



**УНИВЕРЗИТЕТ „ГОЦЕ ДЕЛЧЕВ“ - ШТИП
ФАКУЛТЕТ ЗА ПРИРОДНИ И ТЕХНИЧКИ НАУКИ**

**UNIVERSITY GOCE DELCEV - STIP
FACULTY OF NATURAL AND TECHNICAL SCIENCES**

UDC: 622:55:574:658

ISSN: 1857-6966

Природни ресурси и технологии Natural resources and technology

**Број 2
No 2**

**Година 15
Volume XV**

**Декември 2021
December 2021**

УНИВЕРЗИТЕТ „ГОЦЕ ДЕЛЧЕВ” – ШТИП
ФАКУЛТЕТ ЗА ПРИРОДНИ И ТЕХНИЧКИ НАУКИ



Природни ресурси и технологии
Natural resources and technologies

декември 2021
December 2021

ГОДИНА 15
БРОЈ 2

VOLUME XV
NO 2

UNIVERSITY “GOCE DELCEV” – STIP
FACULTY OF NATURAL AND TECHNICAL SCIENCES

ПРИРОДНИ РЕСУРСИ И ТЕХНОЛОГИИ
NATURAL RESOURCES AND TECHNOLOGIES

За издавачот

Проф. д-р Зоран Десподов

Издавачки совет

Проф. д-р Блажо Боев
Проф. д-р Зоран Десподов
Проф. д-р Лилјана Колева - Гудева
Проф. д-р Зоран Панов
Проф. д-р Борис Крстев
Проф. д-р Мирјана Голомеова
Проф. д-р Благој Голомеов
Проф. д-р Дејан Мираковски
Проф. д-р Тодор Серафимовски
Проф. д-р Војо Мирчовски
Проф. д-р Тена Шијакова - Иванова
Проф. д-р Соња Лепиткова
Проф. д-р Гоше Петров
Проф. д-р Кимет Фетаху,
(Политехнички универзитет во Тирана, Р.Албанија)
Проф. д-р Ивајло Копрев,
(МГУ Софија, Р. Бугарија)
Проф. д-р Никола Лилиќ,
(Универзитет во Белград, Р. Србија)
Проф. д-р Јоже Кортник
Универзитет во Љубљана, Р. Словенија
Проф. д-р Даниела Марасова,
(Технички универзитет во Кошице, Р. Словачка)

Editorial board

Prof. Blazo Boev, Ph.D
Prof. Zoran Despodov, Ph.D
Prof. Liljana Koleva - Gudeva, Ph.D
Prof. Zoran Panov, Ph.D
Prof. Boris Krstev, Ph.D
Prof. Mirjana Golomeova, Ph.D
Prof. Blagoj Golomeov, Ph.D
Prof. Dejan Mirakovski, Ph.D
Prof. Todor Serafimovski, Ph.D
Prof. Vojo Mircovski, Ph.D
Prof. Tena Sijakova - Ivanova, Ph.D
Prof. Sonja Lepitkova, Ph.D
Prof. Gose Petrov, Ph.D
Prof. Kimet Fetahu, Ph.D
R. Albania
Prof. Ivajlo Koprev, Ph.D
R. Bulgaria
Prof. Nikola Lilik, Ph.D
R. Srbija
Prof. Joze Kortnik, Ph.D
R. Slovenia
Prof. Daniela Marasova, Ph.D
R. Slovacka

Редакциски одбор

Проф. д-р Зоран Десподов
Проф. д-р Зоран Панов
Проф. д-р Борис Крстев
Проф. д-р Мирјана Голомеова
Проф. д-р Благој Голомеов
Проф. д-р Дејан Мираковски
Проф. д-р Николинка Донева
Проф. д-р Марија Хаци - Николова

Editorial staff

Prof. Zoran Despodov, Ph.D
Prof. Zoran Panov, Ph.D
Prof. Boris Krstev, Ph.D
Prof. Mirjana Golomeova, Ph.D
Prof. Blagoj Golomeov, Ph.D
Prof. Dejan Mirakovski, Ph.D
Prof. Nikolinka Doneva, Ph.D
Prof. Marija Hadzi - Nikolova, Ph.D

Главен и одговорен уредник
Проф. д-р Афродита Зенделска

Managing & Editor in chief
Prof. Afrodita Zendelska, Ph.D

Јазично уредување
Весна Ристова
(македонски јазик)

Language editor
Vesna Ristova
(macedonian language)

Техничко уредување
Славе Димитров

Technical editor
Slave Dimitrov

Редакција и администрација
Универзитет „Гоце Делчев“ - Штип
Факултет за природни и технички науки
ул. „Гоце Делчев“ 89, Штип
Република Северна Македонија

Address of the editorial office
Goce Delcev University - Stip
Faculty of Natural and Technical Sciences
Goce Delcev 89, Stip
Republic of North Macedonia

С о д р ж и н а / C o n t e n t s

Благој Голомеов, Афродита Зенделска, Мирјана Голомеова ОСКУЛТАЦИЈА НА ДРЕНАЖНИОТ СИСТЕМ НА ХИДРОЈАЛОВИШТЕ БР. 3.2 И ХИДРОЈАЛОВИШТЕ БР. 4 НА РУДНИК САСА – М. КАМЕНИЦА ЗА 2020 ГОДИНА Vlagoj Golomeov, Afrodita Zendelska, Mirjana Golomeova MONITORING OF DRAINAGE SYSTEM OF TAILING DAM No 3.2 AND TAILING DAM No 4 MINE SASA – M. KAMENICA FOR 2020	5
Марија Хаџи-Николова, Дејан Миравовски, Афродита Зенделска, Николинка Донева ЕКОЛОШКИ ПРИФАТЛИВИ ТЕХНИКИ ЗА ОДЛАГАЊЕ НА ФЛОТАЦИСКА ЈАЛОВИНА ВО СТАРИ ПОВРШИНСКИ КОПОВИ Marija Hadzi-Nikolova, Dejan Mirakovski, Afrodita Zendelska, Nikolinka Doneva ENVIRONMENTALLY ACCEPTABLE TECHNIQUES FOR TAILINGS DISPOSAL IN OLD OPEN PIT MINES	15
Елица Лазаревска, Марија Хаџи-Николова, Дејан Миравовски СИСТЕМ ЗА АНАЛИЗА И КЛАСИФИКАЦИЈА НА ЧОВЕЧКИОТ ФАКТОР ВО РУДАРСКАТА ИНДУСТРИЈА ВО МАКЕДОНИЈА Elica Lazarevska, Marija Hadzi-Nikolova, Dejan Mirakovski HUMAN FACTORS CLASSIFICATION AND ANALYSIS SYSTEM IN MINING INDUSTRY IN MACEDONIA	23
Иван Боев, Марко Берманец ГЕОЛОГИЈА, ПЕТРОЛОГИЈА И СТАРОСТ НА ПЕГМАТИТЕ ОД ЛОКАЛИТЕТОТ АЛИНЦИ (СЕВЕРНА МАКЕДОНИЈА) Ivan Bоеv, Marko Bermanec GEOLOGY, PETROLOGY AND THE AGE OF PEGMATITES IN ALINCI LOCALITY (NORTH MACEDONIA)	33
Иван Боев ХЕМИСКИ СОСТАВ НА СРЕБРЕНИТЕ ТЕТРАДРАХМИ ОД ЛОКАЛИТЕТОТ ИСАР МАРВИНЦИ ОДРЕДЕН СО ПРИМЕНА НА SEM-EDS МЕТОДАТА Ivan Bоеv CHEMICAL COMPOSITION OF THE SILVER TETRADRACHMS FROM THE LOCALITY ISAR MARVINCI DETERMINED WITH THE APPLICATION OF THE SEM-EDS METHOD	43
Благица Донева АНАЛИЗА НА ПОДАТОЦИ И ИНТЕРПРЕТАЦИЈА НА СЕИЗМОГРАМ Vlagicа Doneva DATA ANALYSIS AND SEISMOGRAM INTERPRETATION	49
Дејан Миравовски, Марија Талеска Желческа, Марија Хаџи-Николова, Афродита Зенделска МЕРЕЊЕ НА МИРИЗБА СО СТАНДАРДНИ МЕТОДИ Dejan Mirakovski, Marija Taleska Zhelcheska, Marija Hadzi-Nikolova, Afrodita Zendelska STANDARD PROCEDURE OF ODOR MEASUREMENT	59
Ванчо Аџиски, Ванчо Наунов МЕТОДОЛОГИЈА ЗА ПРОЦЕНКА НА ИЗГОРЕНИ ОБЛАСТИ ПРЕДИЗВИКАНИ ОД ШУМСКИ ПОЖАРИ, КОРИСТЕЛЌКИ ПОДАТОЦИ ОД SENTINEL-2 САТЕЛИТОТ Vancho Adjiski, Vancho Naunov METHODOLOGY FOR ESTIMATION OF BURNED AREAS CAUSED BY WILDFIRES USING DATA FROM THE SENTINEL-2 SATELLITE	67

Крсте Тодоров, Дејан Крстев ОБРАБОТКА НА ПОДАТОЦИ СО КОРИСТЕЊЕ НА МАТЕМАТИЧКИ МОДЕЛИ ВО КОЖАРСКАТА ИНДУСТРИЈА Krste Todorov, Dejan Krstev DATA PROCESSING USING MATHEMATICAL MODELS IN LEATHER INDUSTRY	75
Ангела Велкова Крстев, Александар Крстев ВОДЕЧКИ ПРИНЦИПИ ЗА ИДЕН РАЗВОЈ ПРИ ПРОЕКТИРАЊЕ НА КЛИНИЧКА БОЛНИЦА Angela Velkova Krstev, Aleksandar Krstev GUIDING PRINCIPLES FOR FUTURE DEVELOPMENT WHEN DESIGNING A CLINICAL HOSPITAL	83
Ангела Велкова Крстев, Александар Крстев МУЛТИДИМЕНЗИОНАЛНИ ПРИДОБИВКИ ОД ПРОЕКТИРАЊЕ НА КЛИНИЧКИ БОЛНИЦИ СО ВОДЕЧКИ ПРИНЦИПИ ЗА ИДЕН РАЗВОЈ Angela Velkova Krstev, Aleksandar Krstev MULTIDIMENSIONAL BENEFITS FROM DESIGNING CLINICAL HOSPITALS WITH GUIDING PRINCIPLES FOR FUTURE DEVELOPMENT	93

МЕТОДОЛОГИЈА ЗА ПРОЦЕНКА НА ИЗГОРЕНИ ОБЛАСТИ ПРЕДИЗВИКАНИ ОД ШУМСКИ ПОЖАРИ, КОРИСТЕЈЌИ ПОДАТОЦИ ОД SENTINEL-2 САТЕЛИТОТ

Ванчо Адиски¹, Ванчо Наунов²

¹Факултет за природни и технички науки, Универзитет „Гоце Делчев“, Штип

²ДРОН ОПС ДОО, Штип

vanco.adziski@ugd.edu.mk

Апстракт. Во овој труд е претставена методологија за проценка на површината на изгорени области предизвикани од шумски пожари, како и нивоата на сериозност на опожарените површини, користејќи мултиспектрални фотографии од Sentinel-2 сателитот. Како студија на случај врз која ќе биде аплицирана методологијата се опожарените области предизвикани од шумските пожари кои настанаа во Пијанечко-Малешевскиот регион на Република С. Македонија во почетокот на август 2021 година. Предноста на предложената методологија се состои во тоа што користи податоци од Sentinel-2 сателитот кои се со целосно слободен пристап. За процесирање и мапирање на резултатите е користен софтверот QGIS кој исто така е со слободна лиценца за користење. Добиените резултати означуваат изгорена површина од 4220 хектари со четири нивоа на сериозност на опожарените површини (ниска, умерена-ниска, умерена-висока и висока сериозност). Споредбата со European Forest Fire Information System (EFFIS), кој користи фотографии на MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) сензорот, покажува дека предложената методологијата ја подобрува проценката на изгорените површини за 25 %.

Клучни зборови: шумски пожари, Sentinel-2, мапирање, класификација, опожарени површини

METHODOLOGY FOR ESTIMATION OF BURNED AREAS CAUSED BY WILDFIRES USING DATA FROM THE SENTINEL-2 SATELLITE

Vancho Adjiski¹, Vancho Naunov²

¹Faculty of natural and technical sciences, „Goce Delcev“ University, Shtip, R.N. Macedonia

²DRON OPS LLC, Shtip

vanco.adziski@ugd.edu.mk

Abstract. This research presents a methodology for assessing the extent of areas affected by wildfires, as well as the severity levels of burned areas using multispectral photographs from the Sentinel-2 satellite. As a case study on which the methodology will be applied are the burned areas caused by the wildfires that occurred in early August 2021 in the Pijanec-Maleshevo region of the Republic of N. Macedonia. The advantage of the proposed methodology is that it uses data with completely free access from the Sentinel-2 satellite. The processing and mapping of the results was done in the QGIS software which has open-source license. The obtained results indicate burned areas of 4220 hectares and four burn severity levels (low, moderate-low, moderate-high and high severity). A comparison with the European Forest Fire Information System (EFFIS), which uses multispectral photographs of the MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer sensor), shows that the proposed methodology improves the burn area estimate by 25 %.

Kew words: Wildfires, Sentinel-2, mapping, classification, burned areas.

1. Вовед

Шумските пожари во моментов се едни од најголемите еколошки проблеми бидејќи предизвикуваат нарушувања во екосистемите коишто можат да генерираат економски и социјални трошоци. Според годишниот извештај на Македонски шуми, во 2020 година во земјата имало 102 пожари со вкупно опожарена површина од 1233 хектари [1]. Во 2019 година, според истиот извештај во земјата имало 402 пожари и биле опожарени 15675 хектари [1].

Далечинското набљудување (анг. remote sensing) се користи за следење на активни пожари и изгорени области на глобално и национално ниво. За овие цели обично се користат сензори инсталирани на сателити како што се MODIS, Advanced Very High-Resolution Radiometer (AVHRR), Medium Resolution Imaging Spectrometer (MERIS) со просторна резолуција на фотографијата помеѓу 250 m и 1 km (големина на еден пиксел) [2-4]. Нивниот дневен циклус околу орбитата на земјата е корисен за да се

забележат активни пожари или да се проценат дневните опожарени области, меѓутоа, релативно грубата просторна резолуција на фотографијата влијае врз точноста при пресметка на просторните области зафатени од пожарот. Споредбите помеѓу фотографиите добиени од сензорите со различна резолуција, генерално покажуваат голема варијација на резултатите за пресметка на изгорената површина. Големата резолуција на сателитските фотографии со слободен пристап (анг. open-source) може значително да ја зголеми точноста поврзана со проценката на изгорената површина како и анализата на придружните класи на сериозност кои се предизвикани од пожарот [5].

Сателитското далечинско набљудување е идеално за следење на изгорената површина, особено за големи, оддалечени и непристапни места. Меѓу достапните сателити, Copernicus програмата (со сателитот Sentinel-2) нуди одлична алатка за мониторинг на опожарени области со можност за селекција на временска рамка [6-7]. Предноста на Copernicus програмата е тоа што пристапноста на податоците се со целосно слободен пристап (анг. open-source)

За анализа и мониторинг на изгорените области, оптичките податоци од мултиспектралниот инструмент на Sentinel-2 сателитот, почнуваат од 2015 година со петдневен временски циклус (се добиваат нови податоци на секои пет дена) [8].

Sentinel-2 сателитот носи мултиспектрален сензор со 13 спектрални канали со опсег од 443 до 2190 nm. Видливите црвена, зелена, сина (анг. red, green, blue - RGB) и блиските инфрацрвени (анг. near-infrared, NIR) спектрални канали се достапни со 10 m просторна резолуција и истите се многу погодни за анализа на вегетацијата. Достапни се и четири црвен-раб (анг. red-edge) спектрални канали со просторна резолуција од 20 m и се особено погодни за анализа на содржината на хлорофил кој претставува најважен растителен фотосинтетски пигмент [9]. Овие карактеристики го прават Sentinel-2 сателитот погоден за анализа на опожарените области предизвикани од шумските пожари.

Во ова истражување ќе биде презентирана методологија за анализа на опожарените области предизвикани од шумските пожари кои настанаа во Пијанечко-Малешевскиот регион во почетокот на август 2021 година. За потребите на предложената методологијата во овој труд се користени фотографии од Sentinel-2 сателитот и за нивна анализа ќе биде користен софтверот QGIS кој е со слободна лиценца за користење. На Слика 1 е прикажана областа која е цел на ова истражување и врз која ќе биде претставена предложената методологија.



Слика 1. Локација на анализираната опожарена област која е цел на истражувањето
Figure 1. Location of the analyzed burned area which is the scope of the research

2. Методологија на работа

2.1 База на податоци и обработка на фотографии

Пожарните настани кои се цел на ова истражување се случија во Пијанечко-Малешевскиот регион на Република С. Македонија во текот на летото 2021 година. Областа која ќе се анализира се протега од село Тработивиште и Стар Истевник на север до селото Мачево и градот Пехчево на југ.

За потребите на оваа студија анализиравме десет фотографии од Sentinel-2 сателитот (просторна резолуција: 10 и 20 m, радиометриска резолуција: 12 бита) кои се добиени од базата со слободен пристап на ESA (<https://scihub.copernicus.eu>).

Со цел да се изработи базата на податоци, гореспоменатите фотографии беа избрани врз основа на параметар кој е поврзан со низок процент на облачност и истите беа обработени од аспект поврзан со атмосферска корекција.

Добиените фотографии кои се дел од базата на податоци се поделени во две групи и тоа пред и после пожарот. За потребите на анализата која се однесува за пред пожарот се користени податоци од Sentinel-2 сателитот кои се однесуваат за 08.07.2021 година, додека за после пожарот се користени податоци кои се однесуваат за 17.08.2021 година.

Во Табела 1 се дадени оригиналните спектрални канали и соодветните централни бранови должини на фотографиите кои се користени за оваа анализа и кои се преземени од Sentinel-2 сателитот [6].

Табела 1. Sentinel-2 спектрални канали со нивните соодветни централни бранови должини и просторни резолуции

Table 1. Sentinel-2 spectral bands with their corresponding central wavelengths and spatial resolutions

Број на спектрален канал	Име	Централна бранова должина (nm)	Просторна резолуција (m)
2	Сина	490	10
3	Зелена	560	10
4	Црвена	665	10
8a	Блиско инфрацрвено-тесно (NIR-narrow)	865	20
12	Кратки инфрацрвени 2 (SWIR 2)	2190	20

2.2 Детекција на изгорени површини

Енергијата која се испушта од објектите кои се лоцирани на Земјата имаат уникатни карактеристики. Овие спектрални потписи ни овозможуваат да анализираме широк спектар на копнени процеси. Оптичките алатки за далечинско набљудување кои се инсталираат на сателити, користат софистицирани сензори за набљудување на планетата, а со тоа и на целиот екосистем.

Блиските инфрацрвени (во понатамошниот текст NIR), средните инфрацрвени (анг. mid-infrared) и термалните (анг. thermal) спектрални канали се идеални за детекција поврзана со промени во здравјето на вегетацијата [10]. Овие спектрални канали често се користат за точна проценка на површините погодени од пожар како и сериозноста на опожарените области и служат за изработка на детални анализи поврзани со активностите за управување со шумите.

Зелената здрава вегетација го рефлектира зрачењето во NIR подрачјето, додека ја апсорбира црвената светлина во видливиот дел од електромагнетниот спектар [11]. Областите кои се погодени од шумски пожари, рефлектираат повеќе енергија во видливиот дел од електромагнетниот спектар и подрачјето со кратки инфрацрвени бранови (во понатамошниот текст SWIR), додека апсорбираат енергија во NIR подрачјето (Слика 2) [12].



Слика 2. Споредба на спектралните рефлексии на здрава вегетација и изгорени површини
Figure 2. Comparison of the spectral reflectance of healthy vegetation and burned areas

Нормализиран изгорен сооднос (анг. Normalized burn ratio – NBR, во понатамошниот текст NBR) претставува индекс којшто се користи за мерење на сериозноста на опожарените површини со одвојување на области кои се значително изменети во нивниот спектрален потпис по настанат шумски

пожар [13]. Се пресметува со помош на енергетскиот интензитет од опсегот поврзан со брановите должини на NIR и SWIR кои се детектираат со помош на сателитски сензори. NBR го користи односот помеѓу NIR и SWIR спектралните канали. Високите вредности на NBR ги одразуваат областите покриени со здрава вегетација, додека ниските вредности укажуваат на голи површини и неодамна изгорени области. Вредностите кои се движат околу нула претставуваат области кои не се зафатени од шумскиот пожар. NBR за податоци преземени од Sentinel- 2 сателитот (просторна резолуција 20 m) се пресметува како [13]:

$$NBR = \frac{NIR-SWIR}{NIR+SWIR} = \frac{8a-12}{8a+12} \quad (1)$$

каде што:

NBR - нормализиран изгорен сооднос;

NIR - блиско инфрацрвено подрачје (број на спектрален канал 8a во Sentinel-2 сателитот со централна бранова должина од 865 nm и просторна резолуција од 20 m);

$SWIR$ - кратко инфрацрвено подрачје (број на спектрален канал 12 во Sentinel-2 сателитот со централна бранова должина од 2190 nm и просторна резолуција од 20 m).

Сериозноста на опожарените површини (анг. burn severity) е термин којшто се користи за да се претстави степенот до кој пожарот влијаел на екосистемот. За да се идентификуваат изгорените области и да се разликуваат од гола почва и други невегетативни области, често се користи разликата помеѓу NBR пред настанатиот и после настанатиот шумски пожар. Овој индекс е наречен Делта нормализиран изгорен сооднос (анг. Delta normalized burn ratio, во понатамошниот текст - dNBR) и се пресметува како [13]:

$$dNBR = NBR_{pred-pozar} - NBR_{posle-pozar} \quad (2)$$

Каде што:








$dNBR$ - делта нормализиран изгорен сооднос;

$NBR_{pred-pozar}$ - нормализиран изгорен сооднос пред настанувањето на пожарот;

$NBR_{posle-pozar}$ - нормализиран изгорен сооднос после настанувањето на пожарот.

Областите со висока вредност на dNBR одговараат на повисок степен на оштетување, односно на поголема сериозност поврзана со опожарените површини. Спротивно на ова, ниските вредности на dNBR претставуваат области коишто не се зафатени од шумскиот пожар. United States Geological Survey (USGS) има предложено табела за класификација којашто служи за толкување на сериозноста на опожарените површини предизвикани од шумски пожари (Табела 2) [14].

Табела 2. Класификација за сериозноста на опожарените површини според USGS
Table 2. Burn severity classification criteria table proposed by USGS

	Ниво на сериозност	dNBR опсег
	Засилен раст на вегетација, висок (пост-пожар)	-0,500 до -0,251
	Засилен раст на вегетација, низок (пост-пожар)	-0,250 до -0,101
	Неизгорени површини	-0.100 до +0.99
	Ниска сериозност	+0.100 до +0.269
	Умерена-ниска сериозност	+0.270 до +0.439
	Умерена-висока сериозност	+0.440 до +0.659
	Висока сериозност	+0.660 до +1.300

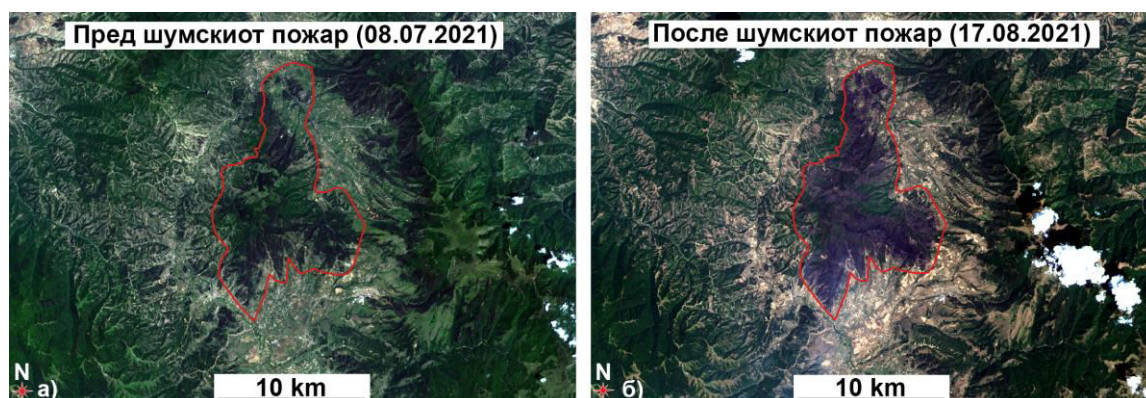
3. Резултати и дискусија

За анализа на опожарената област која е цел на ова истражување беа потребни снимки од Sentinel-2 сателитот кои се однесуваат на истата област. Фотографиите кои се добиени најблиску до времето пред настанувањето на пожарот се нарекува мастер фотографија додека онаа после настанувањето на пожарот се нарекува растер фотографија.

Со процесирање на NBR индексот на мастер фотографијата ($NBR_{pred-pozar}$) и последователните растер фотографии ($NBR_{posle-pozar}$) може да се анализира влијанието од настанатиот шумски пожар. Врз основа на добиената разлика помеѓу NBR индексот на мастер и растер фотографиите (dNBR), може да се одреди вкупната изгорена површина од шумскиот пожар како и областите кои се силно погодени од самиот пожар. Секоја следна растер фотографија (преземена на некој временски интервал) може да се

искористи за да се создаде пост-пожарна карта во различни временски точки и на тој начин да се следи напредокот на закрепнување со анализирање на процесот на обновување на шумската вегетација.

За потребите на овој труд е изработена карта за проценка на шумскиот пожар настанат во Пијанечко-Малешевскиот регион, каде што се користени два сета на фотографии (изработена база на податоци) од Sentinel-2 сателитот. Првиот сет на фотографии (мастер) се преземени со дата од 08.07.2021 година (пред шумскиот пожар), додека вториот сет на фотографии (растер) се преземени со дата од 17.08.2021 година (после шумскиот пожар). На Слика 3 е прикажана споредба помеѓу мастер и растер фотографиите кои се комбинација на нивните соодветни RGB спектрални канали пред и после настанатиот шумски пожар за истото анализирано подрачје (со просторна резолуција од 10 m).



Слика 3. а) Комбинација на RGB спектралните канали пред настанатиот шумски пожар (мастер) б) Комбинација на RGB спектралните канали после настанатиот шумски пожар (растер)
Figure 3. a) Combination of RGB band before the occurrence of the wildfires (master) b) Combination of RGB band after the occurrence of the wildfires (raster)

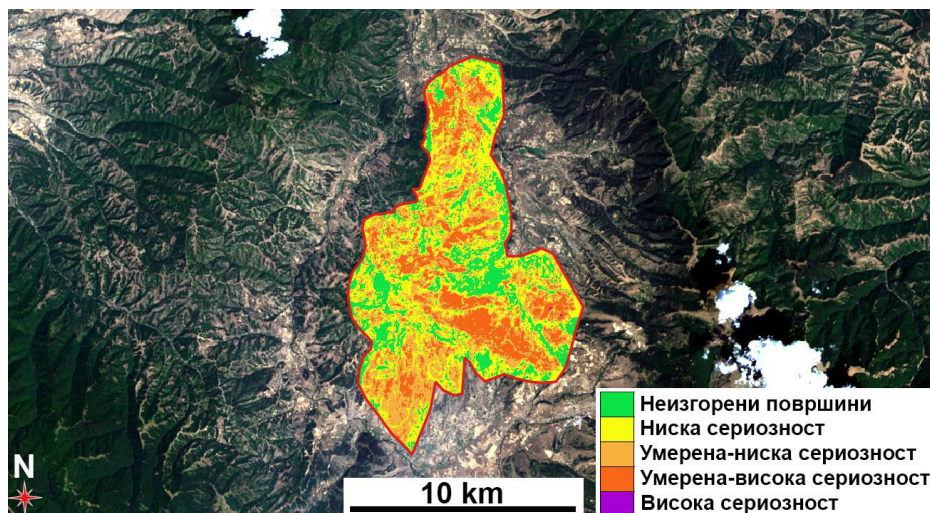
За обработка на базата на податоци која се состои од претходно спомнатите фотографии преземени од Sentinel-2 сателитот е користен софтверот QGIS кој е со слободна лиценца за користење.

Во процесот на обработка на фотографиите, атмосферската корекција претставува важен чекор за одредување на вистинските вредности на рефлексија од површината на земјата. Овој чекор е особено важен кога анализата вклучува споредување на сателитски фотографии во различен временски интервал, а се однесуваат за иста област. За потребите на овој труд се направени атмосферски корекции за истражуваната област во софтверот QGIS за сите преземени фотографии од Sentinel-2 сателитот.

Откако претходно ќе се обработат сите фотографии кои се поврзани за истата истражувана област, но со различен временски интервал, формираме две посебни фотографии (пред и после шумскиот пожар) кои се базираат на равенка (1) и на индивидуалните спектрални канали. Со овој чекор формираме два NBR опсега кои одговараат на датумот пред (мастер фотографија со дата од 08.07.2021 - $NBR_{pred-pozar}$) и после шумскиот пожар (растер фотографија со дата од 17.08.2021 - $NBR_{posle-pozar}$).

За да се идентификуваат изгорените области настанати од шумскиот пожар, се врши процесирање во QGIS софтверот базирано на равенка 2 (разлика помеѓу мастер и растер фотографиите) со што се добива dNBR индексот (просторна резолуција од 20 m).

Нареден чекор е да се класифицираат изгорените области врз база на големината на промените поврзани со вредностите на dNBR помеѓу двата временски интервали (пред и после шумскиот пожар). Класификацијата за сериозноста на опожарените површини може да послужи како суштинска алатка за проценка на штетите врз опожарената површина и да служи како основна анализа врз која ќе се планираат идните напори за рехабилитација на зафатените површини од шумскиот пожар. За толкување на сериозноста на опожарените површини е користена класификација на USGS која се базира на Табела 2. Добиените резултати од оваа класификација се прикажани на Слика 4.



Слика 4. Класификација за сериозноста на опожарените површини според USGS стандардот после згаснувањето на шумскиот пожар





Figure 4. Classification of the burn severity according to USGS standard after extinguishing the wildfires

Бидејќи растер фотографијата (после пожарот) е преземена веднаш после згаснувањето на шумскиот пожар во добиените резултати прикажани на Слика 4, немаме области со засилен раст на вегетација (вредности над $-0,25$). Дел од вредностите се со големина која се движи околу 0, што значи дека имаме и области кои не се зафатени од шумскиот пожар. Исто така од добиените резултати може да се заклучи дека имаме и области кои се класифицирани со ниска, умерена-ниска, умерена-висока и висока сериозност.

Со цел да се пресмета големината на изгорената површина врз база на добиените класификации, добиената фотографија (dNBR) треба да се полигонизира. Овој процес е направен во QGIS софтверот, со алатките за реквалификација (анг. Reclassify values) (SAGA GIS) и полигонизација (анг. Polygonize-raster to vector) (GDAL). Во процесот на реквалификација, само вредностите што припаѓаат на категориите ниска, умерено-ниска, умерено-висока и висока сериозност се реквалификувани, доделувајќи им ги на овие категории броевите 0, 1, 2, 3, соодветно. По реквалификацијата, овие категории поврзани со сериозноста на опожарените површини поминуваат низ процесот на полигонизација. Овој процес овозможува изгорената површина да ја добиеме во векторски формат којшто ќе ни помогне да ја пресметаме површината зафатена од шумскиот пожар. Исто така овој чекор е поврзан и со рекласификацијата на вредностите кои ни овозможуваат да ги пресметаме опожарените површини врз база на класификација за сериозноста, со што се добиваат поголеми детали поврзани со настанатиот шумски пожар. Како резултат од овој чекор во QGIS софтверот се добива табела со атрибути во кој се пресметани површините (во хектари) кои се базирани врз класификацијата за сериозноста на опожарените површини (Табела 3).

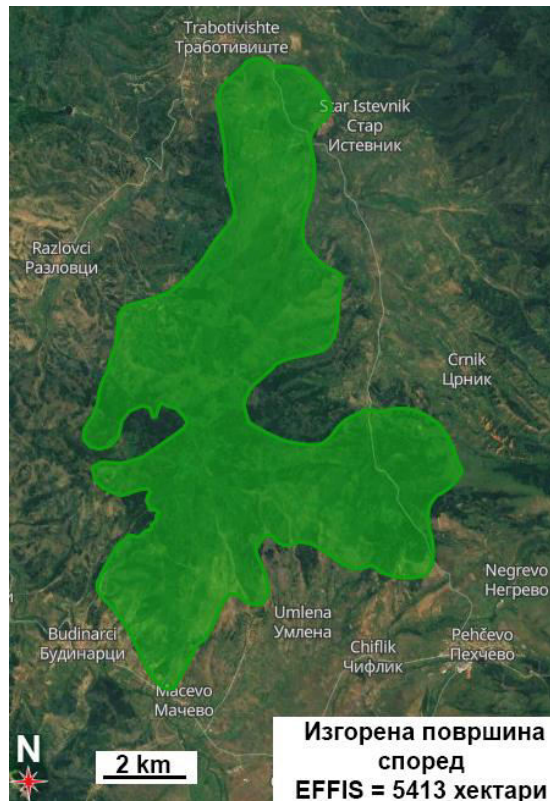
Табела 3. Големина на изгорени површини базирани врз класификацијата за сериозноста на опожарените површини

Table 3. Size of burned areas based on burn severity classification

	Ниво на сериозност	dNBR опсег	Рекласификација	Површина (хектари)
	Ниска сериозност	+0.100 до +0.269	0	2785,95
	Умерена-ниска сериозност	+0.270 до +0.439	1	1432,26
	Умерена-висока сериозност	+0.440 до +0.659	2	2,52
	Висока сериозност	+0.660 до +1.300	3	0,09
			Вкупно:	4220,82

За споредба на добиените податоци кои се прикажани во Табела 3, ќе ги искористиме податоците за вкупната изгорена површина преземени од EFFIS системот. Овој алгоритам е пуштен во употреба во 2003 година за да ги мапира изгорените површини после шумските пожари во цела Европа. Алгоритамот Rapid Damage Assessment (RDA) на EFFIS, ги мапира изгорените површини за време на самиот шумски пожар со анализирање на дневни фотографии на MODIS сензорот кој е инсталиран на TERRA и AQUA сателитите, со користење на спектралните канали на блиското инфрацрвено подрачје (просторна резолуција 250 m) и кратки инфрацрвени бранови (просторна резолуција 500 m) [15-16]. Резултатите од

EFFIS системот за опожарените површини кои се однесуваат на истото анализирано подрачје се дадени на Слика 5.



Слика 5. Изгорени површини според EFFIS системот после згаснувањето на шумскиот пожар
Figure 5. Burned areas according to the EFFIS system after extinguishing the wildfires

Големата просторна резолуција на спектралните канали кои се користат во EFFIS системот значат намалена точност во процесот за пресметка на изгорените површини зафатени од шумските пожари. Поради ова резултатите добиени од EFFIS системот ќе ги користиме само за ориентациона споредба со резултатите добиени од Sentinel-2 сателитот.

4. Заклучок

Во оваа студија е претставена методологија за проценка на изгорените површини од шумски пожари и степенот на нивната сериозност, користејќи фотографии од Sentinel-2 сателитот. За потребите на овој труд се користени мултиспектралните податоци од Sentinel-2 сателитот за анализа на опожарените области предизвикани од шумските пожари кои настанаа во Пијанечко-Малешевскиот регион во почетокот на август 2021 година.

Слободниот пристап до оптички податоци со средна и висока просторна резолуција од MSI сензорот инсталиран на Sentinel-2 сателитот, овозможува забрзан развој на методологии кои се поврзани со далечинско набљудување, мапирање и анализа на шумските пожари.

Предложената методологија користи временски разлики базирани на спектрални канали како и аритметички разлики помеѓу вредностите пред и после шумскиот пожар. Предноста на предложената методологија се состои од тоа што користи податоци и софтвери кои се со целосно слободен пристап за користење. Разликата од 1193 хектари помеѓу добиените резултати од Sentinel-2 и EFFIS системот, ја потврдува зголемената точност на предложената методологија со што истата обезбедува корисна алтернатива на податоците кои се добиваат од EFFIS системот. Зголемената точност се базира на фактот што методологијата се темели на податоци коишто имаат далеку поголема просторна резолуција во спектралните канали во споредба со методологијата која што се користи од EFFIS системот.

Еколошкото закрепнување, вклучително и густината на шумата, обновувањето на дрвјата, акумулацијата на биомасата на шумското подножје и останатите еколошки параметри ќе варираат спрема различната сериозност на опожарените површини. Ваквиот пристап за проценка на изгорените области предизвикани од шумски пожари се од суштинско значење за изработка на анализи врз кои ќе се базираат наредните чекори кои ќе бидат од клучно значење за рехабилитација на изгорените подрачја.

Користена литература

- [1] Државниот завод за статистика, МакСтат база на податоци, <http://makstat.stat.gov.mk/PXWeb/pxweb/mk>
- [2] Rozario, P., Madurapperuma, B., Wang, Y. (2018). Remote sensing approach to detect burn severity risk zones in Palo Verde National Park, Costa Rica: *Remote Sens*, 10 (9):1427, pp.1-19.
- [3] Toth, C., Jozkow, G. (2016). Remote sensing platforms and sensors: a survey: *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 115, pp.22–36.
- [4] Filipponi, F. (2019). Exploitation of Sentinel-2 Time Series to Map Burned Areas at the National Level: A Case Study on the 2017 Italy Wildfires: *Remote Sensing*, 11(6):622, pp.1-19, <https://doi.org/10.3390/rs11060622>.
- [5] Llorens, R., Sobrino, J.A., Fernández, C., Fernández-Alonso, J.M., Vega, J.A. (2021). A methodology to estimate forest fires burned areas and burn severity degrees using Sentinel-2 data. Application to the October 2017 fires in the Iberian Peninsula: *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Volume 95, pp.1-9, ISSN 0303-2434, <https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102243>.
- [6] Copernicus Open Access Hub. Available online: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>
- [7] Szantoi, Z., Strobl, P. (2019). Copernicus Sentinel-2 Calibration and Validation: *European Journal of Remote Sensing*, 52, pp.253-255.
- [8] Malenovský, Z., Rott, H., Cihlar, J., Schaepman, M.E., García-Santos, G., Fernandes, R., Berger, M. (2012). Sentinels for science: Potential of Sentinel- 1,-2, and-3 missions for scientific observations of ocean, cryosphere, and land: *Remote Sensing of Environment*, 120, pp.91-101.
- [9] Puletti, N., Chianucci, F., Castaldi, C. (2018). Use of Sentinel-2 for forest classification in Mediterranean environments: *Annals of Silvicultural Research*, 42, pp.32-38.
- [10] Elvidge, C.D. (1990). Visible and near Infrared Reflectance Characteristics of Dry Plant Materials: *International Journal of Remote Sensing* 11 (10), Taylor & Francis, pp.1775-1795, doi:10.1080/01431169008955129.
- [11] Kerr, J.T., Ostrovsky, M. (2003). From space to species: ecological applications for remote sensing: *Trends in Ecology & Evolution*, 18, pp.299-305.
- [12] Szpakowski, D.M., Jensen, J.L.R. (2019). A Review of the Applications of Remote Sensing in Fire Ecology: *Remote Sensing*, 11, 2638, pp.1-31, <https://doi.org/10.3390/rs11222638>
- [13] Key, C.H., Benson, N.C. (2005). Landscape assessment: remote sensing of severity, the normalized burn ratio and ground measure of severity, the composite burn index: FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System Ogden, Utah, USDA Forest Service, Rocky Mountain Res Station.
- [14] U.S. Geological Survey. (2016). Landsat-Earth Observation Satellites, Version 1.1, U.S. Geological Survey Fact Sheet 2015–3081. U.S. Geological Survey, Washington, DC, USA.
- [15] European Forest Fire Information System (EFFIS). Available online: <http://effis.jrc.ec.europa.eu/applications/data-request-form>
- [16] San-Miguel-Ayanz, J., Schulte, E., Schmuck, G., Camia, A., Strobl, P., Liberta, G. (2012). Comprehensive monitoring of wildfires in Europe: the European forest fire information system (EFFIS): In *Approaches to Managing Disaster-Assessing Hazards, Emergencies and Disaster Impacts*, IntechOpen, pp.88-108, doi:10.5772/28441.