

GIS I MODERNE TEHNOLOGIJE U ADAPTACIJI I UBLAŽAVANJU KLIMATSKIH PROMENA S FOKUSOM NA REČNE SISTEME SEVERNE AFRIKE

Aleksandar Valjarević¹

Apstrakt: Geografski informacioni sistemi (GIS) i moderne tehnologije postali su ključni alati u rešavanju složenih izazova koje donose klimatske promene, posebno u regionima koji zavise od vode, poput Severne Afrike. Slivovi reka Nil, Medžerda i Dra od suštinskog su značaja za održavanje poljoprivrede, snabdevanje pijaćom vodom i ekonomske aktivnosti u ovom pretežno sušnom regionu. Ova studija ispituje primenu GIS-a, daljinske detekcije i digitalnog modelovanja u unapređenju strategija adaptacije i ublažavanja klimatskih promena, sa posebnim osvrto na interakcije između ljudskih aktivnosti, vodenih sistema i klimatske varijabilnosti. Kroz prostorne i vremenske analize, istraživanje identifikuje ključne oblasti sa problemima u vodosnabdevanju, ranjivost poljoprivrede i pritiske populacije unutar tampon zona od 10, 20 i 50 km oko glavnih rečnih sistema. Integracijom podataka o gustini naseljenosti, poljoprivrednim praksama i hidrološkoj varijabilnosti, GIS ukazuje na regione pod povećanim rizikom. Moderne tehnologije, poput satelitskih snimaka, mašinskog učenja i modela višekriterijumske analize odluka (MCDA), poboljšavaju preciznost u mapiranju i prognozi rizika povezanih sa klimom. Rezultati naglašavaju ulogu GIS-a u identifikaciji područja podložnih poplavama, praćenju održivosti poljoprivrede i optimizaciji potencijala obnovljive energije. Posebna pažnja posvećena je regionima sa nedostatkom vode, gde su rečni sistemi opterećeni prekomernim crpljenjem, zagađenjem i hidrološkim promenama izazvanim klimatskim uslovima. Predložene intervencije uključuju napredne sisteme za navodnjavanje, prikupljanje kišnice i rešenja zasnovana na obnovljivoj energiji. Studija takođe ističe potrebu za prekograničnom saradnjom među zemljama Severne Afrike kako bi se osiguralo pravedno i održivo upravljanje vodnim resursima. Ovo istraživanje podržava globalne napore u adaptaciji na klimatske promene, pokazujući kako GIS i daljinska detekcija unapređuju otpornost, upravljanje resursima i održivi razvoj u Severnoj Africi i šire.

Ključne reči: GIS; Adaptacija; Hidrologija; Poljoprivreda; Otpornost; Održivost.

GIS AND MODERN TECHNOLOGIES IN CLIMATE CHANGE ADAPTATION AND MITIGATION WITH A FOCUS ON NORTH AFRICAN RIVER SYSTEMS

Abstract: Geographic Information Systems (GIS) and modern technologies have emerged as essential tools in addressing the complex challenges posed by climate change, particularly in water-reliant regions like North Africa. The river basins of the Nile, Medjerda, and Draa are critical for sustaining agriculture, potable water supply, and economic activities in this predominantly arid region. This study examines the application of GIS, remote sensing,

¹ Univerzitet u Beogradu - Geografski fakultet, Studentski trg 3/III, 11000 Beograd, Srbija.
aleksandar.valjarevic@gef.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0003-2997-2164

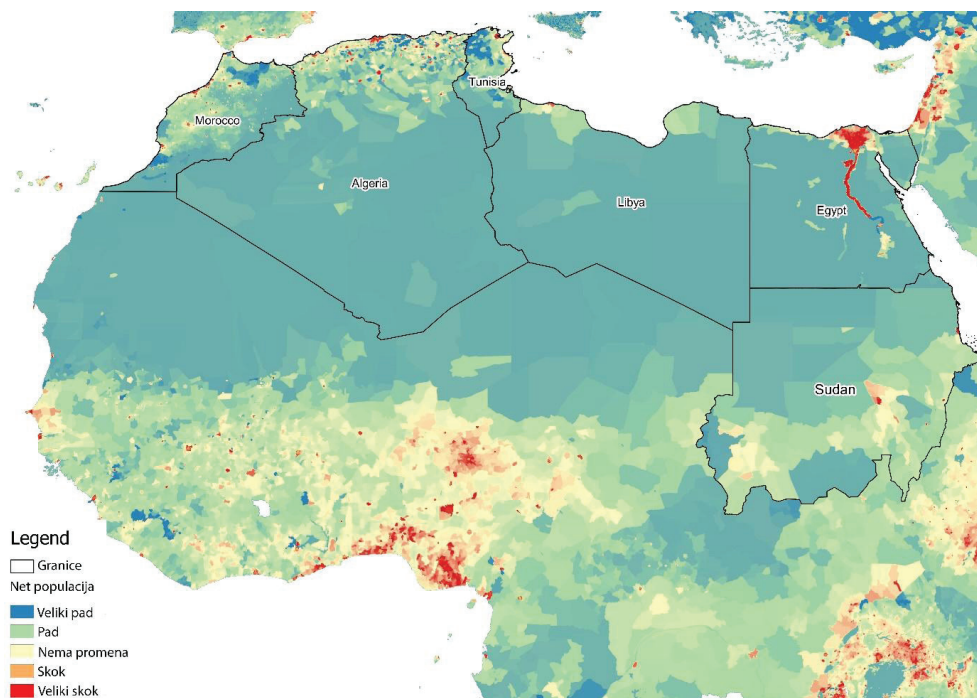
and digital modeling to enhance climate adaptation and mitigation strategies, focusing on the interactions between human activities, water systems, and climate variability. Through spatial and temporal analyses, the research identifies critical areas of water stress, agricultural vulnerability, and population pressures within 10, 20, and 50 km buffer zones around key river systems. By integrating data on population density, agricultural practices, and hydrological variability, GIS highlights regions at heightened risk. Modern technologies such as satellite imagery, machine learning, and multi-criteria decision analysis (MCDA) models improve the precision of mapping and forecasting climate-related risks. Findings emphasize GIS's role in identifying flood-prone areas, monitoring agricultural sustainability, and optimizing renewable energy potential. Special attention is given to water-scarce regions where river systems are stressed by over-extraction, pollution, and climate-induced hydrological changes. Proposed interventions include advanced irrigation systems, rainwater harvesting, and renewable energy solutions. The study also underscores the need for transboundary cooperation among North African nations to ensure equitable and sustainable water resource management. This research supports global climate adaptation efforts, demonstrating how GIS and remote sensing enhance resilience, resource management, and sustainable development in North Africa and beyond.

Key words: GIS; Adaptation; Hydrology; Agriculture; Resilience; Sustainability.

UVOD

Severna Afrika obuhvata zemlje kao što su Egipat, Libija, Alžir, Tunis, Maroko i Sudan. Ovaj prostor, koji se prostire na oko 8,33 miliona km² i u kojem živi više od 270 miliona ljudi, suočava se s ozbiljnim izazovima u pogledu vodnih resursa i održivog razvoja, naročito u kontekstu sve izraženijih klimatskih promena. Glavni rečni sistemi regiona – Nil, Medžerda i Draa – predstavljaju vitalne izvore vode, ključne za snabdevanje stanovništva, poljoprivrednu proizvodnju, industriju i svakodnevni život. Klimatski uslovi Severne Afrike pretežno su aridni (BWh) i poluaridni (BSh), sa vrlo niskim nivoima padavina, visokim temperaturama i dugim sušnim sezonama. Klimatske promene dodatno otežavaju situaciju, izazivajući ekstremne vremenske nepogode, sve učestalije suše, smanjene dotoke reka i progresivnu degradaciju zemljišta. Sa porastom broja stanovnika, posebno u velikim urbanim centrima kao što su Kairo, Alžir i Kazablanka, dolazi i do povećanog pritiska na vodne resurse koji su već iscrpljeni i nedovoljno obnovljivi. Na nivou čitavog kontinenta, Afrika broji više od 1,4 milijarde stanovnika, a prognoze ukazuju na rast populacije od preko 30% do 2050. godine. Najveći demografski rast beleži se u dolinama velikih reka – Nila, Nigera i Konga – koje su ključne za opskrbu vodom, razvoj naselja i širenje poljoprivrede. Klimatske promene dodatno komplikuju upravljanje tim resursima, utičući na sezonski režim padavina i hidrologiju reka. U Severnoj Africi, u uslovima sušnih i polusušnih zona, reke poput Nila, Medžerde i Drae imaju ključnu ulogu za život i privredu. Njihove doline podržavaju najproduktivnije poljoprivredne regione, ali se sve više suočavaju s negativnim posledicama urbanizacije, demografskog rasta i neadekvatnog upravljanja vodama. U međuvremenu, regioni Centralne i Zapadne Afrike raspolažu znatnim zalihama vode, ali su ograničeni slabom infrastrukturuom i neravnomernom distribucijom. Južna Afrika se suočava sa ekstremnim vodnim stresom, dok Istočna Afrika bilježi ubrzan rast populacije u ranjivim ekosistemima. Ova studija, koja se zasniva na podacima iz dva naučna rada, koristi integrisani GIS pristup za analizu demografskih pritisaka i hidroloških izazova na kontinentalnom i regionalnom nivou, s naglaskom na Severnu Afriku. Korišćenjem savremenih GIS tehnika i daljinske detekcije, istražuju se prostorne promene u gustini stanovništva i uticaj na rečne sisteme. Analiza obuhvata prostorno-vremenske procene i višekriterijumske metode odlučivanja (MCDA) za identifikaciju zona sa visokim stepenom vodnog stresa duž glavnih reka (Pérez-

Peña i dr., 2017; Kamarudin i dr., 2019). Takođe je primenjena metoda zona uticaja (buffer), kojom je procenjena povezanost između gustine naseljenosti i nivoa vodnog pritiska, čime su identifikovane prioritetne oblasti za hitne intervencije (Valjarević i dr., 2022). Zone uticaja su analizirane na udaljenostima od 10, 20 i 50 kilometara od glavnih i sezonskih vodotokova u Severnoj Africi, kako bi se utvrdio značaj prostorne blizine vodnim resursima na raspodelu stanovništva, potrošnju vode i promene u korišćenju zemljišta (Pande i Moharir, 2017; Taisan i Mohammed, 2022; Slika 1).



Slika 1. Promena populacije u zemljama Severne Afrike

MATERIJALI I METODE

Istraživano područje

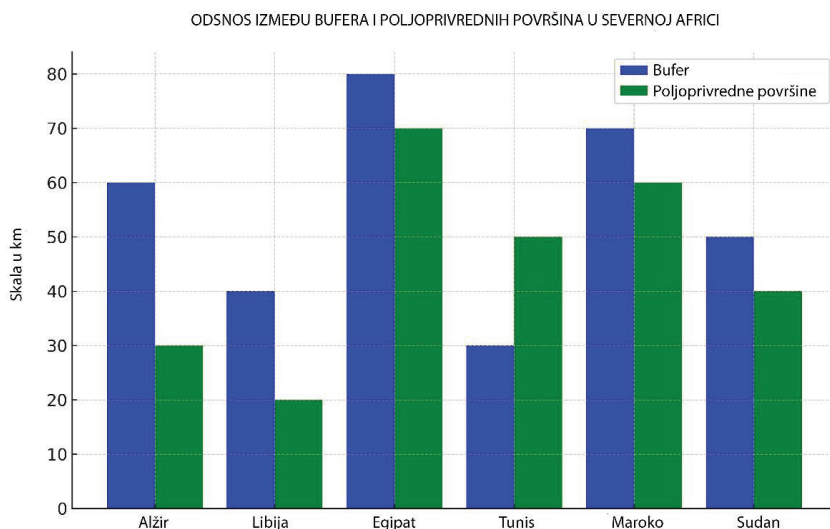
Severna Afrika obuhvata oko 8,33 miliona km² i ima oko 274 miliona stanovnika, što je 3,33% svetske populacije. Region uključuje šest zemalja: Alžir, Egipat, Libiju, Maroko, Sudan i Tunis. Suočava se sa izraženim klimatskim stresom – sušama, smanjenim padavinama i porastom temperatura, što negativno utiče na rečne tokove, poljoprivredu i kvalitet zemljišta. Pejzažom dominira Sahara (aridna klima), dok su obale pod umerenom mediteranskom klimom. Planine Atlas donose više padavina, a južni Sudan ima tropsku savansku klimu. Najvažniji rečni sistemi – Nil, Medžerda, Muluja i drugi – ključni su za opstanak. Nil, dug 6.650 km, od vitalnog je značaja za Egipat i Sudan. Reke su pod pritiskom zbog rasta stanovništva, urbanizacije i klimatskih promena, posebno u Kairu, Alžiru i Kazablanki. Studija analizira zone od 10, 20 i 50 km oko glavnih reka, ističući ključna područja pod vodnim stresom i pomažući u planiranju održivog upravljanja resursima.

GIS METODE

U ovoj studiji primenjen je niz metodoloških pristupa radi ostvarivanja istraživačkih ciljeva. Prvi korak obuhvatao je određivanje slivnih područja (Watershed Delineation), pri čemu su korišćeni digitalni modeli reljefa (DEM) za identifikaciju granica slivova. U tu svrhu upotrebljen je softver QGIS, verzija 3.32.2, za analizu pravca oticanja, mapiranje akumulacije protoka, generisanje rečne mreže i izdvajanje slivnih celina. Integracijom DEM podataka visoke rezolucije sa prostornom mrežom od 100 metara, omogućeni su detaljni uvidi u konfiguraciju rečnih sistema Afrike. Druga primenjena metoda bila je višekriterijumska analiza odlučivanja (MCDA) u okviru upravljanja rečnim slivovima. Ova metoda, oslonjena na GIS tehnologiju, omogućava kombinovanje ekoloških, ekonomskih i društvenih faktora radi donošenja informisanih i održivih odluka. Analiza je obuhvatila procenu uticaja gustine naseljenosti na afričke reke i periodične vodotokove, pružajući osnov za određivanje prioriteta u upravljačkim intervencijama. Treći pristup odnosio se na prostorno-vremensku analizu podataka o rečnim sistemima i populaciji. Definisane su zone uticaja u radijusima od 10 km, 20 km i 50 km od glavnih rečnih tokova, kako bi se ispitali obrasci prostorno-vremenskih interakcija. Ova analiza, dopunjena dodatnim prostornim tehnikama, omogućila je identifikaciju uticaja demografskog rasta i ekoloških promena na stabilnost i opterećenje rečnih slivova u afričkim vodnim sistemima. Dodatno, primenom raster uzorkovanja osigurana je preciznost i validacija izrađenih karata (Wang i dr., 2009; Ayalew i dr., 2005).

Statističke metode

U ovoj studiji primenjen je niz metodoloških pristupa radi ostvarivanja istraživačkih ciljeva. Prvi korak obuhvatao je određivanje slivnih područja (Watershed Delineation), pri čemu su korišćeni digitalni modeli reljefa (DEM) za identifikaciju granica slivova. U tu svrhu upotrebljen je softver QGIS, verzija 3.32.2, za analizu pravca oticanja, mapiranje akumulacije protoka, generisanje rečne mreže i izdvajanje slivnih celina. Integracijom DEM podataka visoke rezolucije sa prostornom mrežom od 100 metara, omogućeni su detaljni uvidi u konfiguraciju rečnih sistema Afrike. Druga primenjena metoda bila je višekriterijumska analiza odlučivanja (MCDA) u okviru upravljanja rečnim slivovima. Ova metoda, oslonjena na GIS tehnologiju, omogućava kombinovanje ekoloških, ekonomskih i društvenih faktora radi donošenja informisanih i održivih odluka. Analiza je obuhvatila procenu uticaja gustine naseljenosti na afričke reke i periodične vodotokove, pružajući osnov za određivanje prioriteta u upravljačkim intervencijama. Treći pristup odnosio se na prostorno-vremensku analizu podataka o rečnim sistemima i populaciji. Definisane su zone uticaja u radijusima od 10 km, 20 km i 50 km od glavnih rečnih tokova, kako bi se ispitali obrasci prostorno-vremenskih interakcija. Ova analiza, dopunjena dodatnim prostornim tehnikama, omogućila je identifikaciju uticaja demografskog rasta i ekoloških promena na stabilnost i opterećenje rečnih slivova u afričkim vodnim sistemima. Dodatno, primenom raster uzorkovanja osigurana je preciznost i validacija izrađenih karata (Wang i dr., 2009).



Slika 2. Uticaj nestašice vode na zemlje Severne Afrike.

ZAKLJUČAK

U okviru ovog istraživanja korišćene su statističke metode zasnovane na programskom jeziku R, koje su omogućile detaljnu analizu prostornih zona uticaja (buffer analiza). Ova tehnika, često korišćena u ekološkim i geografskim studijama, služi za ispitivanje interakcija koje se odvijaju u definisanim radiusima oko geografskih entiteta. U ovom slučaju, metodologija je omogućila vizualizaciju odnosa između gustine naseljenosti i udaljenosti od rečnih tokova, uz pomoć grafičkih prikaza koji su jasno ukazivali na prostorne obrasce i potencijalne korelacije (Kaya i dr., 2018). Podaci preuzeti sa platforme Natural Earth, koja obuhvata više od 100 skupova podataka u raster i vektorskim formatima, predstavljali su osnovu za prostornu analizu. Ovi podaci, standardizovani u WGS 84 projekciji, pokrivaju razne društvene i prirodne karakteristike – uključujući administrativne granice, naseljena mesta, gradske zone, reke, jezera, obale i druge fizičke osobine prostora, sa rezolucijama od 100 m² do 1.000 km². Konkretno, za potrebe analize afričkih rečnih sistema korišćeni su shapefile podaci koji su obrađeni u QGIS okruženju, verzija 3.32.2. Dodatno, prostorni podaci preuzeti iz DIVA-GIS baze omogućili su analizu specifičnu za Severnu Afriku. Ovaj repozitorijum nudi bogat spektar vektorskih i raster slojeva koji obuhvataju teme poput administrativnih podela, unutrašnjih voda, saobraćajne infrastrukture, nadmorske visine, tipova pokrivenosti zemljišta i demografskih podataka. U ovom istraživanju, preuzeti podaci o granicama i fizičko-geografskoj strukturi afričkih zemalja analizirani su pomoću softverskog paketa QGIS 3.32.2, što je omogućilo preciznu integraciju i obradu prostornih slojeva (<https://diva-gis.org/data.html>).

LITERATURA

- Kamarudin, M. K. A., Nalado, A. M., Toriman, M. E., Juahir, H., Umar, R., Ismail, A., & Harith, H. (2019). Evolution of river geomorphology to water quality impact using remote sensing and GIS technique. *Desalination and Water Treatment*, 149, 258–273. <https://doi.org/10.5004/dwt.2019.23838>.
- Kaya, E., Agca, M., Adiguzel, F., & Cetin, M. (2018). Spatial data analysis with R programming for environment. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 25(6), 1521–1530. <https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1470896>.
- Pande, C. B., & Moharir, K. (2017). GIS-based quantitative morphometric analysis and its consequences: A case study from Shanur River Basin, Maharashtra, India. *Applied Water Science*, 7, 861–871. <https://doi.org/10.1007/s13201-015-0298-7>.
- Pérez-Peña, J. V., Al-Awabdeh, M., Azañón, J. M., Galve, J. P., Booth-Rea, G., & Notti, D. (2017). SwathProfiler and NProfiler: Two new ArcGIS add-ins for the automatic extraction of swath and normalized river profiles. *Computers & Geosciences*, 104, 135–150. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2016.08.008>.
- Taisan, A. A., & Mohammed, W. E. (2022). A GIS-based approach for evaluating public open spaces in Dammam city, Saudi Arabia. *Spatial Information Research*, 30, 691–706. <https://doi.org/10.1007/s41324-022-00460-7>.
- Valjarević, A., Milanović, M., Gultepe, I., Filipović, D., & Lukić, T. (2022). Updated Trewartha climate classification with four climate change scenarios. *The Geographical Journal*, 188, 506–517. <https://doi.org/10.1111/geoj.12458>.
- Wang, Y. Q., Zhang, X. Y., & Draxler, R. R. (2009). TrajStat: GIS-based software that uses various trajectory statistical analysis methods to identify potential sources from long-term air pollution measurement data. *Environmental Modelling & Software*, 24(8), 938–939. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2009.01.004>.