

Просторне и временске промене у снабдевеност биљака водом применом NDVI у сливовима Тиње и Козлице

Деј Боитумело Мошлала¹, Ружица Стричевић¹, Еника Грегорић¹, Љубомир Животић^{1*}

¹Универзитет у Београду, Пољопривредни факултет, Немањина 6, 11080 Београд–Земун, Србија

*Аутор за кореспонденцију: Љ. Животић, ljubomirzivotic@yahoo.com

Извод

Abstract

Нормализована разлика вегетационог индекса (NDVI) је индикатор здравља вегетације, али и промене земљишног покривача на основу рефлексије одређених опсега у електромагнетном спектру. Начин коришћења земљишта, годишња доба и климатске промене утичу на просторне промене NDVI вредности. Ова студија се фокусира на сливове река Тиња и Козлица, које се налазе на источним деловима планине Маљен и који се карактеришу доминантним присуством травнате вегетације. Просторне и временске промене у снабдевеност биљака водом су праћење коришћењем 10-метарских Сентинел-2 снимака, и даље обрађених у QGIS-у за 2020–2021. годину, по месецима. За лакше праћење промене NDVI вредности сливови ове две реке су разграничени на укупно 305 подсливова, на којима је вршена даља анализа. Сви просторни NDVI подаци у току обе године се крећу од $< 0,1 - > 0,6$. Резултати указују да постоје видљиве промене у вредностима NDVI током различитих годишњих доба, што је у складу са порастом и смањењем водног стреса током проучаваног временског периода, односно са променама климатских чиниоца током вегетације. У летњим месецима највеће вредности премашују вредност од 0,6, а у неким случајевима и 0,8. Вредности NDVI у октобру и новембру се смањују на 0,3 и 0,5, док су у зимским месецима NDVI вредности $< 0,1$. Вредности NDVI су више, и мање променљиве, у подсливовима са заступљеном дрвенастом вегетацијом, међу којим има и четинара. Ова студија доприноси повећању знања о потенцијалној примени даљинске детекције, као и Сентинел-2 снимака високе резолуције за праћење стања снабдевености биљака водом. ГИС алати омогућавају разграничење подсливова, што помаже бољем праћењу просторних варијација NDVI унутар природно издвојених ентитета. Приликом процене утицаја суше на биљну производњу треба узети у обзир тренутни водни режим биљака. Због лакоће израчунавања NDVI и других индекса, и високе резолуције података, Сентинел-2 може играти важну улогу у будућим системима раног упозоравања на сушу, и утврђивања стања вегетационог покривача.

Кључне речи: NDVI, Маљен, разграничавање сливова, Сентинел-2, снабдевеност биљака водом

Увод

Introduction

Водни режим вегетације игра кључну улогу у функционисању биљака и размени воде и енергије са атмосфером, посебно током сушних периода (Peñuelas *et al.*, 1993). Хидролози и екофизиолози

су користили неке битне особине Земљине површине као што су начин коришћења земљишта и покривност, те фракција апсорбованог фотосинтетички активног зрачења (fPAR) од 400-700 nm које апсорбује биљна крошња (Feagin, 2020) за карактеризацију водног режима. Ови параметри су кључни за описивање својстава вегетације и агроклиматологије, као и модела продуктивности вегетације. Водни режим биљака је такође процењен у многим студијама са различитим бујностима лисне масе и облицима крошње (Zarco-Tejada *et al.*, 2003; Chai *et al.*, 2021; Ceccato *et al.*, 2001; Zhang i Zhou, 2019; Anderson *et al.*, 2004).

Индекс нормализоване разлике вегетације (Normalized difference vegetation index – NDVI) се између осталог користи за процену деградације земљишта и промена земљишног покривача на различитим размерама за различите примене, укључујући отпорност агроекосистема (Bartlett *et al.*, 1990). То је индикатор здравља вегетације заснован на томе како биљке одражавају одређене опсеге електромагнетног спектра што је фундаментално за разумевање здравља биљака. Он детектује и квантификује присуство активне зелене вегетације користећи ову рефлектовану светлост у видљивом и блиском инфрацрвеном опсегу. На NDVI утичу спектрална својства земљишта (Tuelle i Oleson 1989, Varet i Guyot 1991), посебно у областима са ретким вегетацијом где су посматрања под јаким утицајем сигнала из позадине земљишног простора као што су стене, земљиште и материјали органске простирке. Информације о потенцијалном земљишном покривачу значајно су означене фенологијом вегетације која у великој мери зависи од NDVI да би се знало да ли имамо здраве биљке, биљке под абиотичким или биотичким стресом или голе површине.

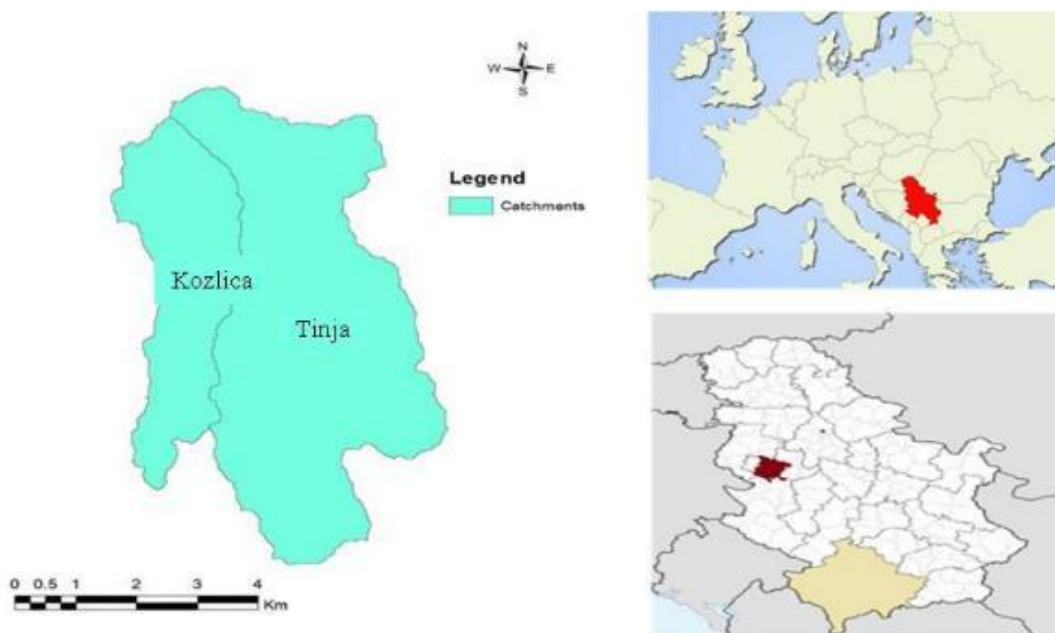
Листови су суштинска компонента структуре биљне крошње, а вода у лишћу има дубок утицај на фотосинтезу, транспирацију и друге физиолошке процесе. Складиштење воде у стабљници обезбеђује тампон између узимања воде из корена и транспирације листова (Deng *et al.*, 2017). Према томе, садржај воде у биљци је кључна променлива за утврђивање стања снабдевености биљака водом и откривања адаптације биљака на измењену средину (Rodríguez-Pérez *et al.*, 2018; Wang *et al.*, 2021). Као главни абиотички стрес, суша има директан утицај на физиолошке и биохемијске процесе и морфолошку грађу биљака, што на крају доприноси губитку приноса или лошем квалитету усева/приноса (Peng *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2018). Стога је прецизно праћење садржаја воде у земљишту у реалном времену корисно за побољшање способности управљања водама у пољопривреди, као и за побољшање ефикасности коришћења ресурса (Zarco-Tejada *et al.*, 2003; Gao, 1996).

Циљ овог рада је да се утврди просторна и временска снабдевеност биљака водом у сливовима река Тиња и Козлица, у финој просторној резолуцији, преко промена NDVI, коришћењем сателитских снимака и ГИС техника.

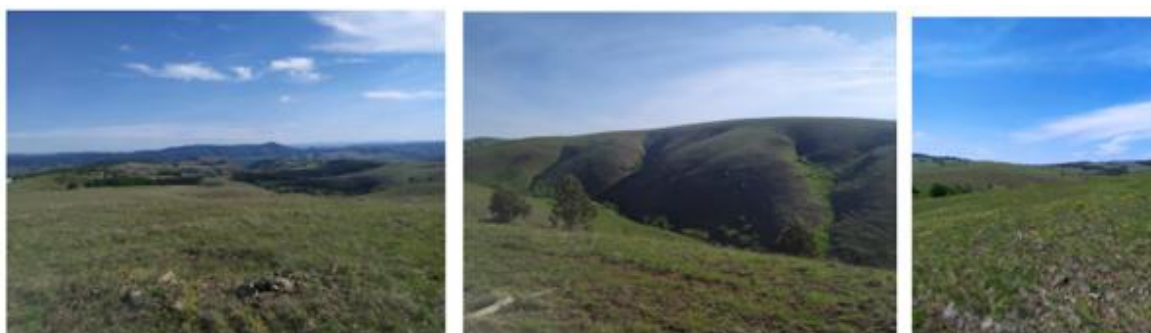
Материјал и методе рада Materials and Methods

Истраживано подручје Researched field

Истраживано подручје (центар подручја на 44° 04' 37" СГШ и 20° 05' 12" ИГД) представљају два мала слива, реке Тиња и Козлица, које се налазе на источним деловима планине Маљен, Србија (Слика 1). Слив реке Тиње има укупну површину од 2470,50 ha, док је слив Козлице површине од 951,93 ha. Клима подручја је планинска, са снежним зимама и топлим летима. Типови земљишта заступљени на истраживаном подручју су ранкери и литосоли на серпентинитима.



Слика 1. Локација планине Маљен на карти Србије и речни сливови Тиње и Козлице
Figure 1. Location of Mountain Maljen on the map of Serbia, watersheds of Tinja and Kozlica Rivers



Слика 2. Велика пространства природних и антропогених пашњака, ерозиони процеси и појаве каменитости у сливовима Тиње и Козлице
Figure 2. The great area of natural and anthropogenized grasslands, processes of soil erosion, and stoniness on topsoil in the watersheds of Tinja and Kozlica

Прикупљени подаци и обрада сателитских снимака**Collected data and processing of satellite images**

Примарни извор података за обраду су били сателитски снимци. Сателитски снимци су преузети са портала USGS (www.usgs.gov) и за њихово преузимање и анализу коришћен је QGIS, коришћењем полуаутоматског додатка за класификацију (Semi-automatic classification plugin, Congedo, 2016). Сателитски снимци су прикупљени са Сентинел-2 мисије за временски период од почетка 2020. до краја 2021. године (Табела 1). Сателит је опремљен опто-електронским мултиспектралним сензором за снимање у резолуцији од 10 до 60 m, који обезбеђује детектовање разлика у вегетационом стању. Сентинел-2 сензор поседује видљиве, блиске инфрацрвене (NIR) и краткоталасне инфрацрвене опсеге (SWIR). Главни опсег интересовања за одређивање NDVI су били опсег 4 (црвени) као и опсег 8 (NIR).

Табела 1. Карактеристике сателитских снимака за 2020. и 2021. годину**Table 1.** Characteristics of satellite images for the year 2020 and 2021

Резолуција/ Resolution (m)	Облачност/Cloud cover (%)		Датум набавке/ Acquisition date		Датум преузимања/ Date of extraction
	2020	2021	2020	2021	
10	7,84602	33,5846	7-Jan	6-Jan	
10	2,9253	0,235387	1-Feb	25-Feb	
10	0	14,3738	17-Mar	5-Mar	
10	0,85783	13,2513	16-Apr	24-Apr	
10	1,61758	0,892227	9-Maj	11-Maj	
10	1,69675	0,049316	30-Jun	30-Jun	29-Jun-22
10	0,629872	0,51326	30-Jul	25-Jul	
10	0,043427	0,414537	29-Avg	9-Avg	
10	0,035381	0,1598	6-Sep	13-Sep	
10	0,711185	3,9516	26-Okt	3-Okt	
10	3,52885	3,2321	25-Nov	20-Nov	
10	57,0925	30,3417	5-Dec	22-Dec	

Коришћењем SCP тулбар-а (toolbar) у оквиру QGIS апликације извршена је анализа оригиналних канала снимака, као и њихових метаподатака, након чега је креиран виртуелни растер у боји уносом опсега 2, 3 и 4 (плава, телена и црвена).

Израчунавање нормализоване разлике вегетационог индекса (NDVI) ***Calculation of the normalized difference of the vegetation index (NDVI)***

За трансформацију необрађених сателитских података у индексе вегетације користи се математичка формула приказана у једначини 1 (Weier and Herring, 2000). NDVI се дакле добија коришћењем математичке формуле, као однос разлике између блиске инфрацрвене светлости (NIR) и црвене (RED), и њиховог збира (NIR + RED). Опсеги за одређивање NDVI у Сентинел-2 су опсег 4 (црвени) као и опсег 8 (блиски инфрацрвени). NDVI слике су добијене коришћењем растер калкулатора

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

Слинови, подслинови и њихова мрежа водотока су разграничени коришћењем података дигиталног модела надморске висине (DEM-а). DEM је креиран помоћу изохипси са карте размере 1:25.000. Преко опције Попуни DEM (fill DEM) у SAGA (System for Automated Geoscientific Analyses) се креира Страхлеров ред (Strahler order; Strahler, 1957) који омогућава да се утврди где се налазе водотоци, а преко њих одреде и вододелнице. Опција Канал (Channel из Terrain analysis) ствара мрежу водотока, као и слинове. Издвајање слинова се врши на основу коришћења топографске карте са изохипсам, у комбинацији са проценом сателитских снимака (Sameh *et al.*, 2011). Овај поступак се спроводи да би се пратиле промене NDVI на мањим ентитетима.

Зонална статистика је коришћена за добијање подскупова података на ширем простору. Зонална статистика користи груписање да би се израчунали основни статистички показатељи за наведене зоне/подручја од интереса, у овом случају подслинове у оквиру слинова Козлице и Тиње. Она омогућава да се израчуна средња вредност, медијана, збир, минимум, максимум, стандардна девијација или опсег вредности у свакој зони.

Резултати и дискусија

Results and Discussion

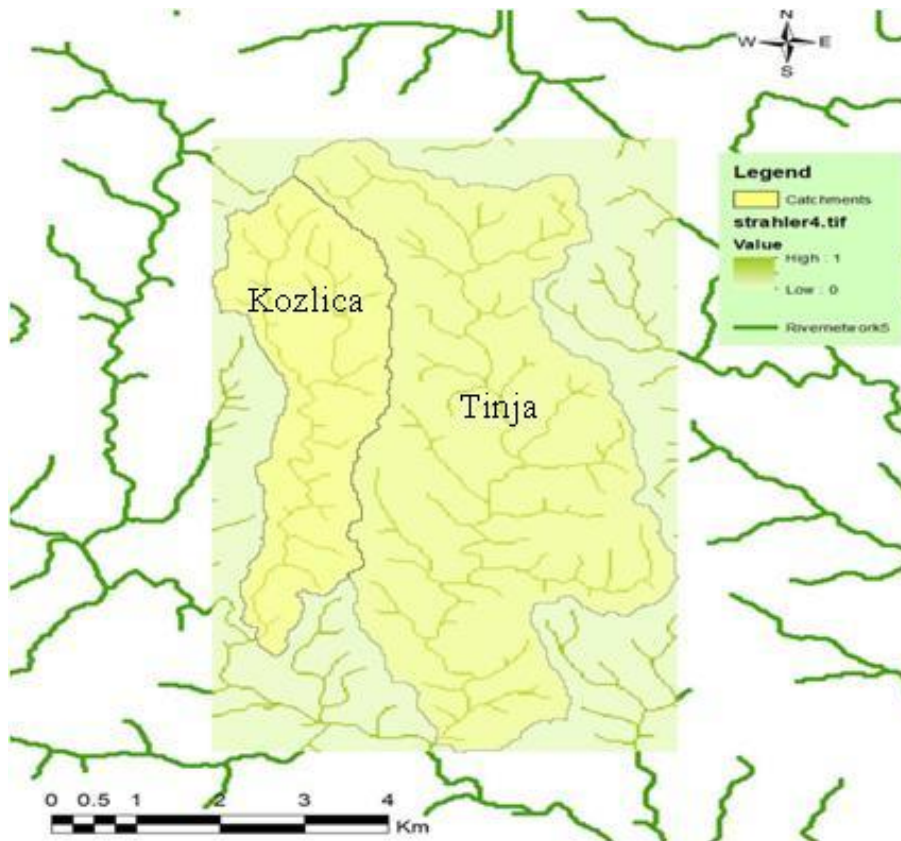
Издвајање слинова и подслинова

Separation of basins and sub-basins

Слив је подручје земљишног простора које одводи воду, седименте и растворене материјале у заједнички испуст у неком тренутку дуж водотока (Dunne and Leopold, 1978). Његов облик веома варира и зависи од много фактора, укључујући климатски режим, геолошке и геоморфолошке карактеристике, земљиште и вегетацију. Слинови река Тиња и Козлица и њихова мрежа мањих водотока су генерисани из DEM података. Horton (1945) је развио редослед водотока који помаже у класификацији и уређењу хијерархије природних канала унутар вододелнице. Даљом модификацијом Страхлер је уврстио Страхлеров ред који је сада најпопуларнији начин издвајања

водотока. Потоци на највећој надморској висини у дренажној мрежи су означени као токови првог реда, а из њих се формира водоток другог реда, испод ушћа два потока/канала првог реда, и тако даље.

Слика 3 илуструје издвојене водотоке речне мреже, односно сливова Тиње и Козлице, док слика 4 приказује укупно 305 издвојених подсливова, од којих је 60 веома мале површине због грешке у аутоматизацији поступка. Дакле, мапа има 246 већих подсливова укупне површине 3599,99 ха, и 6,36 ха подсливова, са површинама мањим од 0,3 ха.



Слика 3. Приказ речне мреже и обрис Страхлеровог реда
Figure 3. River network in the Kozlica and Tinja watersheds obtained by using Strahler order principles



Слика 4. Мапа подсливова у оквиру сливова Тиње и Козлице
Figure 4. Map of all the used sub-catchments from the Tinja and Kozlica watersheds

Просторне промене вредности NDVI ***Spatial NDVI value changes***

Резултати указују да NDVI варира просторно током обе године, при чему сваки месец има јединствену NDVI просторну дистрибуцију. Сви просторни NDVI резултати су представљени преко класа NDVI вредности од $< 0,1 - > 0,6$. Ове вредности се разликују у зависности од годишњих доба; када упоредимо зимске периоде као и летње периоде за 2020. и 2021. годину. Зимски месеци, јануар (Слика 5, 8) и децембар (Слика 7, 10) имају најниже вредности NDVI које су последица облачности, вегетационе неактивности, као и снежне покривености. Највише преовлађујуће вредности су испод 0,1, посебно у децембру 2020. Приближне нулте и негативне NDVI вредности указују на класе које претежно нису вегетација, док позитивне вредности представљају различите типове класа вегетације (Yacouba *et al.*, 2009). Agone и Bhamare (2012) повезују вредности NDVI од 0,00 - 0,20 са огољеним подручјима.

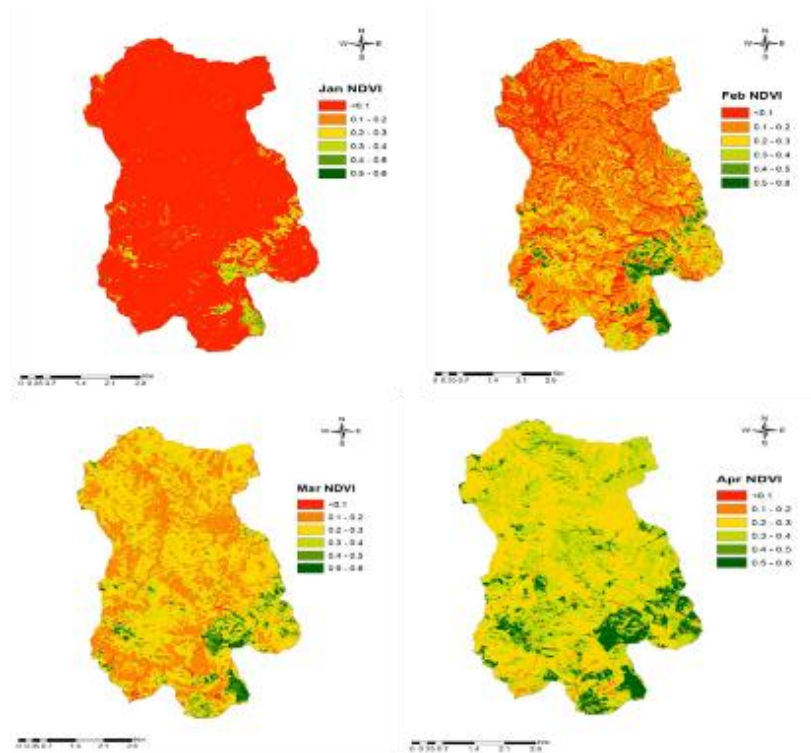
У летњим месецима имамо највеће вредности NDVI које су веће од 0,6, а у неким случајевима од 0,8. Промене NDVI у октобру и новембру (слика 7 и 10) указује на прелазне вредности NDVI од 0,3–0,6, које су уобичајене као и сезонске промене. Исти прелази се примећују

током фебруара, марта и априла (слика 8). Ови прелази су последица промене климатских услова који се крећу од зиме ка топлијим месецима, који утичу на оживљавање вегетације, што онда утиче на повећање вредност NDVI. У овим месецима доминирају вредности NDVI у распону од 0,2–0,4. Током топлијих месеци видљиво је да се повећава вредности NDVI што може бити последица развијенијег и здравијег вегетационог покривача. Ово се може приметити на сликама 6, 7, 9 и 10.

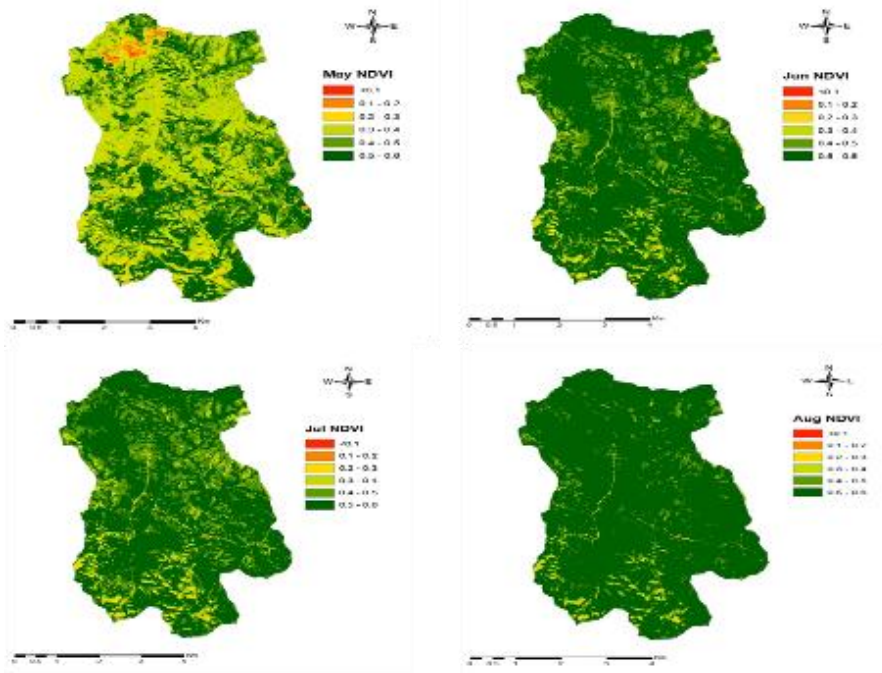
Singh *et al.*, (2015) су урадили сличну студију користећи Ландсат NDVI и њихови резултати су открили да су подручја која показују NDVI вредности мање од 0,0396 повезана са воденим површинама. Вредности NDVI између 0,0396 и 0,2813 представљају голу земљу. Подручја са слабом вегетацијом окарактерисана су вредностима NDVI од 0,2813 до 0,4424, док су вредности NDVI од 0,4424 до 0,6036 и NDVI вредности веће од 0,6036 коришћене за класификацију умерено и густо обраслих зона. Према Singh *et al.* (2015) дошло је до све веће просторне промене у NDVI због раста вегетације и смањења огољених површина током летњих месеци у поређењу са зимским периодима.

Утицај тренутног водног стреса може се огледати у смањењу садржаја воде у листовима, што утиче на активност стома и размену гасова између биљака и амбијенталне атмосфере (Ma *et al.*, 2018; Farooq *et al.*, 2009). Међутим, дуготрајни водни стрес може значајно утицати на структурне карактеристике усева као што су индекс лисне површине, надземна биомаса и принос зрна (Blum, 2011; Zhou *et al.*, 2020). Ако се тренутни водни стрес не открије на одговарајући начин и њиме се не управља, он ствара основу за дуготрајни стрес који доприноси великом губитку приноса (Ma *et al.*, 2018). Претходне студије су показале да спектрални вегетацијски индекси (SVI) засновани на подацима даљинског истраживања прикупљених у одређеној фази раста могу да предвиде садржај воде у биљци на нивоу листова и крошње (Clevers *et al.*, 2010; Perry and Davenport, 2007).

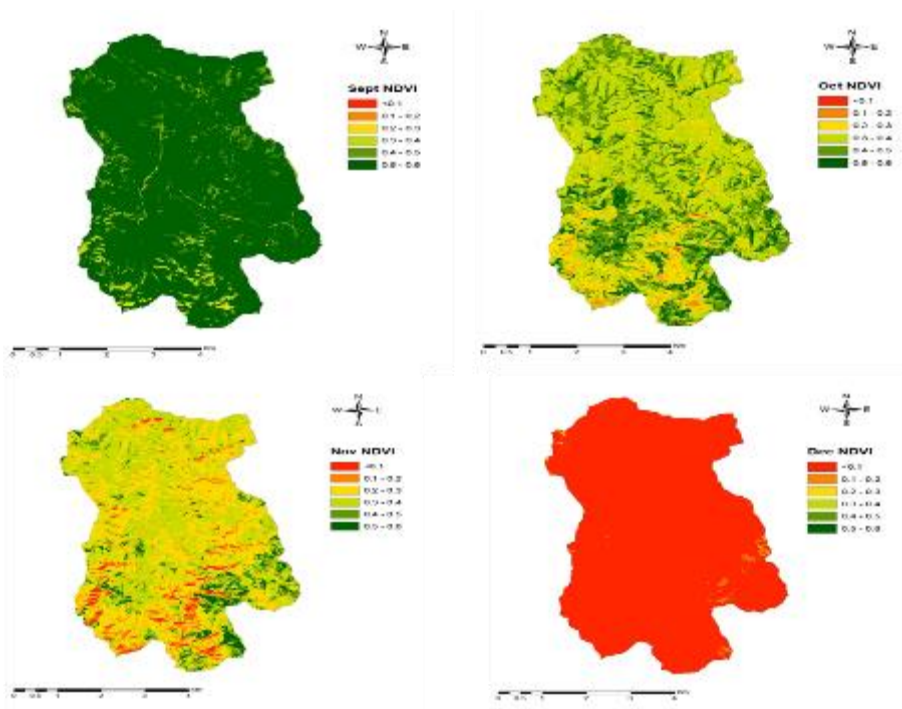
Упркос напорном покушају да се NDVI одреди само за подручја под вегетацијом, спектрално мешање голе земље и земљишта са тек изниклим биљкама изобличавају вредности NDVI. Дакле, постоји минимални праг вегетационог покривача изнад којег се преко NDVI не може разумно закључити о стању вегетације нити о влажности у земљишту због тога што су делови вегетације финији од највеће просторне резолуције доступне за дати сензор (за Sentinel-2 MSI, ово је 10 m).



Слика 5. Просторне промене у NDVI за јануар, фебруар, март и април 2020. године
(Contains modified Copernicus Sentinel data, 2020)
Figure 5. Spatial changes in NDVI for January, February, March and April 2020
(Contains modified Copernicus Sentinel data, 2020)

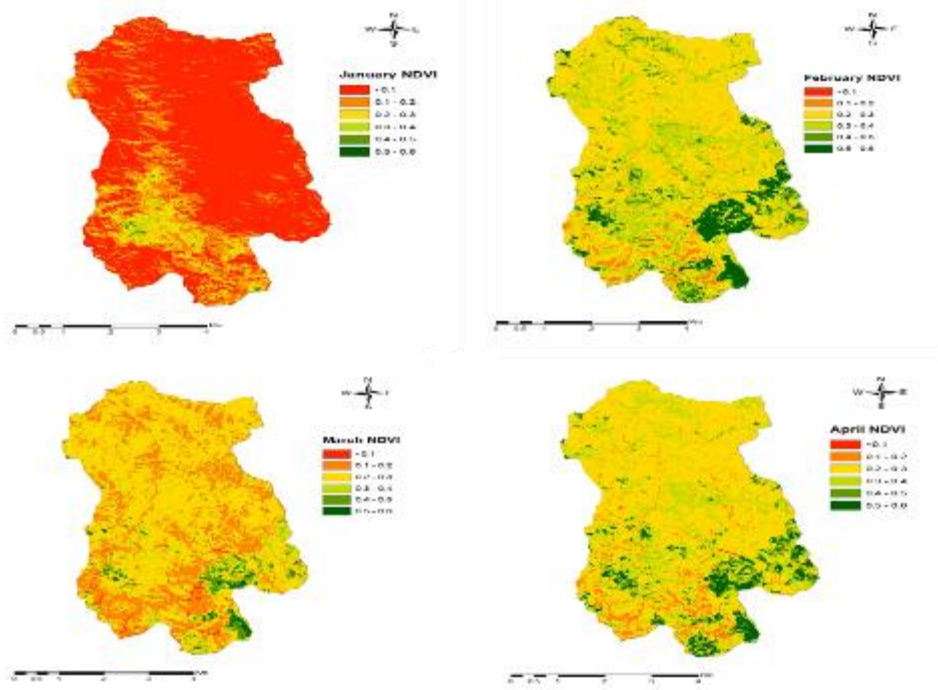


Слика 6. Просторне промене у NDVI за мај, јун, јул и август 2020. године
(Contains modified Copernicus Sentinel data, 2020)
Figure 6. Spatial changes in NDVI for May, June, July and August 2020
(Contains modified Copernicus Sentinel data, 2020)



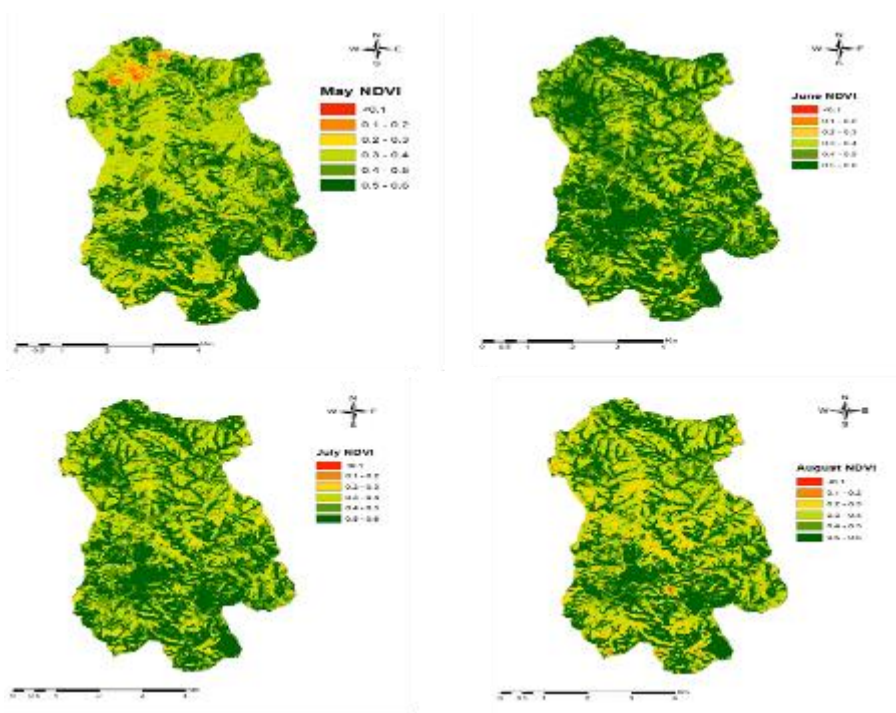
Слика 7. Просторне промене у NDVI за септембар, октобар, новембар и децембар 2020. године
(Contains modified Copernicus Sentinel data, 2020)

Figure 7. Spatial changes in NDVI for September, October, November, and December 2020
(Contains modified Copernicus Sentinel data, 2020)



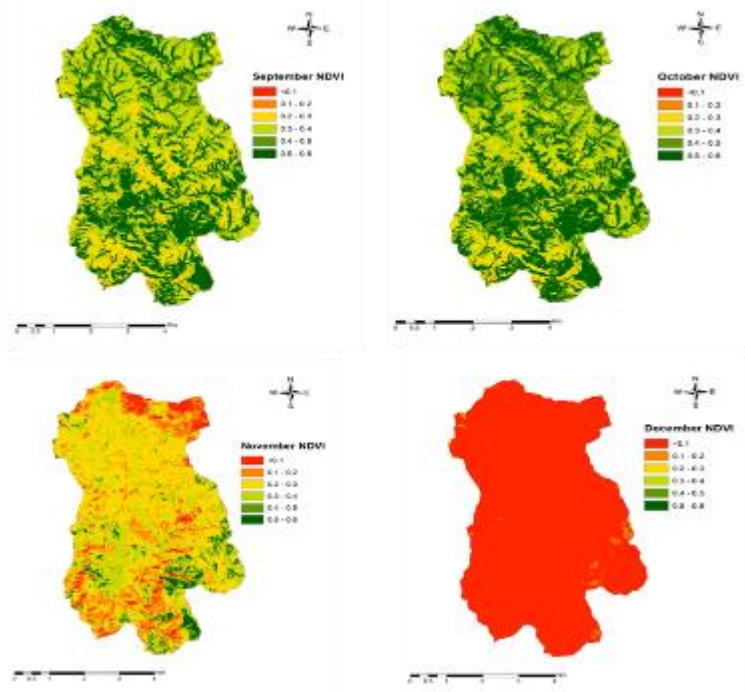
Слика 8. Просторне промене у NDVI за јануар, фебруар, март и април 2021. године
(Contains modified Copernicus Sentinel data, 2021)

Figure 8. Spatial changes in NDVI for January, February, March and April 2021
(Contains modified Copernicus Sentinel data, 2021)



Слика 9. Просторне промене у NDVI за мај, јун, јул и август 2021. године (Contains modified Copernicus Sentinel data, 2021)

Figure 9. Spatial changes in NDVI for May, June, July and August 2021 (Contains modified Copernicus Sentinel data, 2021)



Слика 10. Просторне промене у NDVI за септембар, октобар, новембар и децембар 2021. године (Contains modified Copernicus Sentinel data, 2021)

Figure 10. Spatial changes in NDVI for September, October, November and December 2021 (Contains modified Copernicus Sentinel data, 2021)

Временске промене у NDVI вредностима
Temporal changes in NDVI values

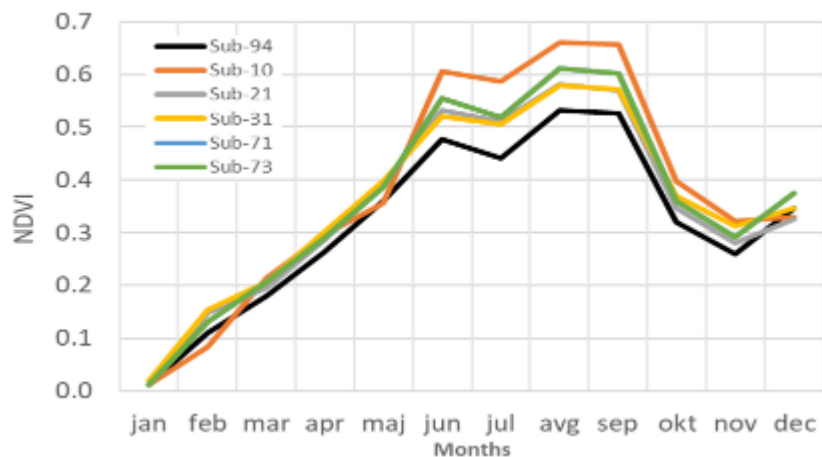
Основа за избор подсливова је представљала заступљеност пашњака, дрвећа и жбуња у њима. Својства одабраних сливова приказана су у табели 2 и она углавном оцртавају величину површине, нагиб, надморску висину, као и начин коришћења земљишта.

Табела 2. Подаци о изабраним подсливовима
Table 2. Data about chosen sub-catchments

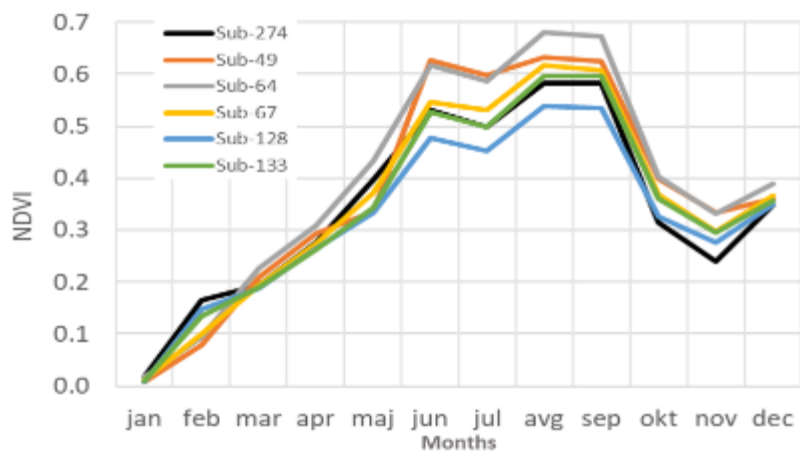
Редни број подслива/ No of subcatchment	Површина /Area (ha)	Надморска висина /Elevation (m a.s.l)	Нагиб/ Slope (%)	Слив/ Watershed	Доминантан начин коришћења земљишта/ Dominant land use
10	26,9	892-931	16,8	Тиња	Пашњаци
21	15,7	809-880	23,7	Тиња	Пашњаци
31	24,8	825-910	26,5	Тиња	Пашњаци
71	13,6	738-768	17,6	Тиња	Пашњаци
73	33,7	722-768	18,4	Тиња	Пашњаци
94	17,4	739-766	15,0	Тиња	Пашњаци
49	19,4	841-899	9,3	Козлица	Пашњаци
64	20,6	807-840	13,6	Козлица	Пашњаци
67	20,0	823-859	13,9	Козлица	Пашњаци
128	9,2	760-795	15,7	Козлица	Пашњаци
133	9,6	755-776	16,4	Козлица	Пашњаци
274	53,7	631-709	27,2	Козлица	Пашњаци
185	16,0	700-724	16,3	Тиња	75% дрвеће
201	10,8	616-683	27,0	Тиња	35% дрвеће
227	9,2	683-706	16,5	Козлица	75% дрвеће
240	8,5	670-694	15,7	Козлица	95% дрвеће

У 2020. години у сливу реке Тиње (слика 11) подсливови 10, 21, 31, 71, 73 и 94 имају различите NDVI вредности. Подслив 10 има највећу вредност NDVI око августа и септембра са вредношћу већом од 0,6, док подслив 94 има најниже вредности, нешто веће од 0,5. Такође је видљиво на сливу реке Козлице (слика 12) да подслив 64 има највиши NDVI у распону од >0,67 током августа и септембра, док подслив 128 има најниже вредности NDVI. На слици 13 приказани су подсливови са заступљенијом дрвенастом вегетацијом. Највишу вредност NDVI је у подсливу 185 који има око 75% дрвенасте вегетације, већа од 0,8, док су најниже вредности NDVI у подсливу 201, са вредностима нешто већим од 0,6, а у којем дрвенаста вегетација покрива око 35% подслива. Најниже вредности NDVI су приметне у подсливовима 94 и 128, док су највеће вредности у подсливовима 10 и 64 и у 2020. и у 2021. години. Дакле, сличне временске промене у NDVI су уобичајене и за 2021. годину у сливовима реке Тиње и Козлице, као и сливовима дрвенасте вегетације (слика 14–16). У оба слива вредности NDVI варирају током година, јер током зимског периода имамо најниже вредности NDVI, а током летњег периода највеће. Између маја и септембра 2020. и 2021. године, вредност NDVI и вегетација пашњака имају тенденцију да се

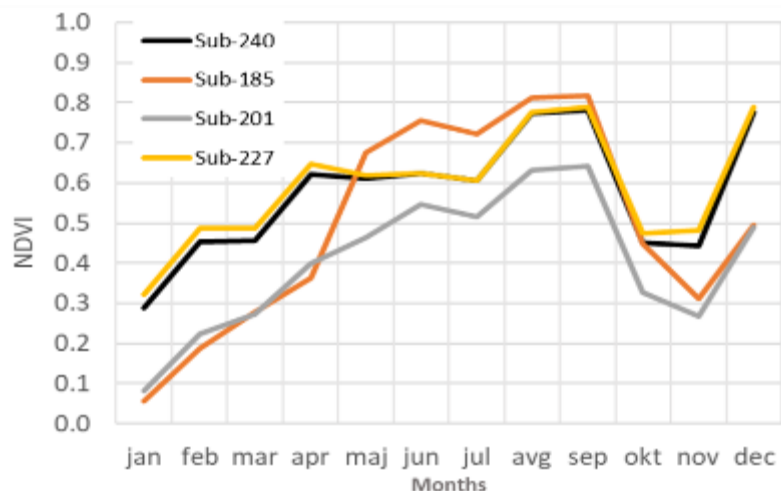
повећају због повољних термичких услова током пролећа и лета, што утиче на појачани раст биљака. Ипак, овај тренд морају да прате и повољни хидрички услови, који могу условити смањење вредности NDVI током летњих месеци. Овако високе вредности NDVI указују на добру снабдевеност вегетације водом у обе године истраживања, што поткрепљују подаци о количинама падавина током вегетационог периода (354 mm и 453 mm за 2020. и 2021. годину, редом).



Слика 11. Годишње промене вредности NDVI у одабраним подсливовима реке Тиње у 2020. години
Figure 11. Annual changes in NDVI values in selected Tinja River sub-catchments in 2020



Слика 12. Годишње промене вредности NDVI у одабраним подсливовима реке Козлице у 2020. години
Figure 12. Annual changes in NDVI values in selected Kozlica River sub-catchments in 2020



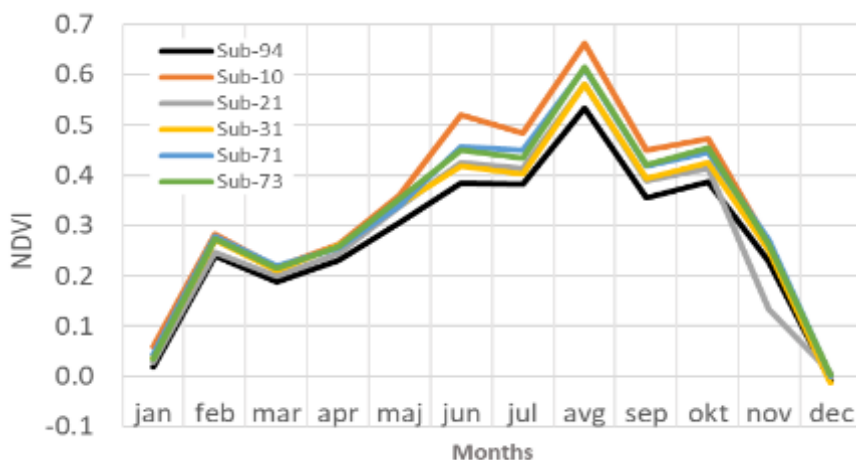
Слика 13. Годишње промене вредности NDVI у подсливовима са дрвенастим растињем у 2020. години

Figure 13. Annual changes in NDVI values in sub-catchments with woody vegetation 2020

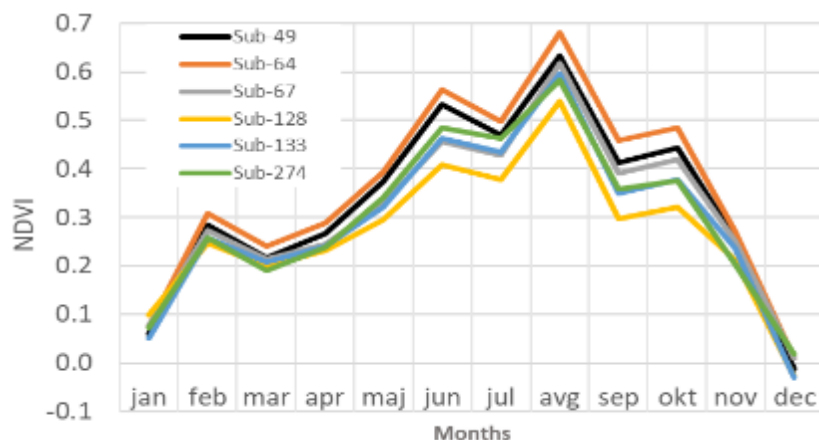
Приметно је да су трендови вредности NDVI током лета готово идентични, посебно у подсливовима где постоје пашњаци. На пример, имамо три вршна периода у јуну, августу и октобру (слике 11, и 14). У мају, јулу и септембру вредности су нешто ниже. То се може објаснити кошењем пашњака или испашом. Ниже вредности NDVI у неким подсливовима (нпр. 0,4 у поређењу са 0,6) могу указивати на нижу плодност, због недостатка ђубрења пашњака, или на мање повољна физичка или хемијска својства земљишта, или могу бити услед повећане каменитости земљиштне површине јер је на испитиваном подручју присутан и литосол на серпентинитима. Bai и Dent (2006) су успешно применили даљинску детекцију да квантификују зелену биомасу и нето примарну производњу. Према *Bozkurt et al.* (2011), технике даљинског откривања пружају већу флексибилност и тачност за процену стања травњака, а интеграција извршена у овој студији пружила је доказе у овом правцу. *Dwyer* (2011) је извршио просторну процену биљне биомасе користећи даљинско испитивање у јужноафричким саванама са великим детаљима и успехом. У овом раду, вредности NDVI су показале прво очигледан динамички тренд повећања, а затим опадања, што је у вези са доступношћу воде за раст и развој биљака, али и са начином управљања површинама од стране човека. Приликом процене утицаја суше на биљну производњу треба узети у обзир водни режим биљака.

Дефицит влаге у земљишту је најшире прихваћен индикатор за процену пољопривредне суше. Дакле, мапирање влаге је ефикасан начин за препознавање потенцијалне суше код усева. У поређењу са влагом у земљишту, водни режим биљака је више повезан са физиолошким функцијама (*Quemada et al.*, 2021; *Bowman*, 1989). Садржај воде и карактеристике биомасе, као и падавине играју важну индиректну улогу у прилагођавању водног режима биљака. NDVI одражава

реакцију вегетације на промену градијента влаге на овим локацијама. Ово може да сугерише да вегетација нема приступ влази јер има довољно влаге или максимална дубина укорјењења вегетације није довољно дубока да би приступила влази, посебно током зимских периода.

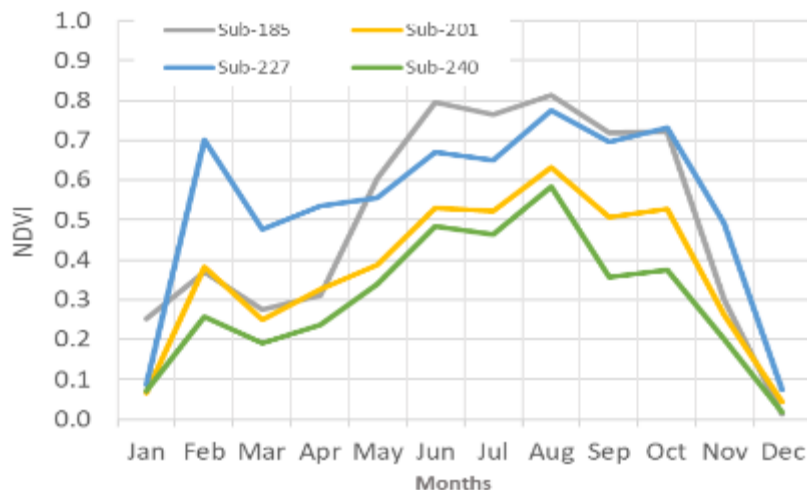


Слика 14. Годишње промене вредности NDVI у одабраним подсливовима реке Тиње у 2021. години
Figure 14. Annual changes in NDVI values in Tinja river sub-catchments in 2021



Слика 15. Годишње промене вредности NDVI у одабраним подсливовима реке Козлице у 2021. години

Figure 15. Annual changes in NDVI values in Kozlica river sub-catchments in 2021



Слика 16. Годишње промене вредности NDVI у подсливовима са дрвенастим растињем у 2021. години
Figure 16. Annual changes in NDVI values in sub-catchments with woody vegetation in 2021

Закључак Conclusions

У овом раду је приказана просторна и временска анализа NDVI вредности у 2020. и 2021. години у сливовима река Тиња и Козлица. Слилови ове де реке су доминантно прекривени природним и антропогеним пашњацима и ливадама. Резултати указују да постоје видљиве промене у вредностима NDVI током различитих годишњих доба, што је у складу са порастом и смањењем водног стреса током проучаваног временског периода, односно са променама климатских чиниоца током вегетације. Ова студија доприноси повећању знања о потенцијалној примени даљинске детекције, као и Сентинел-2 снимача високе резолуције (10 m) праћење стања снабдевености биљака водом коришћењем NDVI. ГИС алати омогућавају разграничење подсливова, што помаже бољем праћењу просторних варијација NDVI унутар сличнијих природних ентитета.

NDVI вредности се крећу од $< 0,1$ – $> 0,6$. За летње месеце, узимајући у обзир јун и јул, имамо највише доминантне вредности веће од 0,6, а у неким случајевима и веће од 0,8. Вредности NDVI у октобру и новембру опадају између 0,3 и 0,5, док су у зимским месецима NDVI вредности $< 0,1$. Вредности NDVI су више, и мање променљиве у подсливовима са заступљеном дрвенастом вегетацијом, међу којим има и четинара.

Приликом процене утицаја суше на биљну производњу треба узети у обзир тренутни водни режим биљака. Због лакоће израчунавања NDVI и високе резолуције података, Сентинел-2 може играти важну улогу у будућим системима раног упозоравања на сушу, омогућавајући праћење вегетационих услова преко високе резолуције, што може бити корисно у откривању почетка и развоја пољопривредних суша и утврђивања стања вегетационог покривача.

Захвалница

Acknowledgments

Желим да се захвалим програму Свет у Србији Министарства просвете, науке и технолошког развоја и Јужноафричком одељењу за високо образовање и обуку за финансирање мог истраживачког пројекта. Рад је резултат истраживања у оквиру уговора о реализацији и финансирању научно-истраживачког рада у 2022. години између Пољопривредног факултета у Београду и Миистарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије (Евиденциони број уговора: 451-03-68/2022-14/200116).

Литература

References

- Agone V, Bhamare SM. 2012: Change detection of vegetation cover using remote sensing and GIS, *Journal of Research and Development* 2(4):1-11.
- Anderson M, Neale C, Li F, Norman J, Kustas W, Jayanthi H, Chavez J. 2004: Upscaling ground observations of vegetation water content, canopy height, and leaf area index during SMEX02 using aircraft and Landsat imagery. *Remote Sensing Environment* 92: 447–464.
- Bai ZG, DL Dent. 2006: Global assessment of land degradation and improvement: A pilot study in Kenya. *World Soil Information. Report 2006/1*; Available from: http://www.isric.org/isric/webdocs/docs/ISRIC_Report_2006_01.pdf. Accessed on 2nd August, 2013.
- Baret F, Guyot G. 1991: Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. *Remote Sensing of Environment*, 35: 161–173.
- Bartlett B. R, Whiting G. J, Hartman J. M. 1990: Use of vegetation indices to estimate intercepted solar radiation and net carbon dioxide exchanges of a grass canopy. *Remote Sensing of Environment* 30: 115–128.
- Blum A. 2011: Plant water relations, plant stress and plant production. In *Plant Breeding for Water-Limited Environments*; Springer: New York, NY, USA: 11–52.
- Bowman W.D. 1989: The relationship between leaf water status, gas exchange, and spectral reflectance in cotton leaves. *Remote Sensing Environment* 30: 249–255.
- Bozkurt Y, Uzun N, Dogan, C. 2011: Grassland evaluation based on GIS model and remote sensing data for beef cattle grazing. *Grassland Science in Europe* 16:490–492.
- Ceccato P, Flasse S, Tarantola S, Jacquemoud S, Grégoire, J.M. 2001: Detecting vegetation leaf water content using reflectance in the optical domain. *Remote Sensing Environment* 77: 22–33.

- Chai L, Jiang H., Crow W.T, Liu S, Zhao S, Liu J, Yang S. 2021: Estimating corn canopy water content from normalized difference water index (NDWI): An optimized NDWI-Based scheme and its feasibility for retrieving corn VWC. *IEEE Transitional Geoscience Remote Sensing* 59: 8168–8181.
- Clevers J.G.P.W, Kooistra L, Schaepman M.E. 2010: Estimating canopy water content using hyperspectral remote sensing data. *International Journal Applied Earth Observation Geoinformatics* 12: 119–125.
- Congedo L. 2016: Semi-Automatic Classification Plugin Documentation. DOI: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.29474.02242/1>
- Deng Z, Guan H, Hutson J, Forster M.A, Wang Y, Simmons C.T. 2017: A vegetation-focused soil-plant-atmospheric continuum model to study hydrodynamic soil-plant water relations. *Water Resource Research* 53: 4965–4983.
- Dunne T., Leopold, L.B. 1978: *Water in environmental planning*. W.H. Freeman and Co., New York.
- Dwyer P.C. 2011: Spatial estimation of herbaceous biomass using remote sensing in Southern African savannas, MSc. Thesis. Johannesburg: University of Witwatersrand.
- Farooq M, Wahid A, Kobayashi N, Fujita D, Basra S.M.A. 2009: Plant drought stress: Effects, mechanisms and management. *Agronomic Sustainable Development* 29: 185–212.
- Feagin R, Forbrich I, Huff T, Barr J, Ruiz-Plancarte J, Fuentes J, Najjar R, Vargas R, Vazquez-Lule A, Windham-Myers L, Kroeger K, Ward E, Moore G, Leclerc M, Krauss K, Stagg C, Alber M, Knox S, Schafer K, Bianchi T, Hutchings J, Nahrawi H, Noormets A, Mitra B, Jaimes A, Hinson A, Bergamaschi B, King J, Miao G. 2020: Tidal Wetland Gross Primary Production Across the Continental United States, 2000-2019. *Global Biogeochemical Cycles* 34(2).
- Gao, B.C. 1996: NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing Environment* 58: 257–266.
- Horton R. 1945: Erosional Development of Streams and Their Drainage Basins; Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology. *Geological Society of America Bulletin* 56: 275-370.
- Ma X, He Q, Zhou G. 2018: Sequence of changes in maize responding to soil water deficit and related critical thresholds. *Front Plant Science* 9: 511.
- Peng Z, Lin S, Zhang B, Wei Z, Liu L, Han N, Cai J, Chen H. 2020: Winter wheat canopy water content monitoring based on spectral transforms and “Three-edge” parameters. *Agricultural Water Management* 240: 106-306.
- Peñuelas J, Filella I, Biel C, Serrano L, SavÉ R. 1993: The reflectance at the 950–970 nm region as an indicator of plant water status. *International Journal of Remote Sensing* 14: 1887–1905.
- Perry E.M, Davenport J.R. 2007: Spectral and spatial differences in response of vegetation indices to nitrogen treatments on apple. *Computer Electronic Agriculture* 59: 56–65.

- Quemada C, Pérez-Escudero J.M, Gonzalo R, Ederra I, Santesteban L.G, Torres N, Iriarte J.C. 2021: Remote sensing for plant water content monitoring: A review. *Remote Sensing* 13: 2088.
- Rodríguez-Pérez J.R, Ordóñez C, González-Fernández A.B, Sanz-Ablanedo E, Valenciano J.B, Marcelo V. 2018: Leaf water content estimation by functional linear regression of field spectroscopy data. *Biosystematics Engineering* 165: 36–46.
- Sameh W, Al-Muqdadi, Broder J, Merkel. 2011: Automated Watershed Evaluation of Flat Terrain. *Journal of Water Resource and Protection* 3 :12.
- Singh R.G, Engelbrecht J, Kemp J. 2015: Change detection of bare areas in the Xolobeni region, South Africa using Landsat NDVI. *South African journal of Geomatics* 4: 2.
- Strahler A. 1957: Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. *Transactions, American Geophysical Union* 38 :913-920.
- Tuelle P. T, Oleson, S. G., 1989: Diurnal radiance and shadow fluctuations in a cold desert shrub plant community. *Remote Sensing of Environment* 29: 1–13.
- Wang R, He N, Li S, Xu L, Li M. 2021: Spatial variation and mechanisms of leaf water content in grassland plants at the biomescale: Evidence from three comparative transects. *Science Reports* 11: 9281.
- Weier J, Herring D. 2000: *Measuring Vegetation (NDVI & EVI)*. NASA Earth Observatory, Washington DC.
- Yacouba D, Guangdao H, Xingping W. 2009: Assessment of land use cover changes using NDVI and DEM in Puer and Simao counties, Yunnan Province, China, *World Rural Observations* 6 (2):1-11.
- Zarco-Tejada P.J, Rueda C.A, Ustin S.L. 2003: Water content estimation in vegetation with MODIS reflectance data and model inversion methods. *Remote Sensing Environment* 85: 109–124.
- Zhang C, Pattey E, Liu J, Cai H, Shang J, Dong T. 2018: Retrieving leaf and canopy water content of winter wheat using vegetation water indices. *IEEE Journal Selected Top Applied Earth Observation Remote Sensing* 11: 112–126.
- Zhang F, Zhou G. 2019: Estimation of vegetation water content using hyperspectral vegetation indices: A comparison of crop water indicators in response to water stress treatments for summer maize. *BMC Ecological* 19: 18.
- Zhou H, Zhou G, He Q, Zhou L, Ji Y, Zhou M. 2020: Environmental explanation of maize specific leaf area under varying water stress regimes. *Environment Experiment in Botany* 171: 103932.

Spatial and temporal changes in plant water supply obtained by NDVI in Tinja and Kozlica watersheds

Day Boitumelo Mohlala¹, Ruzica Stričević¹, Enika Gregorić¹, Ljubomir Životić^{1*}

¹University of Belgrade, Faculty of Agriculture, Nemanjina 6, 11080 Belgrade–Zemun, Serbia

*Corresponding author: Lj. Životić, ljubomirzivotic@yahoo.com

Abstract

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) is an indicator of vegetation health and land cover changes, based on the reflectance of certain ranges in the electromagnetic spectrum. Land use, seasons and climate changes affect spatial variations in NDVI values. This study focuses on the basins of the rivers Tinja and Kozlica, located on the eastern parts of the Maljen Mountain, and characterized by the dominant presence of grassy vegetation. Spatial and temporal changes in plant water supply are monitored using 10-meter Sentinel-2 imagery, and further processed on a monthly basis in QGIS for 2020–2021. For better elaboration of NDVI values basins of these two rivers were delineated into 305 sub-basins, on which further analysis was performed. NDVI data during both years range from $< 0.1 - > 0.6$. NDVI values change during different seasons, which is consistent with the increase and decrease of water stress during the studied period, which refers to changes in weather conditions during the growing season. In the summer months, the highest values exceed 0.6, and in some cases even 0.8. NDVI values in October and November decrease to 0.3 and 0.5, while in winter months NDVI values are < 0.1 . NDVI values are higher, and less variable, in sub-basins with woody, partially coniferous vegetation. This study contributes to increasing knowledge about the potential application of remote sensing as well as high-resolution Sentinel-2 imagery for monitoring plant water supply because the assessment of drought impact on plant production requires the current monitoring of plant water regime. GIS tools enable the delineation of sub-catchments, which helps to better monitor the spatial variation of NDVI within natural landscape entities. NDVI and other indices are easy to calculate, and therefore, Sentinel-2 can play an important role in future drought early warning systems and in determining conditions of the vegetation cover.

Keywords: NDVI, Maljen, watershed delineation, Sentinel-2, plant water supply

Received 25.10.2022
Revised 6.12.2022
Accepted 7.12.2022