

Analiza opožarenog područja u Grebaštici uz korištenje Sentinel-2 satelitskih snimki i vegetacijskih indeksa

Veronika Trninić

Odjel za geodeziju i geomatiku, Sveučilište Sjever, bacc. ing., vtrninic@unin.hr

Olga Bjelotomić Oršulić

Odjel za geodeziju i geomatiku, Sveučilište Sjever, doc. dr. sc., oborsulic@unin.hr

Sanja Šamanović

Odjel za geodeziju i geomatiku, Sveučilište Sjever, doc. dr. sc., sasmanovic@unin.hr

Danko Markovinović

Odjel za geodeziju i geomatiku, Sveučilište Sjever, izv. prof., dmarkovinovic@unin.hr

Sažetak: U ovom radu analizirano je područje Grebaštice, smještene u Šibensko-kninskoj županiji, prije i poslije velikog požara koji se dogodio 13. srpnja 2023. godine, s ciljem izračuna obuhvata opožarenog područja korištenjem Sentinel-2 satelitskih snimki i QGIS softvera. Za analizu opožarenog područja korištena su tri spektralna indeksa: Normalizirani indeks razlike vegetacije (NDVI), Poboljšani vegetacijski indeks (EVI) i Normalizirani indeks sagorijevanja (NBR). Niske vrijednosti ovih indeksa ukazuju na značajna oštećenja vegetacije i tla. Analiza je pokazala da je NBR indeks najučinkovitiji za detekciju opožarenog područja zbog visoke refleksivnosti vegetacije u bliskom infracrvenom i kratkovalnom infracrvenom području elektromagnetskog spektra, dok se NDVI indeks pokazao najmanje učinkovitim. Za izračun površine opožarenog područja, dodatno je izračunat delta normalizirani indeks sagorijevanja (dNBR ili Δ NBR). Korištenjem Δ NBR indeksa, također su identificirane različite razine oštećenja i opasnosti od požara. Ovi indeksi omogućili su jasnu diferencijaciju između oštećenih i neoštećenih područja, temeljem specifičnih refleksijskih karakteristika materijala pogođenih požarom.

Ključne riječi: opožareno područje, Grebaštica, spektralni indeksi, NBR, satelitske snimke

Analysis of the burned area in Grebaštica using Sentinel-2 satellite imagery and vegetation indices

Abstract: This study analyzed the area of Grebaštica, located in the Šibenik-Knin County, before and after a major fire that occurred on 13 July 2023, with the aim of calculating the extent of the burned area using Sentinel-2 satellite imagery and QGIS software. Three vegetation indices were used for the analysis: the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), the Enhanced Vegetation Index (EVI), and the Normalized Burn Ratio (NBR). Low values of these indices indicate significant damage to vegetation and soil. The analysis revealed that the NBR index was the most effective for detecting burned areas due to the high reflectance of vegetation in the near-infrared and shortwave infrared regions of the electromagnetic spectrum, while the NDVI index proved to be the least effective. To calculate the area affected by the fire, the delta Normalized Burn Ratio (dNBR or Δ NBR) was also computed. Using the Δ NBR index, different levels of vegetation damage and fire hazard were identified. These indices enabled clear differentiation between damaged and undamaged areas, based on the specific reflectance characteristics of materials affected by fire.

Key words: burned area, Grebaštica, vegetation indices, NBR, satellite imagery

Trninić, V., Bjelotomić Oršulić, O., Šamanović, S., Markovinović, D.

Analiza opožarenog područja u Grebaštici uz korištenje Sentinel-2 satelitskih snimki i vegetacijskih indeksa

1. UVOD

Posljednjih godina svjedoci smo sve intenzivnijih klimatskih promjena koja se u mediteranskom dijelu Republike Hrvatske očituju kroz povećanu učestalost požara na otvorenim prostorima [4, 27]. Požari na otvorenim prostorima su najčešće požari raslinja. Prema Stipaničevu [1], požar raslinja je svako nekontrolirano gorenje vegetacije na otvorenom prostoru. Požari na otvorenim prostorima imaju vrlo negativne posljedice na kvalitetu vode, tla, ali i krajolika. Kisić i dr. [4] navode da uz posljedice izravno vezane za požare, kao što su promjene vegetacije te fizikalna, kemijska i mikrobiološka svojstva tla, događaju se i neizravne posljedice koje su vezane uz pojave erozije uzrokovane pojavom vjetrova i vode, te pojava klizišta. Hrvatska se ubraja među države s visokim rizikom od požara na otvorenom, a posebno u mediteranskom dijelu zemlje [1]. Visoki rizik od požara rezultat je sušnih i vrlo toplih ljeta, kao i snažnih vjetrova. Također, prirodna obilježja pridonose brzoj zapaljivosti i širenju požara. Nedostatak slatkovodnih resursa za gašenje požara pridonose ubrzanom smanjenju kvalitete tla.

U razdoblju od 1996. do 2021. godine na Mediteranu je zabilježeno 115 000 požara na otvorenim prostorima. Godišnji prosjek požara u Republici Hrvatskoj je, između 1980. i 1989. godine, iznosio 667 požara otvorenog prostora [4]. U razdoblju od 2006. do 2021. godine, prosjek požara godišnje iznosi 2 541. U 2021. godini požara na otvorenom prostoru bilo je 8 146, dok je taj broj u 2022. godini narastao na 10 110, odnosno broj požara je narastao za 24.11% [12].

Uzrok požara na otvorenom je najčešće nemar ljudi te nekontrolirano korištenje otvorenog plamena, kao što su korištenje roštilja, spaljivanje suhe trave, bacanje opušaka cigareta i dr. Da bi se smanjila učestalost požara izazvana ljudskim faktorom, u Republici Hrvatskoj u razdoblju od 1. lipnja do 31. listopada postoji zabrana paljenja vatre na otvorenom.

U svom radu Balen i dr. [5] naglašavaju kako požari svake godine uzrokuju brojne smrtne slučajeve, kao i velike materijalne gubitke. Također, govore o tome da su prevencija i rano otkrivanje požara od velike važnosti kako bi se štetni utjecaji požara sveli na minimum.

Grebašticu, naselje smješteno u Šibensko-kninskoj županiji, 13. srpnja 2023. godine pogodio je veliki požar. Vatra se vrlo brzo proširila, a zahvatila je nisko raslinje, borovu šumu, makiju, travu te naposljetku i obližnje kuće i automobile. U gašenju požara sudjelovali su vatrogasci iz nekoliko vatrogasnih postrojbi, kao i protupožarni zrakoplovi. Nakon pet dana, 18. srpnja 2023. godine požar je ugašen velikim naporima vatrogasaca.

Ovaj rad obuhvaća analizu opožarenog područja u Grebaštici 13. srpnja 2023. godine primjenom daljinskih istraživanja. Za analizu požara korištene su snimke Sentinel-2 satelita Copernicus programa Europske svemirske agencije. Satelitske snimke potrebne za analizu požara preuzete su besplatno s Copernicus Data Space Ecosystem stranice. Visoka rezolucija satelitskih snimki iz Sentinel-2 misije omogućava preciznu analizu zahvaljujući prostornoj i spektralnoj rezoluciji, koja obuhvaća dijelove elektromagnetskog spektra relevantne za izračun vegetacijskih indeksa poput NDVI-a, EVI-a i NBR-a. Uključivanje vidljivih i infracrvenih valnih duljina, od plave do kratkovalnog infracrvenog područja, omogućuje detaljno praćenje promjena na tlu, pa su preuzete snimke prije i poslije požara kako bi se analizirali utjecaji na vegetaciju i okoliš. Spektralni indeksi koriste se za procjenu štete i uvid u opožareno područje te je u ovom radu napravljena usporedba tri spektralna indeksa. Za obradu satelitskih snimki i izračun spektralnih indeksa korišten je najpopularniji softver otvorenog koda, QGIS. Njime je omogućena napredna obrada i analiza požara.

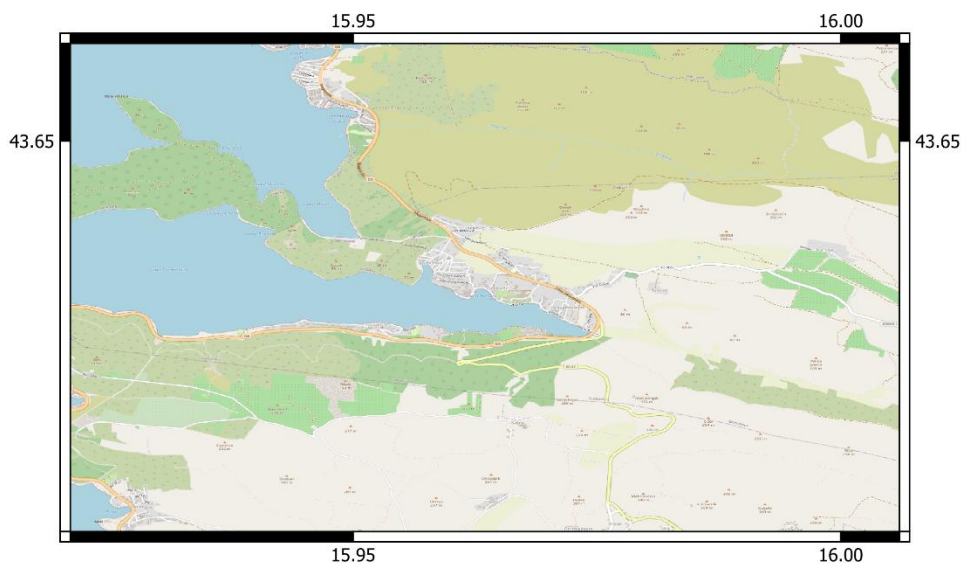
Cilj ovog rada je detaljno analiziranje požara u Grebaštici korištenjem Sentinel-2 satelitskih snimki prije i poslije požara. Obrada u QGIS-u omogućila je izračun spektralnih indeksa (NDVI, EVI i NBR). Primjenom spektralnih indeksa istražen je intenzitet požara, kao i površina opožarenog područja. Usporedbom triju različitih spektralnih indeksa, omogućen je odabir najučinkovitijeg indeksa za detekciju i analizu požara.

Trninić, V., Bjelotomić Oršulić, O., Šamanović, S., Markovinović, D.

Analiza opožarenog područja u Grebaštici uz korištenje Sentinel-2 satelitskih snimki i vegetacijskih indeksa

2. PODRUČJE ANALIZE

Grebaštica je naselje smješteno u Šibensko-kninskoj županiji. Podijeljeno je na Gornju Grebašticu i Donju Grebašticu, a nalazi se u sklopu grada Šibenika. Nalazi se oko 14 kilometara južno od grada Šibenika, odnosno na 43°38' geografske širine i 15°59' geografske dužine. Okružena je poluotokom Vela Oštrica na sjeveru te otočićem Tmara na jugu. Rasprostire se na 18 km². Grebaštica je bogata mediteranskim raslinjem, borovom šumom te plažama šljunčanog tipa. Posjetitelje privlači čistoćom te brojim uvalama i plažama. Geografski položaj Grebaštice prikazan je na slici 1.



Slika 1. Geografski položaj područja istraživanja: Grebaštica

Prema posljednjem popisu stanovništva, Grebaštica broji približno 900 stanovnika. Gospodarstvo ovog područja temelji se na proizvodnji maslinovog ulja, poznatog po svojoj visokoj kvaliteti, dok ribarstvo također čini važnu granu, s godišnjim ulovom od oko 5 tona ribe, najčešće tunja i palamide. Grebaštica je i popularna turistička destinacija, posebno među posjetiteljima koji traže miran odmor.

Požar u Grebaštici prijavljen je Županijskom vatrogasnom operativnom centru Šibenik 13. srpnja 2023. godine oko 11 sati. Na terenu je bilo angažirano 33 vatrogasaca i 12 vatrogasnih vozila. Zbog brzog širenja vatre, ubrzo su angažirana tri kanadera. Požar se približio kućama, što je rezultiralo evakuacijom dviju obitelji i ozljedom triju vatrogasaca. Na dežurstvu je ostalo 150 vatrogasaca s 55 vozila. Prema službenom izvještaju Hrvatske vatrogasne zajednice, opožareno područje iznosi oko 600 hektara, a vatra je zahvatila nisko raslinje, travu, borovu šumu, makiju, kuće i vozila. Za gašenje požara angažirani su protupožarni zrakoplovi Canadair CL-415, Air Tractor i AT 802 FireBoss, dok su na terenu sudjelovali vatrogasci iz više jedinica, uključujući IVP i JVP Šibenik, IVP Split, IVP Zadar, JVP Knin, JVP Vodice te brojna društva. Požar je konačno proglašen ugašenim 18. srpnja 2023. godine oko 21 sat.

Trninić, V., Bjelotomić Oršulić, O., Šamanović, S., Markovinović, D.

Analiza opožarenog područja u Grebaštici uz korištenje Sentinel-2 satelitskih snimki i vegetacijskih indeksa

3. METODOLOGIJA

3.1 Sentinel-2 satelitske snimke

Sentinel-2 je misija Copernicus programa Europske svemirske agencije (ESA) u suradnji s Europskom komisijom. „ESA je Europska vrata u svemir“ i „međunarodna organizacija s 22 države članice“ [17]. Sentinel-2 misija je osmišljena i dizajnirana za snimanje širokog pojasa s visokom rezolucijom te multispektralnim snimkama Zemlje. Sentinel-2 satelitski sustav razvio je industrijski konzorcij pod vodstvom tvrtke Astrium GmbH iz Njemačke, dok je tvrtka Astrium SAS iz Francuske razvila Multispektralni Instrument (MSI) [29]. Podaci prikupljeni Sentinel-2 satelitima su besplatno dostupni te omogućuju široku primjenu istraživanja i analiziranja Zemljine površine.

Sentinel-2 misija se sastoji od 2 satelita, Sentinel-2A i Sentinel-2B. Sateliti lete u istoj orbiti s faznom razlikom od 180° . Lansiranje satelita je izvršeno 2015. godine (Sentinel-2A) i 2017. godine (Sentinel-2B) u Kourou (Francuska Gvajana) pomoću European VEGA lansirne stanice. Svaki od satelita ima masu od otprilike 1.2 tone. Vijek trajanja satelita je oko 7 godina, dok su baterije i pogonska goriva osigurani za 12 godina rada. Sateliti se nalaze u sunčevo-sinkronoj orbiti na prosječnoj visini od 786 km [29], a orbitu održava pogonski sustav. Orbita ima nagib koji iznosi 98.62° te upravo to omogućuje dobru pokrivenost Zemljine površine. Sentinel-2 misija pokriva sve kopnene površine između 56° južne geodetske širine i 82.8° sjeverne geodetske širine [29] te sve obalne vode do 20 km od obale. Sateliti se svakih 5 dana nalaze iznad istog područja na Zemlji. Na Slici 2 vidljiv je prikaz jednog Sentinel-2 satelita.



Slika 2. Shematski prikaz Sentinel-2 satelita [28]

Ova misija provodi multispektralno snimanje visoke rezolucije. Sateliti su opremljeni Multispektralnim Instrumentom (MSI). MSI je optički teleskop koji koristi koncept metlice koja je zapravo senzor koji prikuplja slikovne podatke. MSI je pasivni senzor koji koristi sunčevu svjetlost reflektiranu od Zemlje. Reflektirana svjetlost se prikuplja, odnosno preusmjerava putem tri zrcala (M1, M2 i M3) na senzor. Vidno polje MSI teleskopa je široko 290 km [29]. Senzor prikuplja podatke u 13 multispektralnih kanala prostornih rezolucija 60, 20 i 10 metara. Tablica 1 prikazuje detaljan opis svakog kanala Sentinel-2 misije.

Trninić, V., Bjelotomić Oršulić, O., Šamanović, S., Markovinović, D.

Analiza opožarenog područja u Grebaštici uz korištenje Sentinel-2 satelitskih snimki i vegetacijskih indeksa

Tablica 1. Prikaz multispektralnih kanala.

Kanali	Rezolucija [m]	Valna Duljina [nm]	Širina pojasa [nm]	Opis
B1	60	443	20	Ultra plavi kanal, detekcija aerosoli
B2	10	490	65	Plavi kanal, razlikuje tlo i vegetaciju
B3	10	560	35	Zeleni kanal, razlikuje bistru i mutnu vodu, pomaže u isticanju ulja na vodenim površinama
B4	10	665	30	Crveni kanal, detektira suhu vegetaciju, koristan u prepoznavanju vegetacije
B5	20	705	15	Crveni rub, klasifikacija vegetacije
B6	20	740	15	Blisko infracrveni kanal (NIR), klasifikacija vegetacije
B7	20	783	20	Blisko infracrveni kanal (NIR), klasifikacija vegetacije
B8	10	842	115	Blisko infracrveni kanal (NIR), dobar za kartiranje obala i analizu vegetacije
B8A	20	845	20	Blisko infracrveni kanal (NIR), klasifikacija vegetacije
B9	60	940	20	Kratkovalno infracrveni kanal (SWIR), dobar za otkrivanje vodene pare
B10	60	1375	30	Kratkovalno infracrveni kanal (SWIR), detekcija cirusnog oblaka
B11	20	1610	90	Kratkovalno infracrveni kanal (SWIR), mjerenje sadržaja vlage u tlu i vegetaciji, razlikovanje snijega od oblaka
B12	20	2190	180	Kratkovalno infracrveni kanal (SWIR), mjerenje sadržaja vlage u tlu i vegetaciji, razlikovanje snijega od oblaka

Sentinel-2 misija, svojim širokim područjem prekrivanja i širokim vidnim poljem oba satelita pruža mogućnost praćenja požara. Visoka rezolucija Sentinel-2 MSI senzora omogućuje preciznu detekciju čak i malih požara što je izuzetno bitno kako bi se reagiralo na vrijeme. Prema Qi Zhang i dr. [11], u procesu detekcije požara posebno su važni B4, B11 i B12 kanali Sentinel-2 satelita jer se pokazalo da veliki aktivni požari imaju višu refleksiju gornjeg dijela atmosfere u SWIR kanalima. Apsorpcija vode ima značajan utjecaj na refleksiju u SWIR kanalima, čineći ih visoko osjetljivima na prisutnost vode u biljkama. Zbog toga, refleksija izgorjele vegetacije u SWIR kanalima je znatno viša, dok je u NIR kanalima refleksija izrazito niska. U kontekstu prevencije požara, od ključne je važnosti izrada karata opasnosti od požara, koje prikazuju područja s povećanom vjerojatnošću izbijanja požara. Takve karte pružaju vitalne informacije koje omogućuju donošenje informiranih odluka u okviru preventivnih mjera za smanjenje ekoloških rizika. Karta bi također trebala uključivati podatke o vegetaciji, omogućujući prikaz različitih stupnjeva opasnosti. Korištenjem tehnika daljinskog istraživanja i podataka sa Sentinel-2 MSI senzora, moguće je primijeniti multispektralne snimke za kartiranje vegetacije te procjenu opožarenih područja. Prema Georgios Zagalikis [2], rezolucija Sentinel-2 satelitskih snimki od 20 m omogućava detekciju požara na površinama do 30 ha. Prostorna rezolucija Sentinel snimki od 10 m omogućava identifikaciju manjih opožarenih površina s

Trninić, V., Bjelotomić Oršulić, O., Šamanović, S., Markovinović, D.

Analiza opožarenog područja u Grebaštici uz korištenje Sentinel-2 satelitskih snimki i vegetacijskih indeksa

visokom preciznošću, često dosežući točnost od 85–90%, dok rezolucija od 20 m smanjuje ovu točnost na 70–80% zbog miješanja piksela (mixing pixels) i ograničene sposobnosti detekcije manjih ili fragmentiranih požara. Nakon gašenja požara, podaci sa Sentinel-2 igraju ključnu ulogu u procjeni šteta i planiranju oporavka zahvaćenog područja. Korištenjem multispektralnih podataka i primjenom spektralnih indeksa, moguće je generirati kartu izgorenog područja, čime se značajno poboljšava uočavanje područja zahvaćenih požarom.

3.2 Preuzimanje satelitskih podataka

Za analizu požara korištene su multispektralne satelitske snimke sa Sentinel-2 satelita, koje su besplatno dostupne putem Copernicus Data Space Ecosystem [26] platforme. Pristup podacima zahtijeva korisničku registraciju i omogućava pretragu prema odabranom području interesa. Za analizu snimki, odabrana je Sentinel-2 misija s vremenskim rasponom od 10. do 31. srpnja 2023. godine, pri čemu je maksimalna pokrivenost oblacima bila postavljena na 30% za područje Grebaštice. Niska pokrivenost oblacima ključna je za preciznost analize opožarenog područja, jer osigurava bolju vidljivost scene i olakšava daljnju obradu podataka. Preuzete snimke su snimljene 11. srpnja 2023. (prije požara) i 16. srpnja 2023. (poslije požara).

3.3 Predobrada i obrada snimki

Analiza i obrada podataka odrađena je korištenjem QGIS softvera (verzija 3.36.2-Maidenhead). To je besplatni softver koji se koristi za prikazivanje, uređivanje, analiziranje, upravljanje i vizualizaciju geoprostornih podataka. Obrada podataka satelitskih snimki napravljena je korištenjem dodatka poluautomatske klasifikacije (engl. Semi-Automatic Classification Plugin). Prvotno su snimke prije požara korigirane za atmosferske utjecaje opcijom uklanjanja atmosferske refleksije koja se događa prilikom raspršivanja svjetlosti od različitih molekula zraka u atmosferi. Primjenom atmosferske korekcije poboljšava se kvaliteta snimke.

3.4 Izračun spektralnih indeksa

Za prikazivanje pogođenog područja i uvida u nastalu štetu, primijenjeni su spektralni indeksi, bezdimenzionalne veličine temeljene na reflektiranoj ili apsorbiranoj svjetlosti [10]. Spektralni indeksi nalaze široku primjenu u poljoprivredi, šumarstvu i praćenju okolišnih promjena, uključujući detekciju poplava i praćenje bujnosti vegetacije. Zdrave biljke karakterizira visoka refleksija u NIR području elektromagnetskog spektra i niska refleksija crvene svjetlosti zbog apsorpcije klorofila, dok se kod suhih biljaka taj omjer mijenja, pri čemu se refleksija crvene svjetlosti povećava, a NIR smanjuje. Spektralni indeksi temelje se na matematičkoj kombinaciji najmanje dva multispektralna kanala, a budući da su različiti indeksi prilagođeni različitim parametrima, za detekciju požara u ovom radu odabrana su tri spektralna indeksa prilagođena detekciji požara. Analiza je provedena na snimkama prije i poslije požara, pri čemu je važno napomenuti da su spektralni indeksi računati samo sa snimkama na kojima je izvršena korekcija atmosfere.

NDVI, odnosno vegetacijski indeks normalizirane razlike (engl. *Normalized Difference Vegetation Index*) prilagođen je praćenju zdravlja biljaka te najveću primjenu ima u šumarstvu. NDVI se računa kao omjer razlike i sume refleksija u crvenom i blisko infracrvenom dijelu spektra, što je prikazano sljedećim izrazom:

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

Trninić, V., Bjelotomić Oršulić, O., Šamanović, S., Markovinović, D.

Analiza opožarenog područja u Grebaštici uz korištenje Sentinel-2 satelitskih snimki i vegetacijskih indeksa

EVI, odnosno poboljšani vegetacijski indeks (engl. *Enhanced Vegetation Index*) je vegetacijski indeks sličan NDVI-u. Za razliku od NDVI-a, EVI koristi i plavi kanal zbog poboljšanja osjetljivosti vegetacijske refleksije. Također, EVI ispravlja pozadinski signal tla te smanjuje atmosferske utjecaje. EVI indeks se računa prema sljedećoj formuli:

$$EVI = G \times \frac{NIR - RED}{NIR + C1 \times RED - C2 \times BLUE + L} \quad (2)$$

NIR, RED i BLUE označavaju multispektralne kanale, odnosno njihove refleksije u blisko infracrvenom, crvenom i plavom dijelu spektra elektromagnetskog zračenja. $C1$ i $C2$ su koeficijenti koji se odnose na korekcije aerosoli te najčešće iznose $C1 = 6$, a $C2 = 7.5$. G je faktor poboljšanja i iznosi 2.5, dok je L korekcijski faktor tla i iznosi 1 [30].

NBR, odnosno normalizirani indeks sagorijevanja (engl. *Normalized Burn Ratio*) je spektralni indeks posebno prilagođen detekciji i analizi oštećenja vegetacije izazvanih požarima. Formula za izračun NBR indeksa je slična formuli za izračun NDVI indeksa. Razlika je što formula za NBR indeks koristi blisko infracrveni i kratkovalni infracrveni multispektralne kanale. Formula za izračun NBR indeksa prikazana je sljedećim izrazom:

$$NBR = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR} \quad (3)$$

3.5 Analiza opožarenog područja

Naknadna obrada podataka obuhvatila je nekoliko ključnih koraka. Nakon izračuna spektralnih indeksa s multispektralnim kanalima satelitskih snimki prije i poslije požara, izračunat je i Δ NBR indeks, poznat i kao delta normalizirani indeks sagorijevanja (Delta Normalized Burn Ratio). Ovaj spektralni indeks koristi se za procjenu oštećenja vegetacije, intenziteta sagorijevanja te za izračun opožarenog područja. Δ NBR indeks temelji se na usporedbi refleksije u različitim spektralnim kanalima, pri čemu područja s većim oštećenjima u požaru imaju pozitivne vrijednosti indeksa, dok područja s manjim ili bez štete imaju negativne vrijednosti ili vrijednosti blizu nule.

U ovom istraživanju, Δ NBR indeks korišten je za procjenu opožarenog područja i za detaljniju vizualizaciju opsega požara, što će biti dodatno razrađeno u kasnijim dijelovima rada. Za precizno izračunavanje opožarenog područja, potrebno je izdvojiti područje od interesa, a u tu svrhu korišteni su podaci o administrativnim granicama Republike Hrvatske, preuzeti s Geoportala Nacionalne infrastrukture prostornih podataka (NIPP). Područje analize obuhvatilo je šire područje oko Grebaštice, kako je prikazano na Slici 3.

Trninić, V., Bjelotomić Oršulić, O., Šamanović, S., Markovinović, D.

Analiza opožarenog područja u Grebaštici uz korištenje Sentinel-2 satelitskih snimki i vegetacijskih indeksa



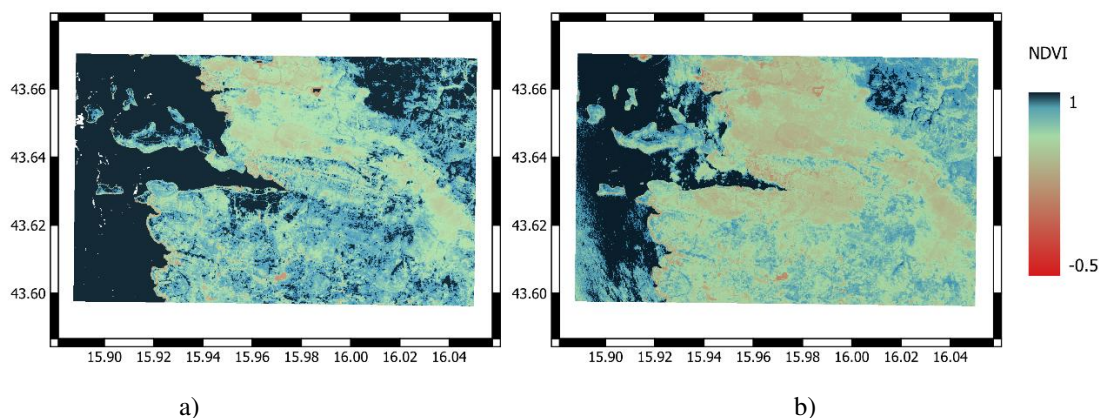
Slika 3. Izdvojeno administrativno područje istraživanja

Za izdvajanje administrativnog područja Grebaštice unutar dNBR indeksa primijenjena je metoda odabira ciljanog sloja i maske, što je omogućilo precizno izdvajanje relevantnog područja. Prije izračuna površine, dNBR indeks je reklasificiran prema USGS standardu. Konačni izračun površine izveden je na reklasificiranom sloju, čime je generiran izvještaj o veličini područja zahvaćenog požarom.

4. REZULTATI

Za detekciju i praćenje požara korišteni su spektralni indeksi (NDVI, EVI, NBR, i Δ NBR) koji omogućuju jasniji prikaz utjecaja požara na vegetaciju. Izrađeni su za područje Grebaštice prije i poslije požara te su prikazani kao karte u mjerilu 1:60 000. Rezultati su prikazani na Slici 4 u službenom koordinatnom sustavu Republike Hrvatske, HTRS96 (epoha 1995.55).

Na Slici 4a, koja prikazuje NDVI prije požara, vrijednosti se kreću od -1 do 1, gdje smeđa boja označava područja bez vegetacije (-1), a zelena boja označava zdravu vegetaciju (1). Dominacija žutih i zelenih nijansi ukazuje na prisutnost zdrave vegetacije, s manjim područjima suhe vegetacije ili područjima bez vegetacije. Slikom 4b prikazane su vrijednosti NDVI nakon požara, gdje je vidljivo šire područje obojeno žutom bojom, što ukazuje na oštećenje vegetacije izazvano požarom.

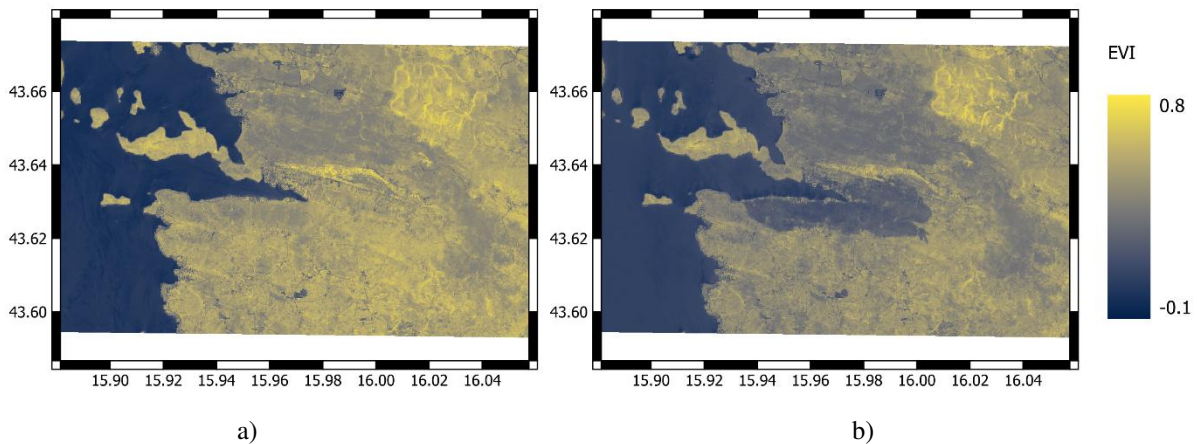


Slika 4. Prikaz NDVI indeksa a) prije požara 11.7.2023., i b) nakon požara 16.7.2023.

Trninić, V., Bjelotomić Oršulić, O., Šamanović, S., Markovinović, D.

Analiza opožarenog područja u Grebaštici uz korištenje Sentinel-2 satelitskih snimki i vegetacijskih indeksa

Vrijednosti EVI prikazane su nijansama crvene i crne boje na Slici 5. Crna boja označava vodene površine, dok različite nijanse crvene prikazuju tlo. Na Slici 5a, koja prikazuje EVI prije požara, dominira crvena boja, što ukazuje na tlo bez vidljivih oštećenja. Slikom 5b ilustrira se područje pogođeno požarom, gdje je jasno vidljiv tamniji ton koji označava oštećenje. Opožareno područje je bolje uočljivo EVI indeksom nego vrijednostima NDVI, što ukazuje na veću osjetljivost EVI indeksa u detekciji požarnih oštećenja.



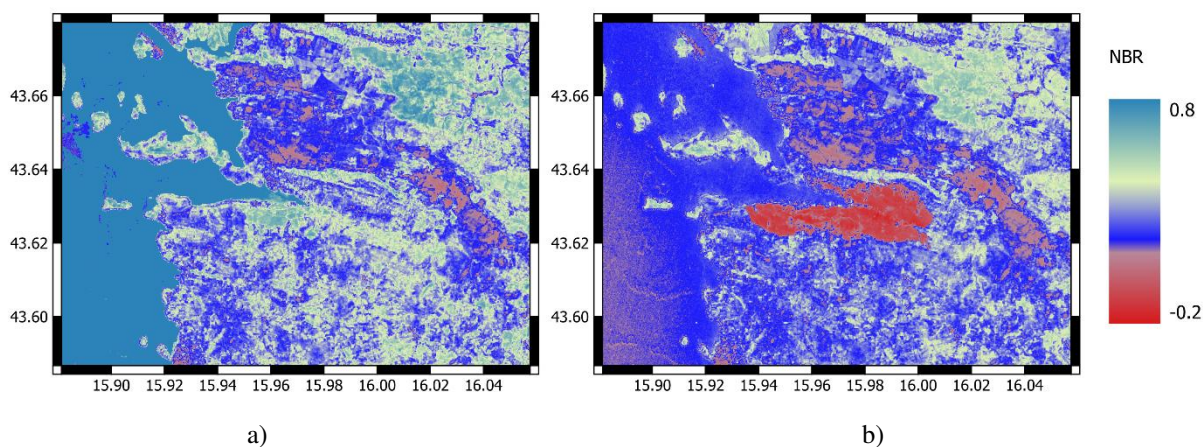
Slika 5. Prikaz EVI indeksa a) prije požara 11.7.2023., i b) nakon požara 16.7.2023.

Slika 6a prikazuje NBR indeks prije požara, pri čemu su vrijednosti indeksa rasprostranjene u rasponu od -1 do 0.5. Ovaj indeks je prikazan skalom boja koja se kreće od crvene, koja odgovara vrijednosti -1, do zelene, koja odgovara vrijednosti 0.5. Prijelazne boje, narančasta i žuta, indikativne su za međuvrijednosti između potpuno oštećene vegetacije i zdrave vegetacije. Crvena boja označava područja s visokom razinom oštećenja vegetacije, dok zelena boja sugerira prisutnost zdrave vegetacije i vodenih površina, poput mora. Na slici se uočava dominacija zdrave do djelomično oštećene vegetacije, što ukazuje na relativno neovisne i nepromijenjene ekosustave uoči izbijanja požara.

Prikaz NBR indeksa za područje Grebaštice nakon požara (Slika 6b), koristi istu skalu boja i vrijednosti, što omogućava usporedbu između stanja vegetacije prije i nakon požara. Na slici je jasno vidljivo povećanje područja označenog žutom i narančastom bojom, što ukazuje na značajnu štetu uzrokovanu požarom. Preglednost i identifikacija pogođenih područja na slici se približava onoj postignutoj korištenjem EVI, dok je NDVI bio manje učinkovit u preciznoj detekciji pogođenih područja. Ova analiza ukazuje na visoku osjetljivost NBR indeksa u razlikovanju stupnja oštećenja vegetacije, čime se potvrđuje njegova korisnost u procjeni ekoloških i prostornih posljedica požara.

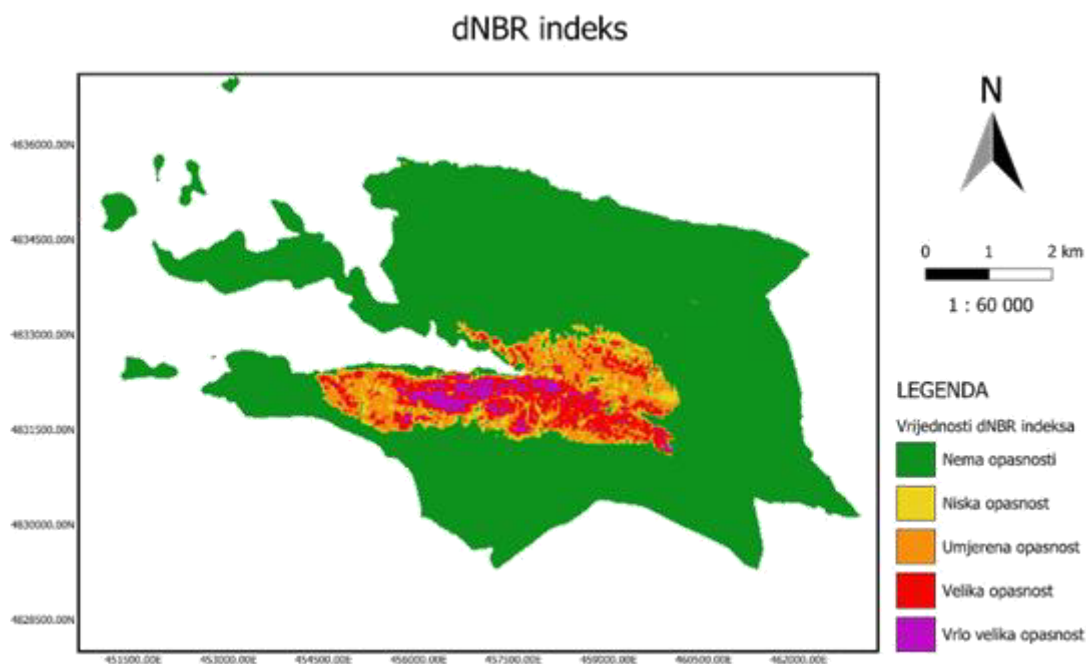
Trinić, V., Bjelotomić Oršulić, O., Šamanović, S., Markovinović, D.

Analiza opožarenog područja u Grebaštici uz korištenje Sentinel-2 satelitskih snimki i vegetacijskih indeksa



Slika 6. Prikaz NBR indeksa a) prije požara 11.7.2023., i b) nakon požara 16.7.2023.

Intenzitet sagorijevanja i opasnosti te malo drugačija vizualizacija požara prikazana je na slici 7. Δ NBR spektralni indeks predstavlja razliku između NBR indeksa snimki prije i poslije požara. Ovaj indeks omogućava precizniju procjenu oštećenja vegetacije i tla uzrokovanih požarom. Prema Δ NBR, zelena boja označava područja na kojima vegetacija spaljena, što implicira odsutnost opasnosti od požara. Žutom bojom označena su područja s blagim oštećenjima vegetacije, koja upućuju na nisku opasnost od požara. Narančasta boja označava područja koja su pretrpjela umjerenu štetu i predstavljaju srednju opasnost, dok crvena boja prikazuje teža oštećenja vegetacije i tla, što ukazuje na visoku opasnost. Vrlo velika oštećenja označena su ljubičastom bojom, što označava ekstremnu opasnost od požara. Ovaj sustav boja omogućava jasnu vizualizaciju i interpretaciju opasnosti u postpožarnom okruženju.



Slika 7. Prikaz NBR indeksa

Trninić, V., Bjelotomić Oršulić, O., Šamanović, S., Markovinović, D.

Analiza opožarenog područja u Grebaštici uz korištenje Sentinel-2 satelitskih snimki i vegetacijskih indeksa

Za točan izračun opožarenog područja, Δ NBR indeks je podvrgnut reklasifikaciji prema USGS standardima, čime su osigurana uniformna pravila za interpretaciju promjena u vegetaciji izazvanih požarom. Reklasificirani prikaz Δ NBR indeksa omogućava preciznu kvantifikaciju pogođenih opožarenih područja te bolju analizu opasnosti u postpožarnom krajobrazu. Reklasificirani Δ NBR indeks vizualiziran je prema sličnom principu kao i standardni Δ NBR indeks, ali s dodatnim kategorijama koje omogućuju precizniju analizu stanja vegetacije. U ovoj proširenoj klasifikaciji, dvije nove kategorije označavaju područja s vrlo zdravom vegetacijom, što implicira izuzetno gustu vegetaciju, te područja sa zdravom vegetacijom, koja su prepoznata kao nepožarna i neupozoravajuća na opasnost od požara.

Reklasificirani Δ NBR indeks pruža bolju i detaljniju interpretaciju stanja područja pogođenih požarom, s naglaskom na razlike između zdrave i oštećene vegetacije. Ovaj indeks se pokazao izuzetno korisnim za precizno prikazivanje područja zahvaćenih požarom, jer omogućava jasnu identifikaciju intenziteta i rasprostranjenosti štete, čime se poboljšava razumijevanje opasnosti i potreba za oporavkom pogođenih područja. Sukladno reklasificiranom Δ NBR proveden je automatski izračun opožarenih područja iz satelitskih podataka, pri čemu su rezultati dani na slici 8.

RASTER MAP CATEGORY REPORT		
LOCATION: <u>temp_location</u>	Tue Jun 25 00:35:04 2024	
REGION	north: 4900020 east: 609780 south: 4790220 west: 499980 res: 10 res: 10	
MASK: none		
MAP: (untitled) (rast_6679f49542ad96 in PERMANENT)		
Category Information		
# description		hectares
-2 # Enhanced Regrowth, high (post-fire)		0
0 # Unburned		64
4 # High Severity		65
1 # Low Severity		116
3 # Moderate-high Severity		213
2 # Moderate-low Severity		248
-1 # Enhanced Regrowth, low (post-fire)		3170
* no data		1,201,728
TOTAL		1,205,604

Slika 8. Prikaz izvještaja o izračunu opožarenog područja

U izvještaju je vidljiv izračun opožarenog područja izdvojenog dijela rastera, ali i pojedinih područja u opasnosti od požara. Također je vidljivo da su površine izražene u hektarima. Ukupna površina opožarenog područja iznosi 642 ha.

5. ZAKLJUČAK

Ovaj rad obuhvaća analizu opožarenog područja uzrokovanog požarom koji je 13. srpnja 2023. godine zahvatio područje Grebaštice, Hrvatska. Analiza je provedena koristeći

Trninić, V., Bjelotomić Oršulić, O., Šamanović, S., Markovinović, D.

Analiza opožarenog područja u Grebaštici uz korištenje Sentinel-2 satelitskih snimki i vegetacijskih indeksa

multikanalne podatke optičke satelitske misije Sentinel-2 Europske svemirske agencije. Svi korišteni podaci preuzeti su bez ograničenja putem otvorenih i javno dostupnih platformi programa Copernicus, koji osigurava slobodan pristup visokokvalitetnim satelitskim snimkama i proizvodima.

Analizom spektralnih indeksa (NDVI, EVI i NBR) računatih iz satelitskih snimki prije i poslije požara, utvrđeno je da je požar uzrokovao značajna oštećenja vegetacije i tla, što je jasno odraženo u značajnom smanjenju vrijednosti indeksa. Na temelju provedene analize, zaključeno je da je NBR spektralni indeks najpogodniji za kvantifikaciju i vizualizaciju učinaka požara, zahvaljujući svojoj osjetljivosti na promjene u refleksiji vegetacije, posebno u bliskom infracrvenom (NIR) i kratkovalnom infracrvenom (SWIR) spektru. Dok je EVI također pokazao dobar uvid u opožarena područja, NDVI nije pružio dovoljno precizne informacije o intenzitetu oštećenja.

Izračunom dNBR vrijednosti, temeljenog na razlici između NBR prije i poslije požara, omogućena je procjena opasnosti i stupnja oštećenja uzrokovanih požarom. Korištenjem dNBR u kombinaciji s administrativnim granicama, izračunato je opožareno područje, koja iznosi 642 ha, što je veće od procijenjene površine od 600 ha prema službenim podacima Hrvatske vatrogasne zajednice.

Istraživanje potvrđuje visoku efikasnost primjene satelitskih snimki i spektralnih indeksa u analizi i procjeni katastrofalnih događaja poput požara. Korištenjem satelitskih snimki i spektralnih indeksa moguće je brzo, precizno i kvantitativno odrediti obuhvat opožarenog područja.

Zahvala: Ovo istraživanje provedeno je u sklopu znanstvenog projekta „Visokoprecizno mapiranje georadarom“, broj projekta UNIN-TEH-24-1-17, financiranog od strane Sveučilišta Sjever, Varaždin, Hrvatska te za potrebe završnog rada.

LITERATURA

1. Stipaničev, D.: Centar za istraživanje požara otvorenog prostora Split, Godišnjak Akademije tehničkih znanosti Hrvatske, 2021., str. 322-325.
2. Zagalikis, G.: Remote Sensing and GIS Applications in Wildfires, Climate Change and Fires, 2023., str. 5-15.
3. Farhadi, H., Ebadi, H., Kiani, A.: BADI: A novel burned area detection index for Sentinel-2 imagery using Google Earth Engine platform, ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences GeoSpatial Conference, Teheran, 2022., str. 179-183.
4. Kisić, I., Bogunović, I., Delač, D., Barčić, D.: Požari otvorena prostora u Republici Hrvatskoj - pojava, učestalost i suzbijanje, Hrvatske vode, 2023., str. 117-128.
5. Balen, J., Damjanović, D., Marić, P., Vdovjak, K., Arlović, M., Martinović, G.: FireBot – An Autonomous Surveillance Robot for Fire Prevention, Early Detection and Extinguishing, International Conference on Computer and Automation Engineering, 2023.
6. Lapaine, M., Frančula, N.: Kartografija i daljinska istraživanja, Bilten Znanstvenog vijeća za daljinska istraživanja i fotointerpretaciju, 2021., str. 1-2.
7. Mahmood, M. R., Jumaah, H. J.: NBR Index-Based Fire Detection Using Sentinel-2 Images and GIS: A Case Study in Mosul Park, International Journal of Geoinformatics, Iraq, 2023.
8. Sivakumar, M. V. K., Roy, P. S., Harmsen, K., Saha, S. K.: Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology, Proceedings of the Training Workshop, Dehra Dun, India, 2003., str. 28-37.
9. Kulo, N.: Višesenzorsko povezivanje podataka daljinskih istraživanja, Geodetski glasnik, 2019., str. 71-74.

Trninić, V., Bjelotomić Oršulić, O., Šamanović, S., Markovinović, D.

Analiza opožarenog područja u Grebašnici uz korištenje Sentinel-2 satelitskih snimki i vegetacijskih indeksa

10. Bugarin, N. Daljinska istraživanja i računalni vid u analizi slika voćnjaka prikupljenih bespilotnom letjelicom, Kvalifikacijski ispit, FESB, Split, 2022.
11. Zhang, Q., Ge, L., Zhang, R., Metternicht, G. I., Liu, C., Du, Z.: Towards a Deep-Learning-Based Framework of Sentinel-2 Imagery for Automated Active Fire Detection, MDPI, 2021., str. 1-5.
12. URL1:<https://hvz.gov.hr/vijesti/13-vise-pozara-u-2022/3421> (pristupljeno 1.7.2024.)
13. URL2:<https://www.usgs.gov/faqs/what-remote-sensing-and-what-it-used> (pristupljeno 22.6.2024.)
14. URL3:<https://www.earthdata.nasa.gov/sensors> (pristupljeno 22.6.2024.)
15. URL4:<https://eos.com/blog/types-of-satellites/> (pristupljeno 22.6.2024.)
16. URL5:<https://dataspace.copernicus.eu/explore-data/data-collections/sentinel-data/sentinel-2> (pristupljeno 22.6.2024.)
17. URL6:https://www.esa.int/About_Us/Corporate_news/ESA_facts (pristupljeno 22.6.2024.)
18. URL7:<https://sentiwiki.copernicus.eu/web/s2-mission> (pristupljeno 22.6.2024.)
19. URL8:<https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel-2/bands/> (pristupljeno 22.6.2024.)
20. URL9:https://climate.esa.int/es/proyectos/fire/#_about-tab (pristupljeno 22.6.2024.)
21. URL10:<https://www.rezerviraj.hr/social/zapis-40708-o-mjestima-grebastica-i-sparadici.html> (pristupljeno 15.6.2024.)
22. URL11:<https://pomorska.lzmk.hr/Natuknica?id=2584> (pristupljeno 15.6.2024.)
23. URL12:<https://hvz.gov.hr/vijesti/pozar-otvorenog-prostora-kod-grebastice/3884> (pristupljeno 15.6.2024.)
24. URL13:<https://www.agroklub.com/poljoprivredne-vijesti/sto-su-vegetacijski-indeksi-koji-su-i-cemu-sluzbe/76027/> (pristupljeno 20.6.2024.)
25. URL14:<https://www.un-spider.org/advisory-support/recommended-practices/recommended-practice-burn-severity/in-detail/normalized-burn-ratio> (pristupljeno 22.6.2024.)
26. URL15:<https://dataspace.copernicus.eu/> (pristupljeno 8.7.2024.)
27. Strategija prilagodbe klimatskim promjenama u republici hrvatskoj za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu, Narodne novine (online), 2020, https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2020_04_46_921.html (pristupljeno 28.11.2024.)
28. Nakar, D.: Sentinel-1: Multispectral Instrument (MSI) design and system performance, 2019, DOI:10.13140/RG.2.2.27242.67529.
29. ESA: Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services, 2012, https://sentinel.esa.int/documents/247904/349490/S2_SP-1322_2.pdf (pristupljeno 28.11.2024.)
30. University of Arizona: MODIS Collection 6.1 Vegetation Index Product User Guide, product guide, 2019, https://lpdaac.usgs.gov/documents/621/MOD13_User_Guide_V61.pdf (pristupljeno 28.11.2024.)