

Original scientific paper

UDC 551.3.053(282)(497.11)
<https://doi.org/10.2298/GSGD2502659S>

Received: October 24, 2025

Corrected: November 26, 2025

Accepted: December 4, 2025

**Tanja Srejić¹*, Sanja Manojlović*, Emina Kričković*,
Aleksandar Kovjanić***

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

INFLUENCE OF DOMINANT GEOGRAPHICAL FACTORS ON THE GEOSPATIAL DIFFERENTIATION OF SOIL EROSION IN- TENSITY IN THE VELIKA MORAVA BASIN

Abstract: Soil erosion, as a complex geomorphological process, is conditioned by the natural characteristics of an area, but its intensity is significantly amplified by various forms of anthropogenic activity. The main objectives of this research are: (1) to quantify erosion processes in the rural areas of the Velika Morava Basin; (2) to examine the geospatial differentiation of settlements based on the most significant geographical factors; and (3) to determine the influence and hierarchy of geographical determinants that shape the intensity of soil erosion. The Erosion Potential Model (EPM) was applied to identify and assess the degree of soil erosion risk. Geospatial differentiation of rural settlements was performed using Factor Analysis (FA) on a set of 18 selected geographical indicators grouped into three categories: physical-geographical, demographic, and agrarian-geographical. The first four extracted factors explain 79.52% of the total variance. The results show indicate that the majority of settlements are determined by natural conditions and demographic characteristics. This multidisciplinary methodological framework provides an important basis for developing sustainable soil management policies, diversifying the rural economy, and revitalising rural areas.

Keywords: Erosion Potential Model (EPM), Factor Analysis (FA), physical-geographical indicators, agrarian-geographical indicators, demographic indicators

¹ tanja.srejic@gef.bg.ac.rs

Tanja Srejić (<https://orcid.org/0000-0002-7798-4808>)

Sanja Manojlović (<https://orcid.org/0000-0003-2224-5183>)

Emina Kričković (<https://orcid.org/0000-0002-0737-5636>)

Aleksandar Kovjanić (<https://orcid.org/0000-0001-8639-8985>)

Introduction

Soil erosion, as a global phenomenon (Borelli et al., 2021), affects all continents and is recognised as a major threat to agriculture and the environment (Panagos et al., 2015; Borelli et al., 2020; Kucher et al., 2021; Di Bene et al., 2022). This complex geomorphological process is conditioned by natural factors and intensified by human activities. Changes in any of these factors may alter the intensity and the spatial and temporal distribution of soil erosion (Golosov et al., 2018). The same factors will not have identical effects on soil erosion across different geographical environments. Moreover, viewed through a temporal lens, the influence of certain soil erosion factors may vary over time within the same area (Guo et al., 2021). Some factors of soil erosion are more prone to temporal fluctuations than others, such as climatic factors, hydrological characteristics, vegetation, and anthropogenic activities (Min et al., 2024).

In this context, numerous studies attempt to quantify the influence of natural conditions on water erosion and thereby contribute to soil protection by preventing substantial losses of this resource. The geological and pedological characteristics of a given area can influence erosion (Ouallali et al., 2020). Soil erosion occurs across all soil types, with only the intensity of erosion varying. The fundamental properties of the soil, as well as its current state, determine the direction and intensity of erosion (Guo et al., 2017; Kidane et al., 2019; Tavares et al., 2019; Li et al., 2019).

Morphometric characteristics of an area may influence soil loss rates. Research has shown that lithological and morphometric terrain features can have a greater impact than precipitation (Aalto et al., 2006). Slope angle is often cited as an important factor in erosion (Solaimani, Modallaldoust & Lotfi, 2009; Shen et al., 2016; Li et al., 2019; Xiao et al., 2021; Guo et al., 2021). Erosion may also vary across different elevation zones (Manojlović, 2019). The frequent interaction between geomorphological and hydrological phenomena (Baharvand & Pradhan, 2022) often contributes to high soil erosion intensity. Finally, a combination of diverse natural conditions may act as the main drivers of increased erosion rates. Intense precipitation and earthquakes, which trigger landslides and mass movements, can generate large quantities of sediment over shorter time periods (Zorn & Komac, 2006).

Climatic conditions, particularly high precipitation amounts, are a significant determinant of soil erosion processes (Jones et al., 2012; Aulakh & Sidhu, 2015; Tehrani et al., 2017). The combination of heavy precipitation and steep slopes results in high erosion rates (Ahmadi et al., 2020). The interaction between climate change and soil erosion is one of the central topics in soil science (Van den Born et al., 2000; Shen et al., 2016). Research findings demonstrate that climate change has a substantial impact on the intensity of soil erosion (Jones et al., 2012; Pepin et al., 2013; Eekhout & De Vente, 2022).

Changes in vegetation cover are considered one of the main determinants of the erosion process (Zeleeke & Hurni, 2001; Sharma et al., 2011; Serpa et al., 2015; Golosov et al., 2018; Uddin et al., 2018). Seasonal fluctuations in vegetation cover may also be a major cause of intra-annual variations in erosion (Dragičević, Karleuša & Ožanić, 2018). Deforestation driven by high population density or intensive livestock development (Ananda & Herath, 2003; Greipsson, 2012) has caused erosion of unprecedented magnitude. The absence of planned land management has led to extensive soil losses

and large-scale degradation. The main reason for poor land management is rapid population growth and increasing food demand (Tsegaye & Bharti, 2023). Agrarian overpopulation, combined with natural conditions—steep slopes and extreme climatic conditions reflected in intense precipitation—drives dynamic changes in soil erosion (Fenta et al., 2020). However, opposite trends also exist. Certain parts of Serbia, from the perspective of soil erosion, are characterised by specific transformations of agrarian landscapes (Živanović et al., 2022; Malinić et al., 2025), which over the past few decades have contributed to a noticeable decline in soil erosion.

Given the geostrategic, transportation, and economic importance, as well as the considerable agricultural potential of the Velika Morava Valley, the focus of this study is the rural area of the Velika Morava Basin (438 rural settlements). The main objectives of this research are: (1) to quantify erosion processes in the rural areas of the Velika Morava Basin; (2) to analyse the geospatial differentiation of settlements based on the most significant geographical factors; and (3) to determine the influence and hierarchy of geographical factors shaping the intensity of soil erosion. Achieving these objectives required the application of a methodological framework that integrates contemporary methods of physical and human geography with statistical techniques. Such a multidisciplinary methodological design provides an important foundation for developing sustainable soil management policies, diversifying the rural economy, and revitalising rural areas.

Methodology of the Research

Study Area

The Velika Morava Basin (6,734 km²) is located between the Carpatho-Balkan Mountains and the mountains of the Serbian–Macedonian Massif (Menković et al., 2018). The average elevation is approximately 260 m. The geological substratum is predominantly composed of Holocene alluvial deposits and Neogene lacustrine sediments. The basin lies in the transitional zone between the Cfa and Cfb climate types according to the Köppen classification, with a predominantly continental climatic character (Milovanović et al., 2017). According to the WRB soil classification, the basin is mainly characterized by Eutric Cambisols and Vertisols, while Fluvisols and humic Fluvisols occur in alluvial plains, and Leptosols and Eutric Leptosols in mountainous and higher-elevation areas (World Reference Base).

Urban centres are situated within the Velika Morava Valley, along Pan-European Corridor X, as well as in the valleys of major tributaries. Most rural settlements are located in the municipalities of Kragujevac (56), Jagodina (52), and Paraćin (34). The region is marked by pronounced depopulation and deagrarianisation processes. The rural population declined by 29% between 1961 and 2011 (from 559,836 to 397,730 inhabitants) (Statistical Office of the Republic of Serbia).

Data Sources

For each rural settlement, 18 geographical indicators were defined, grouped into three categories (physical-geographical, agrarian-geographical, and demographic) (Srejić, 2023). The physical-geographical indicators include: specific gross erosion (Ws), erosion coefficient (Z), mean elevation (A), slope angle (S), share of Neogene sediments and alluvium (NSA), and forest cover (F). The agrarian-geographical indicators include: index

of deagrarianisation on agricultural land (Index AgL), index of deagrarianisation on arable land (Index ArL), share of arable land within agricultural land (ArLs), general agrarian population density (GDAGL), and specific agrarian population density (SDArL). The demographic indicators include: depopulation index (Index RP), rural population density (DRP), vitality index (Index V), average age of the rural population (RPav), elderly rural population (ORP), household index (Index H), and household size index (Index Hs). The demographic and agrarian indicators were calculated based on data from the Statistical Office of the Republic of Serbia for the years 1961, 2011, and 2012 (<https://www.stat.gov.rs/>). The method of index numbers was used to quantify the magnitude of changes in the selected indicators (Srejić, 2023).

Soil Erosion Assessment

Soil erosion in the Velika Morava watershed was assessed using the Erosion Potential Method (*EPM*). Sediment yield (W) is calculated according to the following formula (Gavrilović, 1972):

$$W = T \cdot H \cdot \pi \cdot \sqrt{Z}^3 \cdot F \quad (1)$$

Where: W (m³/year) – total annual gross erosion; T – temperature coefficient: $T = \sqrt{(t/10 + 0.1)}$; t – the mean annual air temperature (°C); H (mm) – mean annual precipitation; Z – erosion coefficient; F (km²) – watershed area.

EPM uses a scoring approach for three descriptive variables to calculate the erosion coefficient: soil resistance coefficient (Y), soil protection coefficient (X), and coefficient of erosion type and extent (φ). The erosion coefficient (Z) can be calculated using the following equation:

$$Z = Y \cdot X \cdot (\varphi + \sqrt{I}) \quad (2)$$

Where Y is the soil resistance coefficient, X is the soil protection coefficient, φ is the coefficient of erosion type and extent, and I is the slope angle (%). The application of the *EPM* for assessing soil erosion risk is used at various spatial scales, from global applications (Bezák et al., 2024) to smaller territorial units such as torrent watersheds (Aleksova et al., 2023; Petrović et al., 2024) or settlements (Veličković et al., 2022; Srejić et al., 2023). It has been applied in areas with high-mountain climates (Elbadaoui et al., 2023; Durlević et al., 2025), arid climates (Abdullah et al., 2017), tropical climates (Tavares et al., 2019), Mediterranean regions (Stefanidis & Stathis, 2018), etc. However, the majority of studies highlight the watershed as the primary spatial unit of application (Durlević et al., 2019). Its fundamental role is the assessment of vulnerability to water erosion, but modern remote sensing and GIS methods have advanced and expanded its application (Polovina et al., 2024; Malušević et al., 2025).

Statistical Methods

In the next phase of the research, spatial differentiation was performed using Factor Analysis (FA). This statistical procedure is based on the idea that a high degree of correlation between two or more basic indicators (variables) allows their substitution with a common indicator. This enables a unified quantitative formulation of hidden structures, i.e., new diagnostic indicators representing a complex of combined variables that are not directly observable (Sibinović et al., 2024). The listed stages are:

1. Rural settlements were differentiated according to the extracted factors.
2. The order of factors is not random, but reflects their significance in the overall analysis.
3. For each factor, a specific number of basic indicators was identified, which statistically define the given factor.
4. Settlements within a single factor are interconnected by the same basic indicators, reflecting their mutual similarity.
5. The sign of the factor scores (+/-) indicates the differentiation of a given phenomenon even within the factor itself. Thus, settlements within a single factor are similar, as they are determined by the same combination of basic indicators. On the other hand, these settlements differ from each other if the sign of the factor score differs (Srejić, 2023).

Results and discussions

Results of previous research have shown that changes in erosion intensity during the analysed period were predominantly influenced by deagrarianization processes of varying intensity, driven by depopulation processes of the rural population (Srejić et al., 2025). Spatial differentiation was performed using FA. This method enabled a multi-layered analysis of the rural area in Velika Morava Basin.

The assessment of data suitability for Factor Analysis (FA) indicated that the analysis was justified, as the Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) value was 0.761 and $p < 0.0001$ (Kaiser, 1974). According to Table 1, the first four principal factors explain 79.52% of the total variance: Factor 1 explains 28.56%, Factor 2 explains 25.51%, Factor 3 explains 16.44%, and Factor 4 explains 9.01%.

Table 1. Percentage of variance and cumulative variance after Varimax rotation

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
Variability (%)	28.56	25.51	16.44	9.01
Cumulative (%)	28.56	54.07	70.51	79.52

Table 2. Differentiation and order of geographical factors after Varimax rotation. (Rotation method: Varimax rotation with Kaiser normalization; bolded values indicate correlated variables included in PCs > 0.40)

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Communality
Ws	0.909	0.004	0.037	0.181	0.861
Z	0.929	0.007	0.041	0.170	0.894
A	-0.867	-0.037	-0.274	-0.023	0.829
S	-0.917	-0.033	-0.246	-0.113	0.916
NSA	0.560	0.001	0.193	0.127	0.367
F	-0.807	-0.015	-0.220	-0.137	0.718
Index AgL	0.355	-0.014	0.141	0.724	0.671
Index ArL	0.297	-0.026	0.095	0.950	1.000
ArLs	0.664	-0.029	0.100	0.193	0.489
GDAgL	0.008	0.981	0.100	-0.036	0.974
SDArL	-0.070	0.980	0.091	-0.056	0.978
Index RP	-0.006	0.878	0.300	-0.019	0.861
DRP	0.078	0.955	0.120	0.026	0.932
Index V	0.238	0.170	0.877	0.086	0.863
RPav	-0.276	-0.074	-0.886	-0.140	0.886
ORP	-0.301	-0.071	-0.871	-0.115	0.867
Index H	0.042	0.214	0.508	-0.016	0.306
Index Hs	0.023	0.947	0.051	0.038	0.901

Natural Conditions as a Determinant of Soil Erosion (Factor 1). This settlement area includes 43.2% of rural settlements, i.e., 189 rural settlements in the immediate Velika Morava watershed. Half of the rural area of the watershed (51%) is covered by this factor. These relatively homogeneous settlement areas occupy the peripheral southeastern and southwestern parts of the watershed. Additionally, this type of settlement includes settlement areas located in the valleys of Velika Morava, Jasenica, Kubrušnice, and Jezava rivers in the north (Figure 1). Thus, a large number of settlements are determined by the following basic indicators: *Ws*, *Z*, *A*, *S*, *NSA*, *F*, *ArLs* (Table 2). Based on this, it can be concluded that natural conditions play a significant role in the watershed rural area differentiation. High correlation coefficients indicate that the importance of each basic indicator individually is substantial (Graph 1). The negative correlation between specific gross erosion and the intensity of the erosion process on one hand, and elevation ($r=-0.867$), forest cover ($r=-0.807$), and slope ($r=-0.917$) on the other, demonstrates the expected decrease in erosion with increasing elevation. Although steeper slopes generally indicate a higher predisposition to erosion, here the negative correlation implies the opposite effect. The reduction of erosion with increasing slope can be explained by the significant share of forest cover at higher elevations. Positive correlation values with Neogene sediments ($r=0.560$) and with the share of arable land in agricultural land ($r=0.664$) indicate a higher vulnerability to erosion.

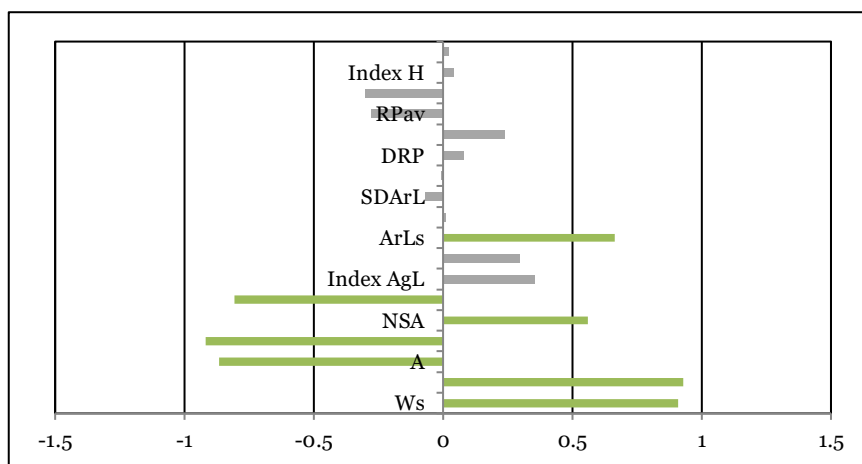


Fig. 1. Natural Conditions as Determinants of Soil Erosion

Mapping of soil erosion showed that in these settlements, erosion decreased during the analysed period. The average erosion coefficient in 1971 was $Z_1=0.548$, while in 2011 the intensity of the erosion process decreased to $Z_2=0.420$. The reduction in erosion intensity by 23% aligns with the decrease in specific gross erosion by 28%. Specific gross erosion was $Ws_1=1049.3$ m³/km²/year in 1971 and decreased to $Ws_2=757.4$ m³/km²/year in 2011. Analysis of natural conditions yielded the following results. The average elevation in settlements of this type is $A=280$ m, and the average slope angle is $S=7.3^\circ$. This type of settlement has the highest richness in forest cover (29.6%), as well as the highest proportion of the rock complex *NSA* (39%). The share of arable land within agricultural land in these settlements is the highest (approximately 75%). However, it

should be noted that arable land is the dominant form of agricultural land use in other settlement types as well.

On Map 1, the differentiation of these settlements into two relatively independent settlement areas is clearly visible. Analysis of factor scores allows a more detailed insight into the variability of these areas. The peripheral southeastern and southwestern parts of the watershed are characterised by higher elevation ($A=400$ m) and steeper slopes ($S=2.3^\circ$). Forest cover is extensive (57%), while the share of the rock complex NSA is relatively low (14.2%). Arable land is the dominant form of agricultural land use (58%). These natural conditions also determined the intensity of soil erosion and specific gross erosion. During the analysed period, the intensity of the erosion process decreased from $Z_1=0.359$ to $Z_2=0.227$ (a reduction of 37%). Specific gross erosion was $W_{s1}=648.1$ m³/km²/year in 1971 and $W_{s2}=332.1$ m³/km²/year in 2011. Thus, a significant reduction in both the intensity of the erosion process (37%) and specific gross erosion (48%) occurred in this area.

The second larger settlement area comprises 107 rural settlements and is located in the valley of the Velika Morava and the valleys of its left tributaries (Jasenička, Kubršnica, and Jezava) (Map 1). Compared to the previous group of settlements, this rural area is characterised by completely different natural conditions. These settlements are located on lower terrain ($A=157$ m), with an average slope angle of $S=3.4^\circ$. Forest cover is less represented ($F=8.6\%$). The rock complex NSA is widely distributed (57.8%), and therefore, the share of arable land within total agricultural land is high (88%). Changes in the intensity of the erosion process are not as pronounced as in the previous settlement area. Mapping results of soil erosion showed that the intensity of the erosion process decreased by 18%, with the erosion coefficient being $Z_1=0.693$ in 1971 and $Z_2=0.568$ in 2011. The reduction in erosion intensity was accompanied by a nearly identical decrease in specific gross erosion. In 2011, specific gross erosion was $W_{s2}=1083$ m³/km²/year, which is 20% lower than in 1971 ($W_{s1}=1357$ m³/km²/year).

Anthropopressure as a Determinant of Soil Erosion (Factor 2). The rural area determined by Factor 2 includes only 1% of rural settlements, i.e., 5 rural settlements (Map 1). Vrbica is part of the peri-urban zone of Arandelovac. Kovačevac and Mladenovac villages are part of the peri-urban zone of Mladenovac. These three settlements are located in the northern part of the watershed. In the southern part of the watershed, Voljavče and Trnava are located, i.e., part of the peri-urban zone of Jagodina. Although this is a very small area, the distinctiveness of these settlements is pronounced. The basic indicators that determine them and distinguish them as a separate type of settlement are: *GDAGL*, *SDArL*, *Index RP*, *DRP*, and *Index Hs* (Table 56). These basic indicators clearly confirm that these are settlements with high population potential (Graph 2). The main characteristic is the increase in population on one hand, and the reduction of agricultural land on the other. According to the 1961 census, 9,700 inhabitants lived here, while in 2011, there were almost 36,000 inhabitants. As a result, *GDAGL*, *SDArL*, and *DRP* have the greatest significance, as their correlation coefficients are close to 1 ($r=0.981$, $r=0.980$, $r=0.955$, respectively). These settlements also have the highest population vitality (190%), the lowest average age (41.2 years), and the smallest share of elderly population (14.2%), accompanied by an increase in the number of households (284%). These demographic characteristics have secondary importance, but certainly provide a more detailed determination of the demographic potential of this area.

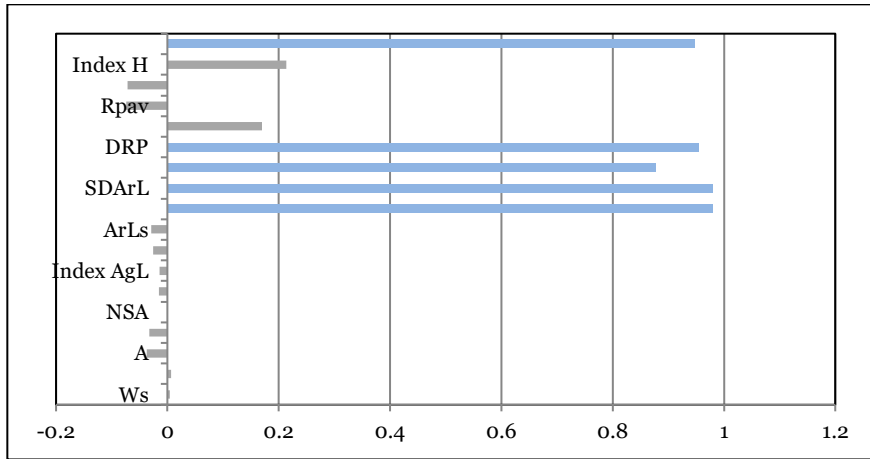


Fig. 2. Anthropogenic pressure as a Determinant of Soil Erosion

Despite the evident demographic potential, soil erosion also decreased in these settlements. In 1971, the intensity of the erosion process was $Z_1=0.554$, while in 2011 it was $Z_2=0.438$. This reduction of 21% corresponds to a decrease in specific gross erosion of 24%. Specific gross erosion was $W_{s1}=1020 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{year}$ in 1971 and $W_{s2}=775 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{year}$ in 2011.

An interesting example is provided by two neighbouring settlements in the peri-urban zone of Mladenovac. The largest reduction in soil erosion occurred in Mladenovac village (37%). A more detailed analysis of the agricultural land showed that the greatest losses of agricultural and arable land occurred here (approximately 60%). The population increased 20-fold during the analysed period. These are the main causes of high population and agricultural pressure on the land. However, this did not result in higher erosion rates, as the population is heavily influenced by the urban centre of Mladenovac and does not engage in intensive agriculture. On the other hand, in Kovačevac, specific gross erosion increased by 15%. Compared to other settlements of this type, it is distinguished by the smallest reduction in arable land (15%). Here, the land-use pattern is the reason for higher vulnerability to soil erosion compared to other settlements.

Demographic Determinants of Soil Erosion (Factor 3). This factor includes 36.5% of rural settlements (160 settlements). The majority of these settlements are located in the central and southern parts of the Velika Morava watershed. A slightly smaller settlement area is located in the far north and northwest (Map 1). These settlements are determined by demographic basic indicators: *Index V*, *RPav*, *ORP*, and *Index H* (Table 56). Their significance in differentiating these settlements is almost equal, as the correlation coefficients are approximately the same (Graph 3). The exception is *Index H*, which has lower significance ($r=0.508$). Population vitality and changes in the number of households are inversely proportional to the average age and the share of the elderly population in the settlements. Therefore, they differ from each other according to the sign of the factor scores (Graph 3).

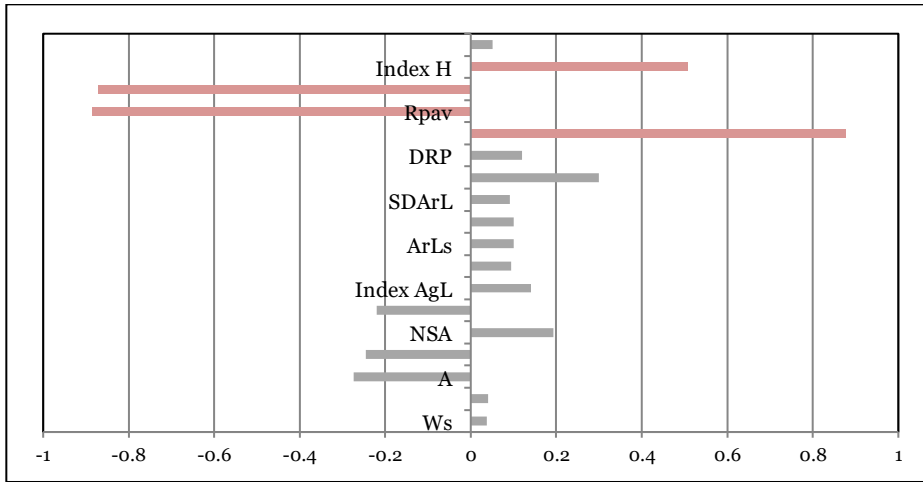


Fig. 3. Demographic Determinants of Soil Erosion

The vulnerability to soil erosion is indicated by the following data. The erosion coefficient decreased from $Z_1=0.574$ in 1971 to $Z_2=0.425$ in 2011. Specific gross erosion was $W_{s1}=1099 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{year}$ in 1971 and $W_{s1}=747 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{year}$ in 2011. Thus, the intensity of the erosion process decreased by 26%, and the specific gross erosion by 32%. The reasons for the observed changes in soil erosion can be attributed to the basic demographic indicators. Compared to the other three types of settlements, the demographic settlement type is characterised by the lowest population vitality (*Index V*=97.5), the highest average age (*RPav*=47.3 years), the largest share of elderly population (approximately 26%), and the lowest household index (*Index H*=97).

Since this type includes a large number of settlements, internal contrasts exist within the demographic type. In this context, this type of settlement can be provisionally divided into two settlement areas (Map 1). Although not spatially uniform, one of these areas occupies the southern parts of the watershed and includes 87 rural settlements. The intensity of the erosion process was $Z_1=0.601$ in 1971 and $Z_2=0.405$ in 2011. Thus, the intensity of the erosion process decreased by 33%. Changes in specific gross erosion were even greater (41%). In 1971, specific gross erosion was $W_{s1}=1192 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{year}$, and in 2011 it was $W_{s2}=704 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{year}$. These settlements are characterised by pronounced demographic ageing. The average age (51.4 years) and the high share of elderly population (34%), together with low vitality (57%) and a reduction in the number of households (66%), are primary features of this part of the demographic settlement type. These settlements also experienced a significant decline in population. The rural population decreased by 53% during the analysed period. The depopulation process was accompanied by an intensive process of deagrarization of agricultural land. In these settlements, the agricultural land fund was almost halved.

On the other hand, there are rural settlements where completely different demographic processes are present. These are key to understanding the smaller changes in soil erosion over time. The erosion coefficient was $Z_1=0.542$ in 1971 and decreased to $Z_2=0.449$ in 2011. Specific gross erosion decreased from $W_{s1}=987 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{year}$ in 1971 to $W_{s2}=798 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{year}$ in 2011. Thus, a reduction in soil erosion of 20% was identified here. The

basic indicators of this part of the watershed show a significantly higher demographic potential compared to the previous area of the same settlement type. A threefold higher population vitality (146%) with a lower average age (42 years) is accompanied by a twofold higher household index (134.6%) and a twofold lower share of elderly population (17%). The number of inhabitants decreased by only 12%. The process of deagrarization is more intensive on agricultural land than on arable land. Agricultural land decreased by 30%, while arable land decreased by 20%.

Changes in Agricultural and Arable Land as Determinants of Soil Erosion (Factor 4). This factor includes 19.2% of rural settlements, specifically 84 rural settlements. Unlike the previous settlement type, this type does not include large continuous settlement areas. A certain number of settlements are located in the Velika Morava valley in the southern part of the watershed, as well as in the valleys of the Lepenica and Rača rivers. The northernmost settlements are positioned in the Jezava watershed (Map 1). The basic indicators that determine these settlements are Index AgL and Index ArL (Table 56). Based on the values of these parameters, it can be unequivocally determined how the process of deagrarization on agricultural and arable land affects soil erosion. The correlation coefficient values indicate a relatively high association of this factor with deagrarization on agricultural land ($r=0.724$) and a very high association with deagrarization on arable land ($r=0.950$) (Graph 4).

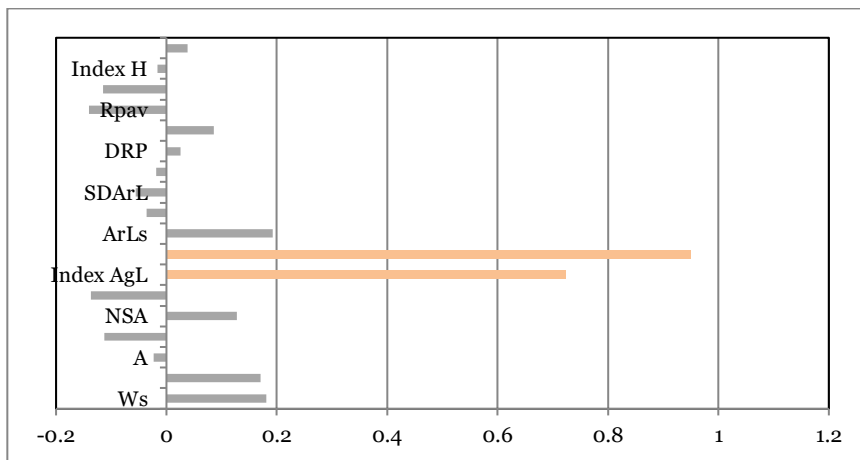


Fig. 4. Changes in Agricultural and Arable Land as Determinants of Soil Erosion

As in the other settlement types, a reduction in soil erosion was also observed in this type. The following data illustrate this. In 1971, the average erosion coefficient was $Z_1=0.579$, and the specific gross erosion was $W_{s1}=1089 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{year}$. Over the past forty years, the intensity of the erosive process decreased by 23%. This represents the smallest reduction in erosive intensity compared to the other settlement types. The specific gross erosion decreased by 28%. Thus, in 2011, the average erosion coefficient was $Z_2=0.445$, while the specific gross erosion was $W_{s2}= 786 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{year}$. The reduction of agricultural land by 30% and arable land by 12% indicates that the process of deagrarization is the least pronounced in this settlement type. This is the main common characteristic of these settlements. However, differences exist within this type. Based on the signs of the factor scores, two subtypes can be distinguished.

The analysis of the state of the erosive process yielded the following results. One of the two subtypes of settlements includes 40 rural settlements. Over the past forty years, the intensity of the erosive process decreased by 25%. In 1971, the average erosion coefficient was $Z_1=0.538$, while in 2011 it was $Z_2=0.403$. The specific gross erosion decreased by approximately 30%, from $W_{s1}=984 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{year}$ in 1971 to $W_{s2}=686 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{year}$ in 2011. However, the most dominant characteristic of this settlement area is the very intensive process of deagrarization. The intensity of deagrarization on agricultural land ($Index \text{ AgL}=41$) is consistent with the intensity of deagrarization on arable land ($Index \text{ ArL}=40$).

The second settlement subtype comprises 44 rural settlements. In this group, the intensity of the erosive process in 1971 was $Z_1=0.616$, while in 2011 it was $Z_2=0.483$, representing a decrease of 22%. This reduction was accompanied by an almost identical decrease in specific gross erosion (26%), from $W_{s1}=1185 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{year}$ in 1971 to $W_{s2}=876 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{year}$ in 2011. However, the deagrarization process in this settlement area did not reach the intensity observed in the previous subarea. On the contrary, the high values of the deagrarization indices indicate the opposite trend. The deagrarization index for agricultural land ($Index \text{ AgL}=96$) shows that these settlements experienced a very weak deagrarization process, with the agricultural land stock remaining stable over time. On the other hand, the arable land index ($Index \text{ ArL}=131$) indicates that the stock of arable land increased by one-third.

During the period 1971–2011, the intensity of changes in soil erosion in these two settlement subtypes was almost identical. However, certain differences emerge when considering the current state. In the settlement subarea with a more intensive deagrarization process, the intensity of the erosive process is one-fifth lower, and the specific gross erosion is one-third lower compared to the other subarea.

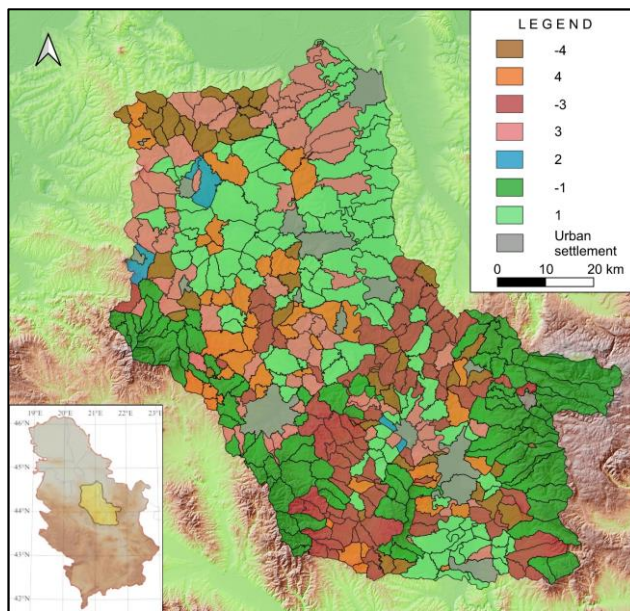


Fig. 5. Geographic distribution of rural settlements according to dominant geographic factors (-1 and 1 – natural conditions as determinants of soil erosion; 2 – anthropoppression as a determinant of soil erosion; -3 and 3 – demographic determinants of soil erosion; -4 and 4 – changes in agricultural and arable land as determinants of soil erosion)

Soil erosion, as a global environmental challenge, increasingly affects sustainable resource management, agricultural productivity, and rural development. The loss of fertile topsoil accelerates environmental degradation and threatens long-term food security. In Serbia, particularly in its central regions, this issue is closely linked to the socio-economic processes that have been unfolding since the mid-20th century (Srejić et al., 2025). The period after the Second World War was marked by profound changes in land use and vegetation cover, driven by industrialization and urbanization. Although these processes aimed to improve living conditions, they simultaneously contributed to rural depopulation and the abandonment of traditional agricultural practices.

The results of this study are consistent with previous research conducted in this area (Srejić et al., 2023). These studies showed that settlements located in the central and southern parts of the basin possess more stable or more favorable natural conditions for soil conservation. On the other hand, these settlements are affected by demographic decline and the weakening of agricultural activities. Nevertheless, this allows for a partial recovery of natural vegetation. Settlements located in the northern part of the basin and in the peri-urban zones of larger cities-areas with significant demographic and agricultural potential-face considerably greater threats of land degradation. This confirms that more intensive land exploitation and higher population density, if not accompanied by sustainable practices, can increase the risk of erosion even under otherwise favorable environmental conditions. Contemporary research highlights the need to align ecological initiatives with local socio-economic circumstances, promoting approaches that balance environmental goals with development needs.

Conclusion

The combined use of EPM and FA enabled the identification of the individual and interactive influence, as well as the hierarchy, of natural, demographic, and agrarian-geographical determinants. This multidisciplinary approach enables a more precise delineation of zones with varying degrees of vulnerability, thereby providing a basis for sustainable soil management, the planning of protection measures, rural economic diversification, and the revitalisation of rural areas. The results of the research showed that geographical factors, such as lithological composition, slope, and elevation, play a dominant role in shaping the spatial differentiation of soil erosion intensity in the Velika Morava Basin. At the same time, the depopulation of rural areas, the abandonment of agricultural land, and the decline of traditional land-use practices further intensify the spatial contrasts in erosion dynamics.

By comparing historical erosion data with modern indicators, long-term trends were identified. Future research could build on this study by incorporating more detailed spatial data and long-term monitoring to capture the temporal dynamics of soil erosion and settlement changes. Integrating socio-economic variables, land-use policies, and climate change projections would further enhance understanding of the interactions between human activities and natural conditions. Comparative analyses with other river basins in the region could help generalise findings and refine methodological approaches.

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

- Aalto, R., Dunne, T., Guyot, J. (2006). Geomorphic controls on Andean denudation rates. *The Journal of Geology* 114, 85-99.
- Abdullah, M., Feagin, R., & Musawi, L. (2017). The use of spatial empirical models to estimate soil erosion in arid ecosystems. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(2), 78.
- Ahmadi, M., Minaei, M., Ebrahimi, O., & Nikseresht, M. (2020). Evaluation of WEPP and EPM for improved predictions of soil erosion in mountainous watersheds: A case study of Kangir River basin, Iran. *Modeling Earth Systems and Environment*, 6, 2303-2315.
- Aleksova, B., Lukić, T., Milevski, I., Spalević, V., & Marković, S. B. (2023). Modelling Water Erosion and Mass Movements (Wet) by Using GIS-Based Multi-Hazard Susceptibility Assessment Approaches: A Case Study—Kratovska Reka Catchment (North Macedonia). *Atmosphere*, 14(7), Article 1139. <https://doi.org/10.3390/atmos14071139>
- Ananda, J., & Herath, G. (2003). Soil erosion in developing countries: a socio-economic appraisal. *Journal of Environmental Management*, 68(4), 343-353.
- Aulakh, M. S., & Sidhu, G. S. (2015). Soil degradation in India: Causes, major threats, and management options. In *MARCO symposium* (pp. 151-156).
- Baharvand, S., & Pradhan, B. (2022). Erosion and flood susceptibility evaluation in a catchment of Kopet-Dagh mountains using EPM and RFM in GIS. *Environmental Earth Sciences*, 81(20), Article 490. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1133943/v1>
- Bezak, N., Borrelli, P., Mikoš, M., Auflič, M. J., & Panagos, P. (2024). Towards multi-model soil erosion modelling: An evaluation of the erosion potential method (EPM) for global soil erosion assessments. *Catena*, 234, Article 107596.
- Borrelli, P., Robinson, D.A., Panagos, P., Lugato, E., Yang, J.E., Alewell, C., Wuepper, D., Montanarella, L., & Bal-labio, C. (2020). Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015–2070). *The Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117, 21994–22001. <https://doi.org/10.1073/pnas.2001403117>
- Borrelli, P., Alewell, C., Alvarez, P., Anache, J., Baartman, J., Ballabio, C., Bezak, N., Biddoccu, M., Cerda, A., & Chalise, D. (2021). Soil erosion modelling: A global review and statistical analysis. *Science of the Total Environment*, 780, Article 146494. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146494>
- Dragičević, N., Karleuša, B., & Ožanić, N. (2018). Modification of erosion potential method using climate and land cover parameters. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 9, 1085–1105.
- Durlević, U., Momčilović, A., Čurić, V., & Dragojević, M. (2019). GIS application in analysis of erosion intensity in the Vlasina River Basin. *Bulletin of the Serbian Geographical Society*, 99(2), 17–36. <https://doi.org/10.2298/GSGD1902017D>
- Durlević, U., Srejić, T., Valjarević, A., Aleksova, B., Deđanski, V., Vujović, F., & Lukić, T. (2025). GIS-Based Spatial Modeling of Soil Erosion and Wildfire Susceptibility Using VIIRS and Sentinel-2 Data: A Case Study of Šar Mountains National Park, Serbia. *Forests*, 16(3), 484. <https://doi.org/10.3390/f16030484>
- Di Bene, C., Francaviglia, R., Farina, R., Álvaro-Fuentes, J., & Zornoza, R. (2022). Agricultural Diversification. *Agriculture*, 12, Article 369. <https://doi.org/10.3390/agriculture12030369>

- Eekhout, J., & De Vente, J. (2022). Global impact of climate change on soil erosion and potential for adaptation through soil conservation. *Earth-Science Reviews*, 226, Article 103921. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.103921>
- Elbadaoui, K., Mansour, S., Ikirri, M., Abdelrahman, K., Abu-Alam, T., & Abioui, M. (2023). Integrating Erosion Potential Model (EPM) and PAP/RAC Guidelines for Water Erosion Mapping and Detection of Vulnerable Areas in the Toudgha River Watershed of the Central High Atlas, Morocco. *Land*, 12(4), Article 837. <https://doi.org/10.3390/land12040837>
- FAO Soil Portal (World Reference Base). <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-classification/worldreference-base/en/>
- Fenta, A. A., Tsunekawa, A., Haregeweyn, N., Poesen, J., Tsubo, M., Borrelli, P., Panagos, P., Vanmaercke, M., Broeckx, J., Yasuda, H., Kawai, T., & Kurosaki, Y. (2020). Land susceptibility to water and wind erosion risks in the East Africa region. *Science of the Total Environment*, 703, Article 135016. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135016>
- Gavrilović, S. (1972). Inženjering o bujičnim tokovima i eroziji. *Izgradnja* (Special Issue), 1–292.
- Golosov, V., Yermolaev, O., Litvin, L., Chizhikova, N., Kiryukhina, Z., & Safina, G. (2018). Influence of climate and land use changes on recent trends of soil erosion rates within the Russian Plain. *Land Degradation and Development*, 29, 2658–2667. <https://doi.org/10.1002/ldr.3061>
- Greipsson, S. (2012). Catastrophic soil erosion in Iceland: impact of long-term climate change, compounded natural disturbances and human driven land-use changes. *Catena*, 98, 41–54.
- Guo, B., Zhang, F. F., Yang, G., Sun, C. H., Han, F., & Jiang, L. (2017). Improved estimation method of soil wind erosion based on remote sensing and geographic information system in the Xinjiang Uygur Autonomous Region, China. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8(2), 1752–1767. <https://doi.org/10.1080/19475705.2017.1386723>
- Guo, L., Liu, R., Men, C., Wang, Q., Miao, Y., Shoaib, M., ... & Zhang, Y. (2021). Multiscale spatiotemporal characteristics of landscape patterns, hotspots, and influencing factors for soil erosion. *Science of the Total Environment*, 779, Article 146474. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146474>
- Jones, A., Panagos, P., Barcelo, S., Bouraoui, F., Bosco, C., Dewitte, O., ... & Jeffery, S. (2012). *The state of soil in Europe*. A Contribution of the JRC to the European Environment Agency's Environment State and Outlook Report.
- Kaiser, H. (1974). An index of factorial simplicity. *Psychometrika*, 39, 31–36.
- Kidane, M., Bezie, A., Kesete, N., & Tolessa, T. (2019). The impact of land use and land cover (LULC) dynamics on soil erosion and sediment yield in Ethiopia. *Heliyon*, 5 (12), Article e02981.
- Kucher, A., Kucher, L., Sysoieva, I. & Pohrishchuk, B. (2021). Economics of soil erosion: Case study of Ukraine. *Agricultural Economics*, 7, 27–41. <https://doi.org/10.51599/are.2021.07.04.02>
- Lazarević R. (1983). *Map of erosion in Serbia 1:500 000*. Institute of Forestry.
- Li, Y., Xie, Z., Qin, Y., & Sun, Y. (2019). Temporal-spatial variation characteristics of soil erosion in the Pisha sandstone area, Loess Plateau, China. *Polish Journal of Environmental Studies*, 28(4), 2205–2214. <https://doi.org/10.15244/pjoes/92940>
- Liu, F., Hu, S., Guo, X., Luo, X., Cai, H., & Yang, Q. (2018). Recent changes in the sediment regime of the Pearl River (South China): Causes and implications for the Pearl River Delta. *Hydrological Processes*, 32(12), 1771–1785. <https://doi.org/10.1002/hyp.11513>

- Malinić, V., Sedlak, M., Krstić, F., Joksimović, M., Golić, R., Gajić, M., Vujadinović, S., & Šabić, D. (2025). Land Cover Changes in the Rural Border Region of Serbia Affected by Demographic Dynamics. *Land*, 14(8), Article 1663. <https://doi.org/10.3390/land14081663>
- Manojlović, S. (2019). *Uticaj geografskih faktora na promene intenziteta vodne erozije u slivu reke Nišave*. Univerzitet u Beogradu, Geografski fakultet.
- Malušević, I., Ristić, R., Radić, B., Polovina, S., Milčanović, V., & Nešković, P. (2025). A Historical Overview of Methods for the Estimation of Erosion Processes on the Territory of the Republic of Serbia. *Land*, 14(2), 405. <https://doi.org/10.3390/land14020405>
- Menković, L., Koščal, M., Milivojević, M., Đokić, M., (2018). Morphostructure relations on the territory of the Republic of Serbia. *Bulletin of the Serbian Geographical Society*, 98(2), 1–28. <https://doi.org/10.2298/GSGD1802001M>
- Milovanović, B., Ducić, V., Radovanović, M., Milivojević, M. (2017). Climate regionalization of Serbia according to Köppen climate classification. *Journal of the Geographical Institute "Jovan Cvijić" SASA*, 67, 103–114. <https://doi.org/10.2298/IJGI1702103M>
- Min, J., Liu, X., Li, H., Wang, R., & Luo, X. (2024). Spatio-Temporal Variations in Soil Erosion and Its Driving Forces in the Loess Plateau from 2000 to 2050 Based on the RUSLE Model. *Applied Sciences*, 14(13), Article 5945. <https://doi.org/10.3390/app14135945>
- Ouallali, A., Aassoumi, H., Moukhchane, M., Moumou, A., Houssni, M., Spalevic, V., & Keesstra, S. (2020). Sediment mobilization study on Cretaceous, Tertiary and Quaternary lithological formations of an external Rif catchment, Morocco. *Hydrological Sciences Journal*, 65, 1568–1582. <https://doi.org/10.1080/02626667.2020.1755435>
- Panagos, P., Ballabio, C., Himics, M., Scarpa, S., Matthews, F., Bogonos, M., Poeson, J., & Borrelli, P. (2021). Projections of soil loss by water erosion in Europe by 2050. *Environmental Science and Policy*, 124, 380–392. <https://doi.org/10.1080/02626667.2020.1755435>
- Pepin, E., Guyot, J. L., Armijos, E., Bazan, H., Fraizy, P., Moquet, J. S., Noriega, L., Lavado, W., Pombosa, R., & Vauchel, P. (2013). Climatic control on eastern Andean denudation rates (Central Cordillera from Ecuador to Bolivia). *Journal of South American Earth Sciences*, 44, 85–93. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2012.12.010>
- Petrović, A. M., Manojlović, S., Srejić, T., & Zlatanović, N. (2024). Insights into Land-Use and Demographical Changes: Runoff and Erosion Modifications in the Highlands of Serbia. *Land*, 13(9), Article 1342. <https://doi.org/10.3390/land13091342>
- Polovina, S., Radić, B., Ristić, R., & Milčanović, V. (2024). Application of Remote Sensing for Identifying Soil Erosion Processes on a Regional Scale: An Innovative Approach to Enhance the Erosion Potential Model. *Remote Sensing*, 16(13), Article 2390. <https://doi.org/10.3390/rs16132390>
- Serpa, D., Nunes, J.P., Santos, J., Sampaio, E., Jacinto, R., Veiga, S., Lima, J.C., Moreira, M., Corte-Real, J., & Keizer, J.J. (2015). Impacts of climate and land use changes on the hydrological and erosion processes of two contrasting Mediterranean catchments. *Science of the Total Environment*, 538, 64–77. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.033>
- Sharma, A., Tiwari, K.N., & Bhadoria, P.B. (2011). Effect of land use land cover change on soil erosion potential in an agricultural watershed. *Environmental Monitoring and Assessment*, 173, 789–801.
- Shen, H., Zheng, F., Wen, L., Han, Y., & Hu, W. (2016). Impacts of rainfall intensity and slope gradient on rill erosion processes at loessial hillslope. *Soil & Tillage Research*, 155, 429–436.
- Sibinović, A., Sibinović, M., Ratkaj, I., Gatarić, D., Budović, A., & Jocić, N. (2024). Functional typology of settlements in the Srem region, Serbia. *Open Geosciences*, 16(1), Article 20220646. <https://doi.org/10.1515/geo-2022-0646>

- Solaimani, K., Modallaldoust, S., & Lotfi, S. (2009). Investigation of land use changes on soil erosion process using geographical information system. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 6, 415–424.
- Srejić, T. (2023). Temporal and spatial variability of the intensity of mechanical soil erosion by water in the immediate basin of the Velika Morava [Doctoral dissertation, University of Belgrade, Faculty of Geography].
- Srejić, T., Manojlović, S., Sibinović, M., Lukić, T., Kričković, E., & Durlević, U. (2025). Impact of the agri-geographical transformation of rural settlements on the geospatial dynamics of soil erosion intensity in municipalities of Central Serbia. *Open Geosciences*, 17(1), Article 20250857. <https://doi.org/10.1515/geo-2025-0857>
- Statistical Office of the Republic of Serbia (2012). *Agricultural land in the Republic of Serbia and settlements of Serbia from 1961 to 2012. SORS*. <https://www.stat.gov.rs/>
- Stefanidis, S., & Stathis, D. (2018). Effect of climate change on soil erosion in a mountainous mediterranean catchment (Central Pindus, Greece). *Water*, 10(10), Article 1469.
- Tavares, A. S., Spalevic, V., Avanzi, J. C., & Alves, D. (2019). Modeling of water erosion by the erosion potential method in a pilot subbasin in southern Minas Gerais. *Semina: Ciências Agrárias, Londrina*, 40(2), 555-572. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n2p555>
- Tehrany, M. S., Shabani, F., Javier, D. N., & Kumar, L. (2017). Soil erosion susceptibility mapping for current and 2100 climate conditions using evidential belief function and frequency ratio. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8(2), 1695-1714
- Tsegaye, L., & Bharti, R. (2023). Assessment of the effects of agricultural management practices on soil erosion and sediment yield in Rib watershed, Ethiopia. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 20(1), 503-520.
- Uddin, K., Abdul Matin, M., & Maharjan, S. (2018). Assessment of land cover change and its impact on changes in soil erosion risk in Nepal. *Sustainability*, 10(12), Article 4715. <https://doi.org/10.3390/su10124715>
- Xiao, Y., Guo, B., Lu, Y., Zhang, R., Zhang, D., ... & Wang, Z. (2021). Spatial-temporal evolution patterns of soil erosion in the Yellow River Basin from 1990 to 2015: impacts of natural factors and land use change. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 12(1), 103-122. <https://doi.org/10.1080/19475705.2020.1861112>
- Van den Born, G. J., de Haan, B. J., Pearce, D. W., & Howarth, A. (2000). *Technical Report on Soil Degradation in Europe: an integrated economic and environmental assessment*. RIVM.
- Veličković, N., Todosijević, M., & Šulić, D. (2022). Erosion Map Reliability Using a Geographic Information System (GIS) and Erosion Potential Method (EPM): A Comparison of Mapping Methods, Belgrade Peri-Urban Area, Serbia. *Land*, 11(7), Article 1096. <https://doi.org/10.3390/land11071096>
- Zelege G., & Hurni H., (2001). Implications of Land Use and Land Cover Dynamics for Mountain Resource Degradation in the Northwestern Ethiopian Highlands. *Mountain Research and Development*, 21, 184-191.
- Zorn, M., Natek, K., & Komac, B. (2006). Mass movements and flash-floods in Slovene Alps and surrounding mountains. *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, 15, 127-145.
- Živanović, V., Joksimović, M., Golić, R., Malinić, V., Krstić, F., Sedlak, M., & Kovjanić, A. (2022). Depopulated and Abandoned Areas in Serbia in the 21st Century—From a Local to a National Problem. *Sustainability*, 14(17), Article 10765. <https://doi.org/10.3390/su141710765>

**Тања Срејић^{1*}, Сања Манојловић*, Емина Кричковић*,
Александар Ковјанић***

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

УТИЦАЈ ДОМИНАНТНИХ ГЕОГРАФСКИХ ФАКТОРА НА ГЕОПРОСТОРНУ ДИФЕРЕНЦИЈАЦИЈУ ИНТЕНЗИТЕТА ЕРОЗИЈЕ ЗЕМЉИШТА У СЛИВУ ВЕЛИКЕ МОРАВЕ

Апстракт: Ерозија земљишта као сложени геоморфолошки процес условљена је природним карактеристикама простора, али је њен интензитет значајно појачан различитим облицима антропогеног деловања. Основни циљеви овог истраживања су: 1) квантификација ерозионих процеса у руралном простору слива Велике Мораве; 2) геопросторна диференцијација насеља на основу најзначајнијих географских фактора и 3) утврђивање утицаја и хијерархије географских детерминанти које обликују интензитет ерозије земљишта. За идентификацију и процену степена угрожености ерозијом земљишта примењен је Модел потенцијала ерозије (МПЕ). Геопросторна диференцијација руралних насеља извршена је применом факторске анализе (ФА) на сету од 18 одабраних географских индикатора сврстаних у три групе: физичко-географске, демографске и аграрно-географске. Прва четири издвојена фактора објашњавају 79,52% укупне варијансе. Добијени резултати показују да је највећи број насеља детерминисан природним условима и демографским карактеристикама. Овако конципиран мултидисциплинаран методолошки оквир пружа важну основу за развој политика одрживог управљања земљиштем, диверзификацију руралне економије и ревитализацију руралних подручја.

Кључне речи: Метод потенцијала ерозије (МПЕ), Факторска анализа (ФА), физичко-географски индикатори, аграрно-географски индикатори, демографски индикатори

¹ tanja.srejc@gef.bg.ac.rs (аутор за кореспонденцију)
Тања Срејић (<https://orcid.org/0000-0002-7798-4808>)
Сања Манојловић (<https://orcid.org/0000-0003-2224-5183>)
Емина Кричковић (<https://orcid.org/0000-0002-0737-5636>)
Александар Ковјанић (<https://orcid.org/0000-0001-8639-8985>)

Увод

Ерозија земљишта као глобални феномен (Borelli et al., 2021), погађа све континенте и препозната је као велика претња пољопривреди и животној средини (Panagos et al., 2015; Borelli et al., 2020; Kucher et al., 2021; Di Bene et al. 2022). Овај сложени геоморфолошки процес је предиспониран природним условима, а интензивирањем људским активностима. Промене у било ком од ових фактора могу изазвати промене у јачини, просторној и временској дистрибуцији ерозије земљишта (Golosov et al., 2018). Исти фактори у различитим географским срединама неће имати исти ефекат на ерозију земљишта. Такође, посматрано кроз временску компоненту, на истом простору утицаји појединих фактора ерозије земљишта могу бити променљиви током времена (Guo et al., 2021). Поједини фактори ерозије су више од других подложни флукуацијама током времена (климатски фактори, хидролошке особине, вегетација и антропогени фактори) (Min et al., 2024).

У том контексту, бројне студије покушавају да квантификују утицај природних услова на водну ерозију и тако допринесу заштити земљишта, спречавајући велике губитке овог ресурса. Геолошка и педолошка својства одређеног простора могу утицати на ерозију (Ouallali et al., 2020). Ерозија земљишта је присутна у свим типовима земљишта, само је интензитет ерозије различит. Основна својства земљишта и његово рецентно стање одређују правац и интензитет ерозије (Guo et al., 2017; Kidane et al., 2019; Tavares et al., 2019; Li et al., 2019).

Морфометријске особине простора могу утицати на стопе губитка земљишта. Истраживања су показала да литолошке и морфометријске особине терена могу имати већи утицај од падавина (Aalto et al., 2006). Нагиб терена се често наводи као битан фактор ерозије (Solaimani, Modallaldoust & Lotfi, 2009; Shen et al., 2016; Li et al., 2019; Xiao et al., 2021; Guo et al., 2021). Такође, ерозија може бити диференцирана и према висинским зонама (Manojlović, 2019). Неретко повезаност геоморфолошких и хидролошких феномена (Baharvand & Pradhan, 2022) доприноси великом интензитету ерозије земљишта. Коначно, комбинација најразличитијих природних услова могу бити главни покретачи повећаних стопа ерозије. Интензивне падавине и земљотреси, који проузрукују одроне и клизишта могу утицати на продукцију велике количине седимената у краћим временским периодима (Zorn & Komac, 2006).

Климатски услови, пре свега велике количине падавина су значајна детерминанта процеса ерозије земљишта (Jones et al., 2012; Aulakh & Sidhu, 2015; Tehrani et al., 2017). Комбинација велике количина падавина са великим нагибима терена доводи до великих стопа ерозије (Ahmadi et al., 2020). Интеракција између климатских промена и ерозије земљишта је једна од централних тема наука о земљишту (Van den Born et al., 2000; Shen et al., 2016). Резултати истраживања показују да на интензитет ерозије земљишта велики утицај имају климатске промене (Jones, et al., 2012; Pepin et al., 2013; Eekhout, & De Vente, 2022).

Промене у вегетационом покривачу се сматрају једном од главних детерминанти ерозивног процеса (Zeleeke & Hurni, 2001; Sharma et al., 2011; Serra et al., 2015; Golosov et al., 2018; Uddin et al., 2018). Сезонске промене вегетационог покривача такође могу бити главни узрок интрагодишњих промена ерозије

(Dragičević, Karleuša & Ožanić, 2018). Дефорестација проузрокована великом концентрацијом становништва или интензивним развојем сточарства (Ananda & Herath, 2003; Greipsson, 2012) је била узрок ерозији неслућених размера. Одсуство планског управљања земљиштем је узрок великих губитака земљишта и деградације великих размера. Главни разлог за лоше управљање земљиштем је брз пораст становништва и растуће потребе за храном (Tsegaye & Bharti, 2023). Аграрна пренасељеност у комбинацији са природним условима (велики нагиби топографске површине и екстремни климатски услови представљени интензивним падавинама) изазивају динамичне промене у ерозији земљишта (Fenta et al., 2020). Међутим, постоје и супротни примери. Поједини делови Србије са аспекта ерозије земљишта су препознатљиви по специфичним трансформацијама аграрног пејзажа (Živanović et al., 2022; Malinić et al., 2025), које су током последњих неколико деценија проузроковале феномен смањења ерозије земљишта.

Имајући у виду геостратешки, саобраћајни и економски значај, као и велики пољопривредни потенцијал долине Велике Мораве, фокус овог истраживања је рурални простор слива Велике Мораве (438 руралних насеља). Основни циљеви овог истраживања су: 1) квантификација ерозионих процеса у руралном простору слива Велике Мораве; 2) геопросторна диференцијација насеља на основу најзначајнијих географских фактора и 3) утврђивање утицаја и хијерархије географских фактора које обликују интензитет ерозије земљишта. Остваривање постављених циљева захтевало је примену методолошког оквира који интегрише савремене методе физичке и друштвене географије са статистичким методама. Овако конципиран мултидисциплинаран методолошки оквир пружа важну основу за развој политика одрживог управљања земљиштем, диверзификацију руралне економије и ревитализацију руралних подручја.

Методологија истраживања

Простор истраживања

Слив Велике Мораве (6734 km²) се налази између Карпато-балканских планина и планина Српско-македонске масе (Menković et al., 2018). Просечна надморска висина је око 260 m. Геолошка подлога је претежно изграђена од холоценских алувијалних наслага и неогених језерских седимената. Слив се налази на прелазу између Cfa и Cfb типова климе према Кепеновој класификацији, уз доминантан континентални карактер климе (Milovanović et al., 2017). Према WRB класификацији земљишта, у сливу преовлађују Eutric Cambisol и Vertisol, док се у алувијалним равнинама јављају Fluvisol и Fluvisol humic, а у планинским и вишим пределима Leptosol и Eutric Leptosol (World Reference Base).

Урбани центри лоцирани су у долини Велике Мораве, односно дуж Паневропског коридора X, као и у долинама већих притока. Највећи број руралних насеља налази се у општинама Крагујевац (56), Јагодина (52) и Параћин (34). Простор карактеришу изражени процеси депопулације и деаграризације. Број руралних становника је опао за 29% у периоду 1961–2011. године (са 559 836 на 397 730 становника) (<https://www.stat.gov.rs/>).

Извори података

За свако рурално насеље је дефинисано 18 географских индикатора, подељених у 3 групе (физичко-географски, аграрно-географски и демографски) (Срејић, 2023). Физичко-географски индикатори су: специфична продукција наноса (Ws), коефицијент ерозије (Z), средња надморска висина (A), угао нагиба (S), удео неогених седимената и алувијума (NSA), шумски покривач (F). Аграрно-географски индикатори су: индекс деаграризације на пољопривредним површинама ($Index AgL$), индекс деаграризације на ораничним површинама ($Index ArL$), удео ораница у пољопривредним површинама ($ArLs$), општа аграрна густина насељености ($GDAgL$), специфична аграрна густина насељености ($SDArL$). Демографски индикатори су: индекс депопулације ($Index RP$), рурална густина насељености (DRP), индекс виталности ($Index V$), просечна старост руралног становништва ($RPav$), старо рурално становништво (ORP), индекс домаћинства ($Index H$), индекс величине домаћинства ($Index Hs$). Демографски и аграрни индикатори су израчунати на основу података Републичког завода за статистику из 1961., 2011. и 2012. године (<https://www.stat.gov.rs/>). За квантификацију степена промена одређених индикатора је коришћен метод индексних бројева (Срејић, 2023).

Процена ерозије

Применом Метода потенцијала ерозије (МПЕ) је урађена процена ерозије земљишта у сливу Велике Мораве. Продукција наноса (W) се израчунава према следећој формули (Gavrilović, 1972):

$$W = T \cdot H \cdot \pi \cdot \sqrt{Z}^3 \cdot F \quad (1)$$

Где је: W (m^3/god) – укупна продукција наноса; T – температурни коефицијент: $T = \sqrt{(t/10 + 0.1)}$; t – просечна годишња температура ваздуха ($^{\circ}C$); H (mm) – средња количина падавина; Z – коефицијент ерозије; F (km^2) – површина слива.

МПЕ користи бодовни приступ за три дескриптивне варијабле за израчунавање коефицијента ерозије: коефицијент отпора земљишта (Y), коефицијент заштите земљишта (X) и коефицијент типа и обима ерозије (φ). Коефицијент ерозије (Z) може се израчунати из следеће једначине:

$$Z = Y \cdot X \cdot (\varphi + \sqrt{I}) \quad (2)$$

Где је Y – коефицијент отпора земљишта; X – коефицијент заштите земљишта; φ – коефицијент типа и обима ерозије и I – угао нагиба (%). Примена МПЕ модела за процену ризика од ерозије земљишта се користи на различитим просторним нивоима, од глобалних примена (Bezак et al., 2024), до мањих територијалних јединица какви су бујични сливови (Aleksova et al., 2023; Petrović et al., 2024) или насеља (Veličković et al., 2022; Srejić et al., 2023). Примену је нашао у областима високопланинске климе (Elbadaoui et al., 2023, Durlević et al., 2025), аридне климе (Abdullah et al., 2017), тропске климе (Tavares et al., 2019), у медитеранским областима (Stefanidis & Stathis, 2018), итд. Ипак, највећи број студија као просторну јединицу примене истиче слив (Durlević et al., 2019). Његова фундаментална улога је процена угрожености водном ерозијом, али

савремене методе даљинске детекције и GIS су унапредили и проширили његову примену (Polovina et al., 2024; Malušević et al., 2025).

Статистичке методе

У следећој фази истраживања је извршена просторна диференцијација применом факторске анализе (ФА). Ова статистичка процедура полази од идеје да висок степен корелације између два или више базних индикатора (варијабли) доводи до њихове замене заједничким индикатором. То омогућава јединствену квантитативну формулацију скривених структура, тј. нових дијагностичких индикатора који представљају комплекс комбинованих варијабли које нису доступне директном посматрању (Sibinović et al., 2024). Наведене фазе су:

- Рурална насеља су диференцирана према издвојеним факторима;
- Редослед фактора није случајан, већ одражава њихов значај у целокупној анализи;
- За сваки фактор је идентификован одређен број базних индикатора, који статистички дефинишу дати фактор;
- Насеља унутар једног фактора су међусобно повезана истим базним индикаторима. У томе се огледа њихова међусобна сличност;
- Предзнак факторских скорова (+/-) показује диференцираност дате појаве и унутар самог фактора. Дакле, насеља унутар једног фактора су слична, јер их одређује иста комбинација базних индикатора. Са друге стране, та насеља се међусобно и разликују ако им се разликује предзнак факторског скорa (Срејић, 2023).

Резултати истраживања и дискусија

Резултати претходних истраживања су показали да су на промене интензитета ерозије у анализираном периоду утицали превасходно процеси деаграризације различитог интензитета условљени депопулационим процесима руралног становништва (Srejić et al., 2025). Просторна диференцијација је извршена применом метода факторске анализе (Factor Analysis–ФА). Ова метода је омогућила вишеслојну анализу руралног простора у сливу Велике Мораве.

Процена подобности података за факторску анализу је показала да је анализа оправдана пошто је вредност КМО=0,761 и $p < 0,0001$ (Kaiser, 1974). Према Табели 1, прва четири главна фактора објашњавају 79,52% укупне варијансе: Фактор 1 објашњава 28.56%, Фактор 2 објашњава 25.51%, Фактор 3 објашњава 16,44%, Фактор 4 објашњава 9,01%.

Табела 1. Процент варијансе и кумулативне варијансе после Varimax ротације (погледати у енглеској верзији текста стр. 663)

*Табела 2. Диференцијација и редослед географских фактора после Varimax ротације. (Метода ротације: Varimax ротација са Kaiser нормализацијом; **подебљане** вредности означавају корелиране варијабле укључене у PCs > 0,40) (погледати у енглеској верзији текста стр. 663)*

Природни услови као детерминанта ерозије земљишта (Фактор 1).

Овај насеобински ареал обухвата 43,2% руралних насеља, тј. 189 руралних насеља непосредног слива Велике Мораве. Половина руралног простора слива (51%) је обухваћена овим фактором. Ови релативно хомогени насеобински ареали покривају периферне југоисточне и југозападне делове слива. Такође, овом типу насеља припадају и насеобински ареали лоцирани у долинама Велике Мораве, Јасенице, Кубршнице и Језаве на северу (Карта 1). Дакле, велики број насеља је детерминисан следећим базним индикаторима: Ws , Z , A , S , NSA , F , $ArLs$ (Табела 2). На основу тога се може закључити да велику улогу у диференцијацији руралног простора слива имају природни услови. Високи коефицијенти корелације показују да је значај сваког базног индикатора појединачно велики (График 1). Негативна корелација између специфичне продукције наноса и јачине ерозивног процеса са једне стране, и надморске висине ($r = -0,867$), шума ($r = -0,807$) и нагиба терена ($r = -0,917$) у овом случају показује законитост смањења ерозије са повећањем надморске висине. Иако већи нагиби значе и већу предиспонираност терена за ерозију, овде негативна корелација имплицира на супротан став. Разлог смањења ерозије са повећањем нагиба терена може се објаснити значајним уделом шумског покривача са порастом надморске висине. Позитивне вредности корелације са неогеним седиментима ($r = 0,560$) и са уделом ораничних површина у пољопривредном земљишту ($r = 0,664$) имплицирају на већу угроженост ерозијом.

Сл. 1. Природни услови као детерминанте ерозије земљишта погледати у енглеској верзији текста стр. 664)

Картирање ерозије земљишта је показало да је у овим насељима током анализираног периода дошло до смањења ерозије. Просечан коефицијент ерозије је 1971. године износио $Z_1=0,548$. 2011. године је јачина ерозивног процеса смањена на $Z_2=0,420$. Смањење јачине ерозивног процеса од 23% је у сагласности са смањењем специфичне продукције наноса од 28%. Специфична продукција наноса је 1971. године била $Ws_1=1049,3 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{god}$, док је 2011. године смањена на $Ws_2=757,4 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{god}$. Анализом природних услова се дошло до следећих резултата. Просечна надморска висина у насељима овог типа је $A=280 \text{ m}$, а просечан угао нагиба је $S=7,3^\circ$. Ово је тип насеља који има највеће богатство у шумском покривачу (29,6%), али и највећу заступљеност стенског комплекса NSA (39%). Удео ораничних површина у пољопривредном земљишту у насељима овог типа је највећи (око 75%). Ипак, треба напоменути, да су оранице доминантан вид коришћења пољопривредног земљишта и у осталим типовима насеља.

На Карти 1 се јасно види диференцираност ових насеља на два релативно независна насеобинска ареала. Анализа факторских скорова омогућава детаљнији увид у различитост ових ареала. Периферни југоисточни и југозападни делови слива су детерминисани већом надморском висином ($A=400 \text{ m}$) и већим нагибом терена ($S=12,3^\circ$). Шумски покривач има велико распрострањење (57%), док је удео стенског комплекса NSA релативно мали (14,2%). Ораничне површине јесу доминантан вид коришћења пољопривредног земљишта (58%). Овакви природни услови су одредили и интензитет ерозије земљишта и специфичну продукцију наноса. Током анализираног периода је смањена јачина ерозивног процеса са $Z_1=0,359$ на $Z_2=0,227$ (за 37%). Специфична продукција наноса је 1971. године била $Ws_1=648,1 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{god}$, док је 2011. године била $Ws_2=332,1$

$\text{m}^3/\text{km}^2/\text{god}$. Дакле, овде је наступило велико смањење јачине ерозивног процеса (37%) као и велико смањење специфичне продукције наноса (48%).

Други већи насеобински ареал броји 107 руралних насеља и лоциран је у долини Велике Мораве и долинама њених левих притока (Јасенице, Кубршнице и Језаве) (Карта 1). У односу на претходну групу насеља, овај рурални простор се карактерише потпуно другачијим природним условима. Ова насеља су лоцирана на нижем терену ($A=157 \text{ m}$), са просечним углом нагиба од $S=3,4^\circ$. Шумски покривач је слабије заступљен ($F=8,6\%$). Велико распрострањење има стенски комплекс $NSA=57,8\%$, па је самим тим удео ораничних површина у укупном пољопривредном земљишту велики (88%). Промене у јачини ерозивног процеса нису изразите као у претходном насеобинском ареалу. Резултати картирања ерозије земљишта су показали да се јачина ерозивног процеса смањила за 18%, тј. коефицијент ерозије је 1971. године био $Z_1=0,693$, док је 2011. године коефицијент ерозије био $Z_2=0,568$. Смањење јачине ерозивног процеса је праћено готово идентичним смањењем специфичне продукције наноса. Тако је 2011. године специфична продукција наноса била $W_{s2}=1083 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{god}$., што је за 20% мање него 1971. године ($W_{s1}=1357 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{god}$.).

Антропопресија као детерминанта ерозије земљишта (Фактор 2).

Рурални простор који детерминишу фактор 2 обухвата само 1% руралних насеља, тј. 5 руралних насеља (Карта 1). Врбица је део периурбаног појаса Аранђеловца. Ковачевац и Младеновац село су део периурбаног појаса Младеновца. Ова три насеља су позиционирана у северном делу слива. У јужном делу слива се налазе Вољавче и Трнава, тј. део периурбаног појаса Јагодина. Иако се ради о веома малом простору, специфичност ових насеља је изразита. Базни индикатори који их детерминишу и издвајају као посебан тип насеља су: *GDAgL*, *SDArL*, *Index RP*, *DRP*, *Index Hs* (Табела 56). То су базни индикатори који недвосмислено потврђују да се ради о насељима са великим популационим потенцијалом (График 2). Основно обележје јесте повећање броја становника на једној страни, а смањење фонда пољопривредног земљишта на другој страни. Према попису из 1961. године овде је живело 9700 становника, а 2011. године скоро 36000 становника. Као резултат тога *GDAgL*, *SDArL* и *DRP* имају највећи значај, пошто су коефицијенти корелације блиски 1 ($r=0,981$, $r=0,980$ $r=0,955$, редом). Такође, то су насеља са највећом виталношћу становништва (190%), најмањом просечном старошћу (41,2 године) и најмањим уделом старог становништва (14,2%), које је праћено и порастом броја домаћинстава (284%). Ове демографске карактеристике имају секундарни значај, али свакако детаљније детерминишу демографски потенцијал овог простора.

Сл. 2. Антропопресија као детерминанта ерозије земљишта погледати у енглеској верзији текста стр. 666)

Без обзира на очигледан демографски потенцијал, и у овим насељима је дошло до смањења ерозије земљишта. 1971. године је јачина ерозивног процеса била $Z_1=0,554$, док је 2011. године била $Z_2=0,438$. Ово смањење од 21% је сагласно смањењу специфичне продукције наноса од 24%. Специфична продукција наноса је 1971. године износила $W_{s1}=1020 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{god}$, а 2011. године $W_{s2}=775 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{god}$.

Интересантан је пример два суседна насеља у периурбаном појасу Младеновца. Највеће смањење ерозије земљишта је у насељу Младеновац село (за 37%). Детаљнија анализа пољопривредног фонда је показала да су овде присутни највећи губици пољопривредних и ораничних површина (за око 60%). Број становника се у анализираном периоду повећао 20 пута. Ово су главни узроци великог популационог и аграрног притиска на земљиште. Ипак, то није резултирало већим стопама ерозије, јер је становништво под великим утицајем урбаног центра Младеновца и не бави се интензивно пољопривредом. На другој страни, у насељу Ковачевац је дошло до повећања специфичне продукције наноса за 15%. Од осталих насеља овог типа се разликује по најмањем смањењу ораничних површина (за 15%). Овде је начин коришћења земљишта разлог веће угрожености ерозијом земљишта од осталих насеља.

Демографске детерминанте ерозије земљишта (Фактор 3). Овом фактору припада 36,5% руралних насеља (160 насеља). Највећи део ових насеља се налази у централним и јужним деловима слива Велике Мораве. Нешто мањи насеобински ареал је лоциран на крајњем северу и северозападу (Карта 1). Ова насеља су детерминисана демографским базним индикаторима: Index V, RPav, ORP, Index H (Табела 56). Њихов значај у диференцијацији ових насеља је готово подједнак, пошто су и коефицијенти корелације приближно исти (График 3). Изузетак је Index H, који има мањи значај ($r=0,508$). Виталност становништва и промена у броју домаћинстава је обрнуто пропорционална просечној старости и уделу старог становништва у насељима. Зато се међусобно разликују по предзнаку (График 3).

Сл. 3. Демографске детерминанте ерозије земљишта погледати у енглеској верзији текста стр. 667)

О угрожености ерозијом земљишта показују следећи подаци. Коефицијент ерозије се смањио са $Z_1=0,574$ 1971. године, на $Z_2=0,425$ 2011. године. Специфична продукција наноса је 1971. године износила $W_{s1}=1099 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{god.}$, а 2011. године $W_{s2}=747 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{god.}$ Дакле, јачина ерозивног процеса је смањена за 26%, а специфична продукција наноса за 32%. Разлоге за настале промене у ерозији земљишта треба тражити у основним демографским индикаторима. У односу на остала три типа насеља, демографски тип насеља се одликује: најнижом виталношћу становништва ($\text{Index } V=97,5$), највећом просечном старошћу ($\text{RPav}=47,3$ године), највећим уделом старог становништва (око 26%) и најмањим индексом домаћинства ($\text{Index } H=97$).

Пошто се ради о великом броју насеља, унутар самог демографског типа постоје супротности. У том контексту, се овај тип насеља условно може поделити на два насеобинска ареала (Карта 1). Иако није просторно јединствен, један од тих ареала заузима јужне делове слива и броји 87 руралних насеља. Јачина ерозивног процеса је 1971. године била $Z_1=0,601$, а 2011. године је била $Z_2=0,405$. Дакле, интензитет ерозивног процеса се смањио за 33%. Промене у специфичној продукцији наноса су веће (41%). 1971. године је специфична продукција наноса била $W_{s1}=1192 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{god.}$, а 2011. године је била $W_{s2}=704 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{god.}$ То су насеља са израженим процесом демографског старења. Просечна старост (51,4 године) и велики удео старог становништва (34%), уз низак ниво виталности (57%) и смањење броја домаћинстава (66%) су примарне карактеристике овог

дела демографског типа насеља. Ова насеља прати и велико опадање броја становника. Рурална популација се током анализираниог периода смањила за 53%. Процес депопулације је праћен интензивним процесом деаграризације на пољопривредном земљишту. У овим насељима се фонд пољопривредног земљишта готово преполовио.

На другој страни су рурална насеља у којима су присутни потпуно другачији демографски процеси. Они су кључни за разумевање мањих промена ерозије земљишта током времена. Коефицијент ерозије је 1971. године био $Z_1=0,542$, а 2011. године се смањило на $Z_2=0,449$. Специфична продукција наноса се са $W_{s1}=987 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{god}$. 1971. године смањила на $W_{s2}=798 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{god}$. 2011. године. Дакле, овде је идентификовано смањење ерозије земљишта за 20%. Базни индикатори овог дела слива показују знатно већи демографски потенцијал од претходног простора истог типа насеља. Троструко већи индекс виталности (146%) са мањом просечном старошћу становништва (42 године) је праћен двоструко већим индексом броја домаћинстава (134,6%) и двоструко мањим уделом старог становништва (17%). Број становника се смањило за само 12%. Процес деаграризације је интензивнији на пољопривредним површинама, него на ораничним површинама. Пољопривредне површине су се смањиле за 30%, а ораничне површине за 20%.

Промене пољопривредних и ораничних површина као детерминанте ерозије земљишта (Фактор 4). Овај фактор обухвата 19,2% руралних насеља, тачније 84 рурална насеља. За разлику од претходног типа насеља, у овом типу не постоје велики континуирани насеобински ареали. Одређени број насеља се налази у долини Велике Мораве у јужном делу слива, као и у долинама Лепенице и Раче. Најсеверније су ова насеља позиционирана у сливу Језаве (Карта 1). Базни индикатори који детерминишу ова насеља су *Index AgL* и *Index ArL* (Табела 56). На основу вредности ових параметара се недвосмислено може утврдити како процес деаграризације на пољопривредним и ораничним површинама утиче на ерозију земљишта. Вредности коефицијента корелације показују релативно високу повезаност овог фактора са деаграризацијом на пољопривредним површинама ($r=0,724$), а веома високу повезаност са деаграризацијом на ораничним површинама ($r=0,950$) (График 4).

Сл. 4. Промене пољопривредних и ораничних површина као детерминанти ерозије земљишта погледати у енглеској верзији текста стр. 668)

Као и у осталим типовима насеља, и у овом типу је дошло до смањења ерозије земљишта. То показују следећи подаци. 1971. године просечан коефицијент ерозије је био $Z_1=0,579$, а специфична продукција наноса $W_{s1}=1089 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{god}$. Током четрдесетогодишњег периода се јачина ерозивног процеса смањила за 23%. То је уједно и најмање смањење јачине ерозивног процеса, у односу на друге типове насеља. Специфична продукција наноса се смањила за 28%. Тако је 2011. године просечан коефицијент ерозије износио $Z_2=0,445$, док је специфична продукција наноса била $W_{s2}=786 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{god}$. Смањење пољопривредних површина за 30%, и ораничних површина за 12% показује да је у овом типу насеља процес деаграризације најслабије изражен. То је основна заједничка одлика ових насеља. Ипак, унутар самог типа постоје разлике између насеља. Тако се на основу предзнака факторских скорова могу издвојити два подтипа.

Анализом стања ерозивног процеса се дошло до следећих резултата. Један од два подтипа насеља броји 40 руралних насеља. У њему је током периода од четрдесет година наступило смањење јачине ерозивног процеса за 25%. Тако је 1971. године просечан коефицијент ерозије био $Z_1=0,538$, док је 2011. године његова вредност износила $Z_2=0,403$. Специфична продукција наноса се смањила за око 30%. 1971. године је специфична продукција наноса била $W_{s1}=984 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{god}$, а 2011. године је била $W_{s2}=686 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{god}$. Ипак, најдоминантнија одлика овог насеобинског ареала је веома интензиван процес деаграризације. Интензитет деаграризације на пољопривредним површинама (Index $AgL=41$) је усаглашен са интензитетом деаграризације на ораничним површинама (Index $ArL=40$).

Други подтип насеља обухвата 44 рурална насеља. У њему је јачина ерозивног процеса 1971. године била $Z_1=0,616$, док је 2011. године била $Z_2=0,483$. Дакле, јачина ерозивног процеса се смањила за 22%. Ово смањење је праћено готово идентичним смањењем специфичне продукције наноса (26%). Тако је специфична продукција наноса 1971. године износила $W_{s1}=1185 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{god}$, а 2011. године је износила $W_{s2}=876 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{god}$. Ипак, процес деаграризације овде није имао такав интензитет као у претходном насеобинском ареалу. Напротив, високе вредности ових индекса показују супротан процес. Индекс деаграризације на пољопривредним површинама (Index $AgL=96$) показује да су ова насеља захваћена веома slabим процесом деаграризације. Током времена фонд пољопривредног земљишта је остао стабилан. На другој страни, Index $ArL=131$ показује да се фонд ораничних површина повећао за 1/3.

У периоду 1971-2011. интензитет промена ерозије земљишта у ова два подтипа је готово исти. Ипак, извесне разлике постоје ако се посматра садашње стање. У насеобинском ареалу са интензивнијим процесом деаграризације, интензитет ерозивног процеса је мањи за 1/5, а специфична продукција наноса је мања за 1/3, у односу на други ареал.

Сл. 5. Географски размештај руралних насеља према доминантним географским факторима (-1 и 1 – природни услови као детерминанте ерозије земљишта; 2 – антропопресија као детерминанта ерозије земљишта; -3 и 3 – демографске детерминанте ерозије земљишта; -4 и 4 – промене пољопривредних и ораничних површина као детерминанте ерозије земљишта) (погледати у енглеској верзији текста стр.669)

Ерозија земљишта као глобални еколошки изазов све више утиче на одрживо управљање ресурсима, пољопривредну продуктивност и рурални развој. Губитак плодног површинског слоја убрзава деградацију животне средине и угрожава дугорочну безбедност хране. У Србији, нарочито у централним деловима земље, овај проблем тесно је повезан са друштвено-економским процесима који се одвијају од средине 20. века (Srejić et al., 2025). Период након Другог светског рата обележиле су дубоке промене у коришћењу земљишта и вегетационом покривачу, подстакнуте индустријализацијом и урбанизацијом. Иако су ови процеси имали за циљ унапређење животних услова, они су истовремено допринели депопулацији руралних подручја и напуштању традиционалних пољопривредних пракси.

Резултати ове студије су у сагласности са резултатима претходних истраживања овог простора (Srejić et al., 2023). Они су показали да насеља лоцирана у централним и јужним деловима слива имају стабилније или погодније природне услове за очување земљишта. Са друге стране, ова насеља трпе последице демографског пада и слабљења пољопривредних активности. Ипак, то омогућава делимичан опоравак природне вегетације. Насеља лоцирана на северу слива и периурбаном појасу већих градова, са великим демографским и пољопривредним потенцијалом, суочавају се са знатно већим претњама деградације земљишта. То потврђује да интензивнија експлоатација земљишта и велика густина насељености, ако нису праћене одрживим праксама, могу повећати ризик од ерозије чак и у повољним природним условима. Савремена истраживања наглашавају потребу за повезивањем еколошких иницијатива са локалним друштвено-економским околностима. У том контексту се промовишу интегрисани приступи који балансирају еколошке циљеве и развојне потребе руралног становништва.

Закључак

Комбинована примена МПЕ и ФА омогућила је идентификацију појединачног и интерактивног утицаја и хијерархије природних, демографских и аграрно-географских детерминанти. Овај мултидисциплинарни приступ омогућава прецизније издвајање зона различитог степена угрожености и тиме пружа основу за одрживо управљање земљиштем, планирање мера заштите, диверзификацију руралне економије и ревитализацију руралних подручја. Резултати истраживања показали су да географски фактори, попут литолошког састава, нагиба и надморске висине, имају доминантну улогу у обликовању географске диференцијације интензитета ерозије земљишта у сливу Велике Мораве. Истовремено, депопулација села, напуштање пољопривредних површина и слабљење традиционалних облика коришћења земљишта додатно појачавају просторне контрасте у динамици ерозије.

Упоредивањем историјских података о ерозији са савременим индикаторима добијен је увид у дугорочне трендове. Будућа истраживања могла би да надограде ову студију укључивањем детаљнијих просторних и временских података и дугорочног праћења како би се боље разумели временски аспекти ерозије земљишта и промена насеља. Интеграција социо-економских варијабли, политика коришћења земљишта и пројекција климатских промена додатно би унапредила разумевање интеракција између људских активности и природних услова. Упоредне анализе са другим речним сливовима у региону могле би помоћи у генерализацији налаза и усавршавању методолошких приступа.

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)