

UDK: 502/504(1-751.2 Fruška gora)(497.11)

DOI: 10.5937/KonGef24016J

Прегледни научни рад

МОГУЋА ПРИМЕНА МУЛТИСПЕКТРАЛНИХ АНАЛИЗА У ЗАШТИТИ ШУМСКИХ ЕКОСИСТЕМА НП ФРУШКА ГОРА

Тијана Јаковљевић¹, Снежана Ђурђић²

Апстракт: Отворени сателитски подаци су омогућили ширу примену мултиспектралних анализа у праћењу стања вегетације. Значај оваквих анализа у заштити шумских екосистема је посебно изражен код непроходних или шума велике површине, а у будућности због све веће рањивости шума због климатских промена ће заузети важну улогу и допринети правовременом реаговању у случају сушења или повећаног ризика од пожара. У НП Фрушка гора се између више од 20 шумских заједница, налазе заједница китњака и граба са костриком (*Rusco-Quercus-Carpinetum*), као и шуме брдске букве и липе изузетне вредности (*Tilia-fagetum submontanum*) и њихова заштита треба да буде приоритетан циљ, а мултиспектралне анализе могу омогућити праћење стања и допринети правовременој реакцији и доношењу исправних одлука у управљању шумским екосистемима. У раду су коришћени индекси добијени на основу мултиспектралних података Sentinel 2 сателита преузетих преко Copernicus Data Space Ecosystem платформе. NDVI - Normalized Difference Vegetation Index, NDRE - Normalized Difference Red Edge Vegetation Index и NDMI - Normalized Difference Moisture Index су израчунати помоћу Q-gis софтвера за простор Националног парка Фрушка гора у десетометарској или двадесетометарској резолуцији за специфичне датуме одабране на основу облачности у моменту снимања терена, али и других метеоролошких услова. Сва три индекса су базирана на вредностима рефлексије црвеног, граничног црвеног, инфрацрвеног и краткоталасног инфрацрвеног дела спектра. Вредности индекса се мењају у зависности од стања вегетације, а више вредности указују на здравију вегетацију, а ниже на сушење које може бити последица периода суше, инвазије штеточина или болести, као и наступања наредне фенолошке фазе у зависности од годишњег доба. Ниже вредности могу указивати и на дефорестацију или шумски пожар. Циљ рада је испитивање променљивости вегетационих индекса са променом количине падавина и температуре ваздуха. Осматрани период је између 2017. и 2022. године.

Кључне речи: НП Фрушка гора, вегетациони индекси, NDVI, NDRE, NDMI, мултиспектралне анализе

УВОД

Због великог утицаја климатских промена, неконтролисаних и прекомерне сече шума, инвазије штеточина и болести на шумске екосистеме, јавља се све већа потреба за континуираним праћењем стања вегетације. Због великих просторних и непроходности, теренска истраживања могу бити отежана што може одложити правовремену реакцију у заштити шума. Како би се унапредио континуирани мониторинг вегетације све чешћа је употреба сателитских података и мултиспектралних индекса.

Schultz & Halpert (1995) су анализирали повезаност NDVI индекса, количине падавина и температуре на глобалном нивоу. Због већег утицаја облачности, промена у орбиталном кретању сателита и деградације инструмената, квалитет сателитских података коришћених у овом истраживању није довољно висок и аутори истичу да је то потенцијални узрок изостанка корелације између вредности вегетационих индекса и количине падавина. Suzuki, Tanaka & Yasunari (2000) су за простор Сибира анализирали међусобну зависност вредности вегетационих индекса и количине падавина и вредности температуре у периоду од пет година (1986- 1990) и уочили позитивну зависност између вредности индекса и количине падавина и негативну зависност између вредности вегетационих индекса и температуре.

¹ Универзитет у Београду - Географски факултет, Студентски трг 3/III, Београд, Србија, tijana.jakovljevic@gef.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0001-8902-5519

² Универзитет у Београду - Географски факултет, Студентски трг 3/III, 11000 Београд, Србија, snezana.djurdjic@gef.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0001-6316-6364

Бројност студија које испитују међузависност између вредности метеоролошких/климатских параметара и вегетационих индекса је расла, а просторно су анализирани различити региони широм света. Zhou et al (2001) су на основу анализе промене NDVI индекса на простору северне хемисфере (40°N и 70°N) у периоду од 1981. до 1999. године увидели значајну повезаност између вредности вегетационог индекса и температуре копна. Pio et al (2004) су анализирали променљивост вредности вегетационих индекса у односу на климатске услове у Кини током вегетационе сезоне од 1982. до 1999. године. Lotsch et al (2003) су анализирали променљивост NDVI индекса и SPI (Standardized Precipitation Index) индекса који је показатељ распореда падавина на глобалном нивоу.

Новија истраживања укључују већи број вегетационих индекса, податке квалитетније просторне резолуције и примену моделовања и машинског учења. Неколико радова је на прегледан начин приказало досадашњу примену сателитских података у праћењу стања вегетације (Zeng et al, 2022; Gao et al, 2020; Zeng et al 2020; McDowell et al, 2015).

Простор Србије или појединих њених општина и округа је све чешће проучаван кроз вегетационе индексе добијене из сателитских осматрања. Поједине студије на тај начин анализирају деградацију шумских екосистема (Potic et al, 2023; Brovkina et al, 2020; Milanovic et al, 2019), док друге проучавају повезаност вредности вегетационих индекса и климатских параметара (Baumgartel et al, 2024; Markovic et al, 2021).

Национални парк Фрушка гора је најстарије заштићено подручје овог типа на територији Србије. Заштићен је још 1960. године, да би данас његова укупна површина износила 26.672 ха. Од укупне површине, око 3% територије се налази у режиму заштите I степена (нпр. локалитети од значаја за очување шумских екосистема Папратски до, Стражилово, Змајевац и др.), 67% територије је у режиму заштите II степена и 30% укупне површине НП је у статусу III степена заштите (Просторни план подручја посебне намене „Фрушка гора“, 2019).

На подручју Фрушке горе констатовано је флористичко богатство од 1.454 врсте флоре (Буторац, 2007), од којих је 200 заштићено у статусу природних реткости Србије. Део територије Фрушке горе који је заштићен као национални парк, обухвата углавном централни гребен планине који у највећој мери представља станиште шумске вегетације. Клима зонална вегетација храстових шума и храстово-грабових шума доминира централним делом масива. Доминацију међу више од 20 научно идентификованих шумских заједница Фрушке горе има заједница китњака и граба са костриком (*Rusco-Quercus-Carpinetum*) која окупира углавном осојна станишта у висинском појасу од 300 до 500 метара (Јанковић, Мишић, 1980; Буторац, 2007; Trifunov et al., 2013). У истом висинском појасу, између осталих, присутна је и климатогена заједница фестуке и китњака (*Festuco drymeiae-Quercetum petraeae*). Међу најксеротермнијим шумским заједницама НП Фрушка гора, издвајамо мешовиту шуму храстова и белограбића (*Carpino orientalis-Quercetum*) чија станишта рефугијалног карактера насељава и више од 100 врста флоре. Широког распрострањења међу шумским фитоценозама је мешовита брдска букова шума са липом (*Tilio-Fagetum submontanum*), која настањује нешто влажнија станишта у односу на заједнице у којима доминира храст китњак.

Истраживање које је представљено овим радом од значаја је и због чињенице да је шумска вегетација присутна на око 90% територије Фрушке горе, која је заштићена у границама националног парка у појасу надморских висина изнад 300 метара, али и да је изданаочног порекла више од 80% шумског покривача, што је последица неадекватног газдовања шумом, те у првом спрату све више доминирају липа, граб, црни јасен и др. (Bobinas, 2003; Trifunov et al., 2013).

МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ

Циљ рада је да испита постојање зависности вредности вегетационих индекса у односу на вредности средње месечне температуре и количине падавина у летњим месецима на простору Националног парка Фрушка гора. Како би се избегао утицај најзначајнијих фенолошких догађаја (нпр. листања или опадања лишћа) на промене вредности вегетационих индекса, анализирани су подаци само током летњег периода у низу од шест година. Приликом одабира конкретних датума у летњим месецима, коришћен је критеријум облачности, при чему су издвојени снимци са што мањом покривеношћу облака. Према том критеријуму, биран је један датум по месецу. Поред тога, коришћени су подаци о вероватноћи појаве облачности по појединачном пикселу у двадесетометарској резолуцији. Изузети су сви пиксели у којима је постојала било која вероватноћа појаве облака (од 1 до 100%) и у анализи су задржани само они код којих је вероватноћа била 0. У картографском приказу изузети пиксели су посебно означени.

Сателитски подаци

У израчунавању три индекса (Normalized Difference Vegetation Index, Normalized Difference Red Edge Vegetation, Normalized Difference Moisture Index) коришћени су мултиспектрални подаци Sentinel 2 сателита преузети преко Copernicus Data Space Ecosystem платформе. NDVI - Normalized Difference Vegetation Index се базира на рефлексији блиског инфрацрвеног (NIR) и црвеног дела (RED) спектра, а рачуна се моћу следеће формуле (Rouse et al., 1974):

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$$

Слично NDVI индексу, NDRE - Normalized Difference Red Edge Vegetation Index се базира на рефлексији блиског инфрацрвеног (NIR), али и граничног црвеног (RED EDGE) дела спектра. Gitelson и Merzlyak (1994) су представили формулу по којој се овај индекс рачуна:

$$NDRE = (NIR - RED\ EDGE) / (NIR + RED\ EDGE)$$

Осим NDVI и NDRE индекса, у овом раду је коришћен и NDMI - Normalized Difference Moisture Index који се заснива на рефлексији блиског инфрацрвеног (NIR) и краткоталасног инфрацрвеног (SWIR) дела спектра. Jin и Sader (2005) су користили следећу формулу да би израчунали вредност овог индекса:

$$NDMI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$$

У раду су коришћени подаци са Sentinel 2 сателита, односно канал 4 као црвени, канал 5 као гранични црвени, канал 8 као инфрацрвени и канал 11 као краткоталасни инфрацрвени део спектра, Канали 4 и 8 су десетометарске, а канали 5 и 11 двадесетометарске просторне резолуције. Са циљем елиминисања свих пиксела који су имали вероватноћу појаве облачности коришћен је сет података (MSK_CLDPRB_20m) у двадесетометарској резолуцији преузет са исте платформе (Copernicus Data Space Ecosystem). Добијени резултати су у десетометарској резолуцији.

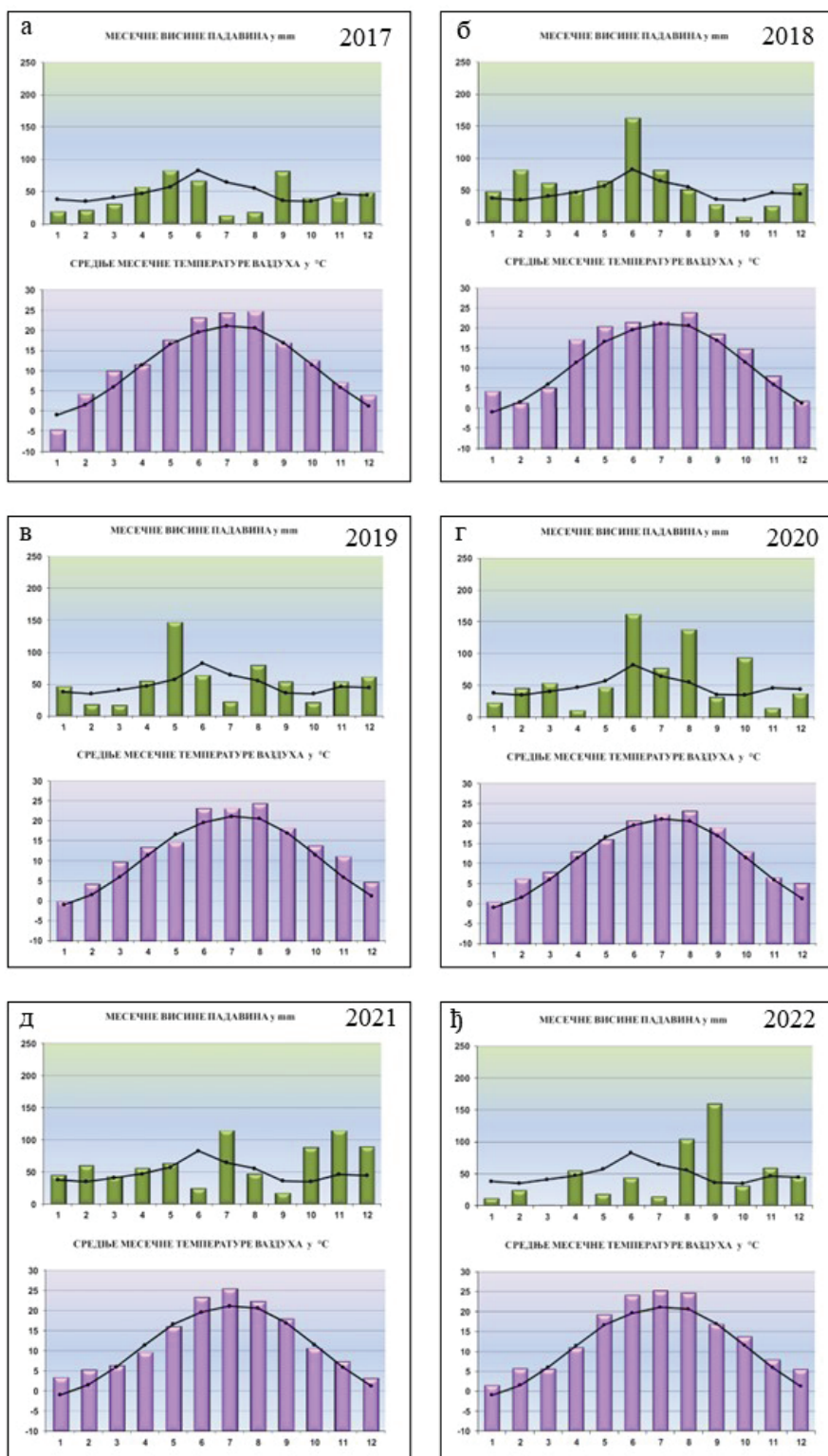
Климатолошки подаци

У анализи климатских услова коришћени су подаци и графикони преузети из Метеоролошких годишњака за период од 2017. до 2022. године. На Слици 1, зеленом бојом је представљена месечна висина падавина у mm, а љубичастом средња месечна температура у °C. Вредности су израчунате на основу податке прикупљених на метеоролошкој станици у Новом Саду која је најближа главна метеоролошка станица истраживаном подручју. Црна линија на графиконима представља просечне вредности за период од 1961. до 1990. године.

Просечне вредности за период 1961. до 1990. година указују да се током године највећа количина падавина може очекивати у јуну, јулу, мају и августу. У периоду од 2017. до 2022. године неоубичајено сув јун (мање од 50mm) је био 2021. и 2022. године, а јул 2017., 2019. и 2022. године. У августу су знатно мање количине падавина у односу на просечне вредности забележене само у 2017. години. На основу наведеног може се закључити да је лето 2017. године било неоубичајено суво, а 2022. године је након забележене мање количине падавина у јуну и јулу, у августу забележена двоструко већа количина од просечне вредности. Неубичајено кишовито лето уследило је након сувљег пролећа 2020. године када је у јуну забележено преко 150 mm падавина, што се у посматраном периоду догодило једино још 2018. године у јуну месецу.

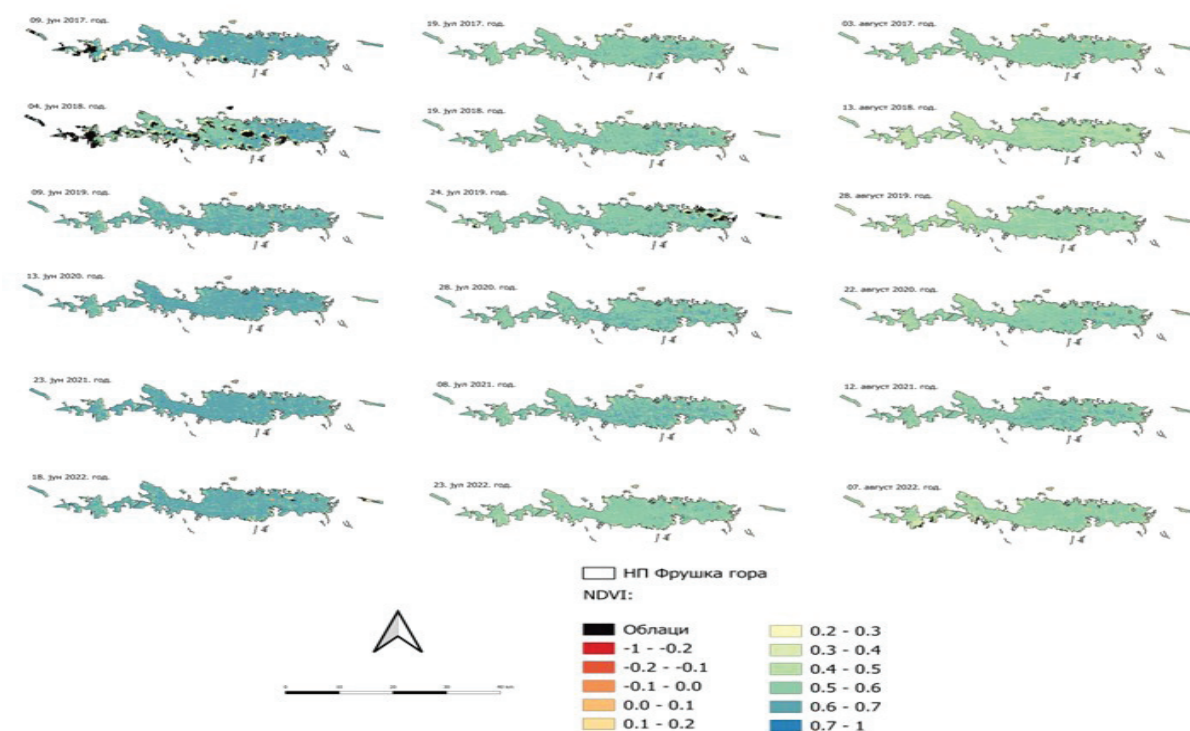
У периоду од 1961. до 1990. године средња месечна температура је највиша у јулу, затим у августу и јуну. У периоду од 2017. до 2022. године посебно топла лета су била 2017. године и 2022. године. У посматраном периоду у летњим месецима није забележена нижа средња месечна температура у односу на просек за 1961. до 1990. године. Лета су у свих посматраних шест година била топлија у односу на референтни период.

За даљу анализу су посебно интересантне 2017. година и јун и јул 2022. године због мање количине падавине и виших температура, као и 2020. година у којој су бележене готово просечне летње температуре и неубичајено висока количина падавина у летњим месецима.



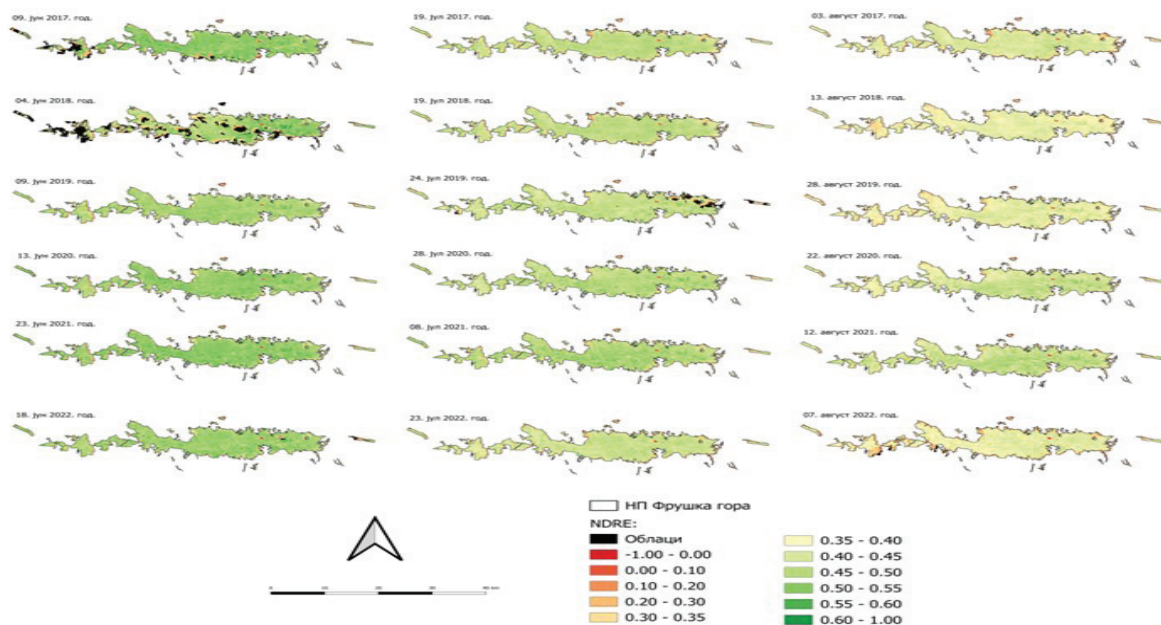
РЕЗУЛТАТ

На Слици 2 су приказане вредности NDVI индекса за простор Националног парка Фрушка гора за одабране датуме у јуну, јулу и августу од 2017. године до 2022. године. За одабране датуме вредности индекса су највише (углавном између 0.6 и 0.7) у јуну сваке године, док су најниже у августу (углавном између 0.4 и 0.6). У посматраном периоду су најниже вредности забележене 13. августа 2018. године, а највише 23. јуна 2021. године. Анализирајући посматрани период више вредности индекса су се задржале 08. јула и 12. августа 2021. године, док су неуобичајено ниске вредности биле у сва три обрађена примера у 2018. години.



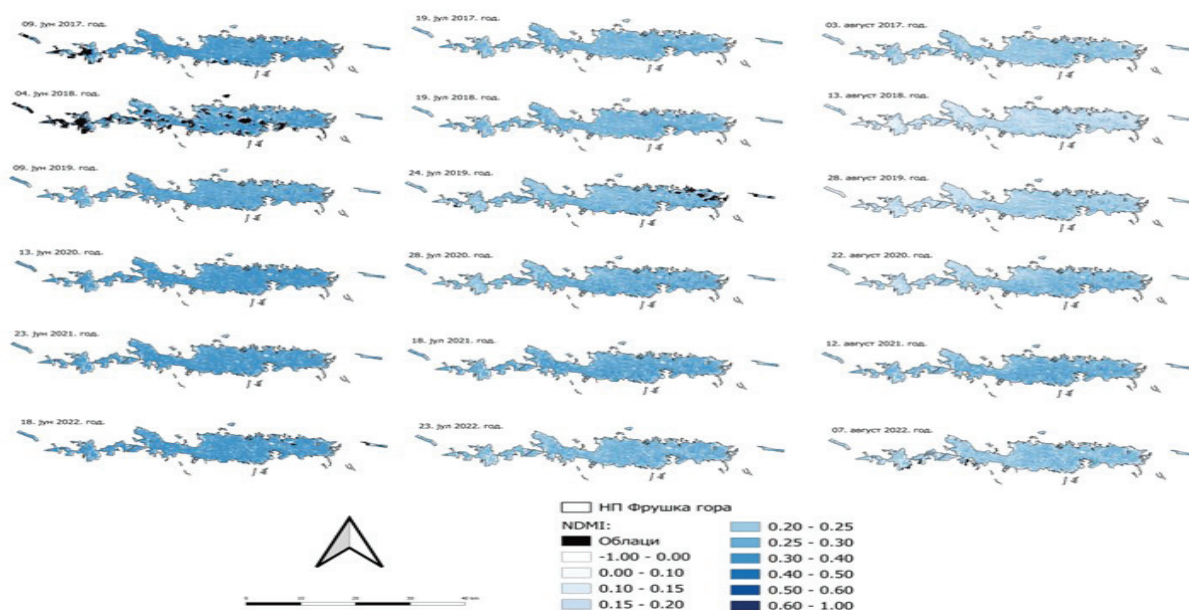
Слика 2. Вредности NDVI индекса на простору НП Фрушка гора за одабране датуме
Извор: аутори

На Слици 3 су приказане вредности NDRE индекса на простору Националног парка Фрушка гора за одабране датуме у јуну, јулу и августу од 2017. до 2022. године. Највише вредности индекса су бележене у јуну (углавном између 0.45 и 0.55), а најниже у августу (углавном између 0.35 и 0.45). Више вредности у августу су забележене 12. августа 2021. године и 22. августа 2020. године. У наведеним примерима су забележене најниже вредности 07. августа 2022. године, а највише 23. јуна 2021. године.



Слика 3. Вредности NDRE индекса на простору НП Фрушка гора за одабране датуме
Извор: аутори

На Слици 4 су приказане вредности NDMI индекса на простору Националног парка Фрушка гора за одабране датуме у јуну, јулу и августу од 2017. године до 2022. године. Као и у случају NDRE и NDVI индекса, највише вредности NDMI индекса су бележене у јуну (углавном између 0.25 и 0.4), а најниже у августу (углавном између 0.15 и 0.25). Поново су у посматраним данима у 2021. години бележене више вредности у односу на примере из истих месеца осталих година. Најниже вредности индекса у осматраним данима су забележене 13. августа 2018. године, а највише 13. јуна 2020. године.



Слика 4. Вредности NDMI индекса на простору НП Фрушка гора за одабране датуме
Извор: аутори

ДИСКУСИЈА И ЗАКЉУЧАК

Вредности сва три индекса се мењају према сличном обрасцу у посматраним датумима. Највише вредности се бележе у јуну, а најниже у августу. Више вредности сва три индекса су регистроване у одабраним датумима у 2021. години. Након уобичајено кишовитог пролећа, јун те године је био неуобичајено сув, док је у јулу била забележена двоструко већа количина падавина у односу на референтни период (1961. – 1990. година). Може се претпоставити да због довољне количине падавина током пролећа, вредности индекса нису посебно опале 23. јуна 2021. године упркос малој количини падавина током јуна, док веће вредности индекса у одабраним датумима у јулу и августу могу бити последица неуобичајено велике количине падавина током јула.

Ниже вредности сва три индекса 07. августа 2022. године могу бити последица мање количине падавина регистроване током јуна и јула и неуобичајено високих средњих месечних температура. Неуобичајено суви летњи месеци 2017. године нису значајније утицали на вредности индекса.

Такође, корелацију између нижих вредности сва три индекса 13. августа 2018. године и количине падавина у јуну и јулу 2018. године је тешко уочити. Упркос изузетно високој количини падавина у јуну и повећаној количини у јулу 2018. године, вредности сва три индекса 13. августа су ниже. Средње месечне температуре те године нису биле повишене током летњих месеци, али током пролећа јесу. Претпоставку да високе пролеће температуре могу утицати на осетљивост вегетације и смањење вредности индекса у летњим месецима би требало додатно испитати.

Јасне корелације између вредности индекса у одабраним данима у летњим месецима у периоду између 2017. и 2022. године и средње месечне температуре и месечних падавина је тешко уочити. Даље анализе би могле да се односе на испитивање корелације између средњих вредности индекса за одређени период и средњих вредности метеоролошких параметара. Међутим, у таквим анализама посебан изазов би представљала облачност у данима сателитских снимања. Нпр. у приказаној анализи је било немогуће пронаћи сателитске снимке без веће облачности за само један дан у јуну 2018. године и поред чак шест осматрања колико је сателит обавио за простор целог Националног парка Фрушка гора. Овај изазов се може превазићи употребом података прикупљених са више различитих сателита или применом радарске технологије.

Даља истраживања би требало да обухвате анализу корелације вредности индекса и дневних вредности метеоролошких параметара. Претпоставка је да шумски екосистеми нису подложни сушењу због неуобичајено ниских или високих појединачних дневних вредности температуре или падавина, али анализа вредности вегетационих индекса након већег броја узастопних сувих дана или тропских дана би могле да покажу одређене обрасце и корелације. Такође, анализа у дужем временском периоду би могла да укаже на значајније корелације вредности вегетационих индекса и метеоролошких параметара. Посебно би биле значајне анализе одложених (нпр. како неуобичајене вредности метеоролошких параметара у једној сезони утичу на вредности вегетационих индекса у наредној сезони) или кумулативних ефеката (нпр. како низ дана, месеци или година у којима се бележе неуобичајене вредности метеоролошких параметара утичу на вредности вегетационих индекса). У свим анализама не треба занемарити утицај других фактора (фенолошке фазе, деградација шумских екосистема, инвазија штеточина и болести и сл.).

ЛИТЕРАТУРА

- Републички хидрометеоролошки завод: Метеоролошки годишњак 1, Климатолошки подаци 2017, Београд, 2018. година
- Републички хидрометеоролошки завод: Метеоролошки годишњак 1, Климатолошки подаци 2018, Београд, 2019. година
- Републички хидрометеоролошки завод: Метеоролошки годишњак 1, Климатолошки подаци 2019, Београд, 2020. година
- Републички хидрометеоролошки завод: Метеоролошки годишњак 1, Климатолошки подаци 2020, Београд, 2021. година
- Републички хидрометеоролошки завод: Метеоролошки годишњак 1, Климатолошки подаци 2021, Београд, 2022. година

- Републички хидрометеоролошки завод: Метеоролошки годишњак 1, Климатолошки подаци 2022, Београд, 2023. година
- Baumgartel, A., Lukić, S., Čaković, M., Lazić, I., Tošić, M., Momirović, N., ... & Djurdjević, V. (2024). Spatio-Temporal Analysis of Vegetation Response to Climate Change, Case Study: Republic of Serbia. *International Journal of Environmental Research*, 18(2), 21.
- Bobinac, M. (2003). A contribution to the study of stand degradation process on the territory of Fruška gora National Park. *Proc. Nat. Sci. Matica srpska*, 105, 61-73.
- Brovkina, O., Stojanović, M., Milanović, S., Latypov, I., Marković, N., & Cienciala, E. (2020). Monitoring of post-fire forest scars in Serbia based on satellite Sentinel-2 data. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 11(1), 2315-2339.
- Буторац, Б. (2007). Биљни свет. У: Давидов, Д. (уред.) (2007) *Фрушка гора*, (стр. 77-88), Београд: Завод за уџбенике.
- Gao, L., Wang, X., Johnson, B. A., Tian, Q., Wang, Y., Verrelst, J., ... & Gu, X. (2020). Remote sensing algorithms for estimation of fractional vegetation cover using pure vegetation index values: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 159, 364-377.
- Gitelson, A. & Merzlyak, M. N. (1994). Spectral Reflectance Changes Associated with Autumn Senescence of *Aesculus hippocastanum* L. and *Acer platanoides* L. Leaves. Spectral Features and Relation to Chlorophyll Estimation. *Journal of Plant Physiology*, 143(3), 286-292. doi:10.1016/s0176-1617(11)81633-0
- Janković, M.M., Mišić, V. (1980). *Šumska vegetacija i fitocenozе Fruške gore*. Matica srpska, posebna izdanja, Novi Sad.
- Jin, S. & Sader, S. A. (2005). Comparison of time series tasseled cap wetness and the normalized difference moisture index in detecting forest disturbances. *Remote Sensing of Environment*. Volume 94. Issue 3. 2005. Pages 364-372. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.10.012>.
- Lotsch, A., Friedl, M. A., Anderson, B. T., & Tucker, C. J. (2003). Coupled vegetation-precipitation variability observed from satellite and climate records. *Geophysical Research Letters*, 30(14).
- Marković, M., Cheema, J., Teofilović, A., Čepić, S., Popović, Z., Tomićević-Dubljević, J., & Pause, M. (2021). Monitoring of spatiotemporal change of green spaces in relation to the land surface temperature: A case study of Belgrade, Serbia. *Remote Sensing*, 13(19), 3846.
- McDowell, N. G., Coops, N. C., Beck, P. S., Chambers, J. Q., Gangodagamage, C., Hicke, J. A., ... & Allen, C. D. (2015). Global satellite monitoring of climate-induced vegetation disturbances. *Trends in plant science*, 20(2), 114-123.
- Milanović, M. M., Micić, T., Lukić, T., Nenadović, S. S., Basarin, B., Filipović, D. J., ... & Ristanović, B. (2019). Application of Landsat-derived NDVI in monitoring and assessment of vegetation cover changes in Central Serbia. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 14(1), 119-129.
- Piao, S., Fang, J., Ji, W., Guo, Q., Ke, J., & Tao, S. (2004). Variation in a satellite-based vegetation index in relation to climate in China. *Journal of vegetation Science*, 15(2), 219-226.
- Potić, I., Srdić, Z., Vakanjac, B., Bakrač, S., Đorđević, D., Banković, R., & Jovanović, J. M. (2023). Improving Forest Detection Using Machine Learning and Remote Sensing: A Case Study in Southeastern Serbia. *Applied Sciences*, 13(14), 8289.
- Просторни план подручја посебне намене „Фрушка гора“ (2018). Службени лист АПВ, бр.8, 2019.
- Rouse, J.W.; Hass, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W.; & Harlan, J.C. (1974). Monitoring the Vernal Advancement and Retrogradation (Green Wave Effect) of Natural Vegetation; Final Report, RSC 1978-4; Texas A&M University: College Station, TX, USA
- Schultz, P. A., & Halpert, M. S. (2005). Global analysis of the relationships among a vegetation index, precipitation and land surface temperature. *International Journal of Remote Sensing*, 16(15), 2755-2777. <https://doi.org/10.1080/01431169508954590>
- Suzuki, R., Tanaka, S., & Yasunari, T. (2000). Relationships between meridional profiles of satellite-derived vegetation index (NDVI) and climate over Siberia. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 20(9), 955-967.
- Trifunov, S., Krašić, D., Markov, Z., Mudri-Stojnić, S., Butorac, B., Vujić, A. (2013). Forest changes due to human activities in the National park "Fruška gora" (Serbia) – ecological and economic indicators. *Arch. Biol. Sci.*, 65(2), 707-719. DOI:10.2298/ABS1302707T
- Zeng, Y., Hao, D., Huete, A., Dechant, B., Berry, J., Chen, J. M., ... & Chen, M. (2022). Optical vegetation indices for monitoring terrestrial ecosystems globally. *Nature Reviews Earth & Environment*, 3(7), 477-493.
- Zeng, L., Wardlow, B. D., Xiang, D., Hu, S., & Li, D. (2020). A review of vegetation phenological metrics extraction using time-series, multispectral satellite data. *Remote Sensing of Environment*, 237, 111511.
- Zhou, L., Tucker, C. J., Kaufmann, R. K., Slayback, D., Shabanov, N. V., & Myneni, R. B. (2001). Variations in northern vegetation activity inferred from satellite data of vegetation index during 1981 to 1999. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 106(D17), 20069-20083.
- Сателитски подаци коришћени у раду су преузети са Copernicus Data Space Ecosystem платформе: <https://dataspace.copernicus.eu/explore-data>

A POSSIBLE APPLICATION OF MULTISPECTRAL ANALYZES FOR THE PROTECTION OF FOREST ECOSYSTEMS IN FRUSKA GORA NATIONAL PARK

Tijana Jakovljević³, Snežana Đurđić⁴

Abstract: Open satellite data enable a comprehensive multispectral analysis of vegetation worldwide. The importance of these analyzes is particularly emphasized in the area of large and impassable forests. Due to the vulnerability of forest ecosystems as a result of climate change, multispectral analysis will make a crucial contribution to proper forest management in the event of drought and to reducing the risk of forest fires. In the Fruska gora National Park among more than 20 forest communities, there is a community of sessile oak and hornbeam with butcher's broom (*Rusco-Quercus-Carpinetum*), as well as mountain beech forests with lime (*Tilia-fagetum submontanum*) of high value, and their protection should be a high priority, while multispectral analysis can improve their monitoring and support forest managers in decision-making. In this paper we use multispectral data collected by the Sentinel-2 satellite and downloaded from the Copernicus Data Space Ecosystem Service. NDVI - Normalized Difference Vegetation Index, NDRE - Normalized Difference Red Edge Vegetation Index and NDMI - Normalized Difference Moisture Index of the Fruska gora National Park area are calculated in the open software Q-gis in 10 meter and 20 meter spatial resolution for specific days selected according to the degree of cloud cover at the time of satellite observations and other meteorological conditions. All three indices are based on the values of the red, red edge, shortwave infrared and infrared spectra. The values of the indices depend on the vegetation conditions. Higher values indicate better vegetation condition, lower values indicate drought, which could be the result of dry periods, pest and disease outbreaks or certain phenological events in certain seasons. Low values could also indicate deforestation or dieback due to forest fires. The main objective of this paper is to investigate the variability of vegetation indices as a consequence of precipitation and air temperature changes. The observation period extends from 2017 to 2022.

Key words: Fruska gora National Park, vegetation indices, NDVI, NDRE, NDMI, multispectral analysis

³ University of Belgrade - Faculty of Geography, Studentski trg 3/III, Belgrade, Serbia, tijana.jakovljevic@gef.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0001-8902-5519

⁴ University of Belgrade - Faculty of Geography, Studentski trg 3/III, Belgrade, Serbia, snezana.djurdjic@gef.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0001-6316-6364