пресудан утицај на динамику вегетације, што је релевантно у светлу пројекција климатских промена.

## **Закључак**

Истраживање деградације вегетације у СРП „Брзанско моравиште“ применом сателитских индекса омогућило је свеобухватну процену динамике у периоду 2017–2024. године.

NDVI, NDMI и NDWI показали су да је биомаса углавном стабилна, да влажност вегетације варира али остаје у границама функционалности, док површинске воде немају изражен тренд промена.

VCI је идентификовао критичне године, при чему је 2022. представљала највећи ризик од деградације.

LDI је указао да је почетни пад у односу на базну 2017. делимично ублажен у каснијем периоду, уз просторну неравномерност процеса.

Карта ризика показала је да највећи део простора припада ниском до умереном ризику, али да постоје локализоване зоне високог ризика које захтевају приоритетну заштиту.

Резултати потврђују да интеграција више индекса (NDVI, NDMI, NDWI, VCI, LDI) представља поуздан приступ у процени стања вегетације и детекцији деградације. Оваква анализа не само да омогућава реконструкцију прошлог стања и трендова, већ пружа и практичну основу за будуће мере очувања и управљања.

У целини, може се закључити да је вегетација у СРП „Брзанско моравиште“ у посматраном периоду задржала релативну стабилност, уз уочљиве краткотрајне стресне фазе и локалне зоне деградације. Највећи изазови у наредном периоду остају климатски екстреми и антропогени утицаји, који могу појачати ризик деградације, али који се кроз систематски мониторинг могу благовремено уочити и ублажити.

Сукоб интереса: Аутори изјављују да нема сукоба интереса.

Напомена издавача: Српско географско друштво остаје неутрално по питању јурисдикције у објављеним мапама и институционалним везама.

© 2025 Српско географско друштво, Београд, Србија.

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs 3.0 Serbia.

**Литература** (погледати у енглеској верзији текста)