

4. Prikupljanje podataka daljinskom detekcijom i analiza podataka s ciljem monitoringa vegetacije različitih razmera od 2000. do danas na jugoistoku Panonske nizije, Mađarskoj i Vojvodini

Ferenc Kovács; Zsuzsanna Ladányi; Viktória Blanka; Péter Szilassi; Boudewijn van Leeuwen; Zalán Tobak; András Gulácsi; Elemér Szalma; László Cseuz

Uvod

Biomasa (površinski pokrivač) je od osnovne važnosti sa aspekta klimatskih promena, s toga moramo raspolagati sa tačnim i ažurnim podacima o stanju vegetacije, čak i u globalnim razmerama. Kao indikator klime, signalizira trendove promena koje se mogu registrovati korišćenjem metodologija daljinske detekcije (Ladányi et al. 2011, Gulácsi i Kovács 2018, Szabó et al. 2019). Promenjeni uslovi u suštini najavljuju smanjenje biološke produktivnosti, pa je ključno pitanje ispitivanja okruženja jeste da li će poljoprivreda i šumarstvo biti u stanju da se prilagode okolnostima koje se neprekidno menjaju?

Zahvaljujući zadovoljavajućoj vremenskoj rezoluciji snimanja, multispektralno posmatranje vegetacije praktično može biti podrška prostornom planiranju u blisko realnom vremenu. U periodu koji je predmet naše analize, između 2000. i 2018. izvršena je obrada i analiza preko 450 snimaka na bazi piksela, a ta količina podataka raste uključivanjem aktuelnih satelitskih snimaka. Za obradu je neizbežna automatizacija, metodologija *big data*, koju smo rešili putem platforme Google Engine, koja je slobodno dostupna (Kumar és Mutanga 2019). Cilj nam je prostorna analiza veza između suše i anomalija vegetacije, čiji aktuelni rezultati postaju dostupni na interaktivnoj web stranici projekta.

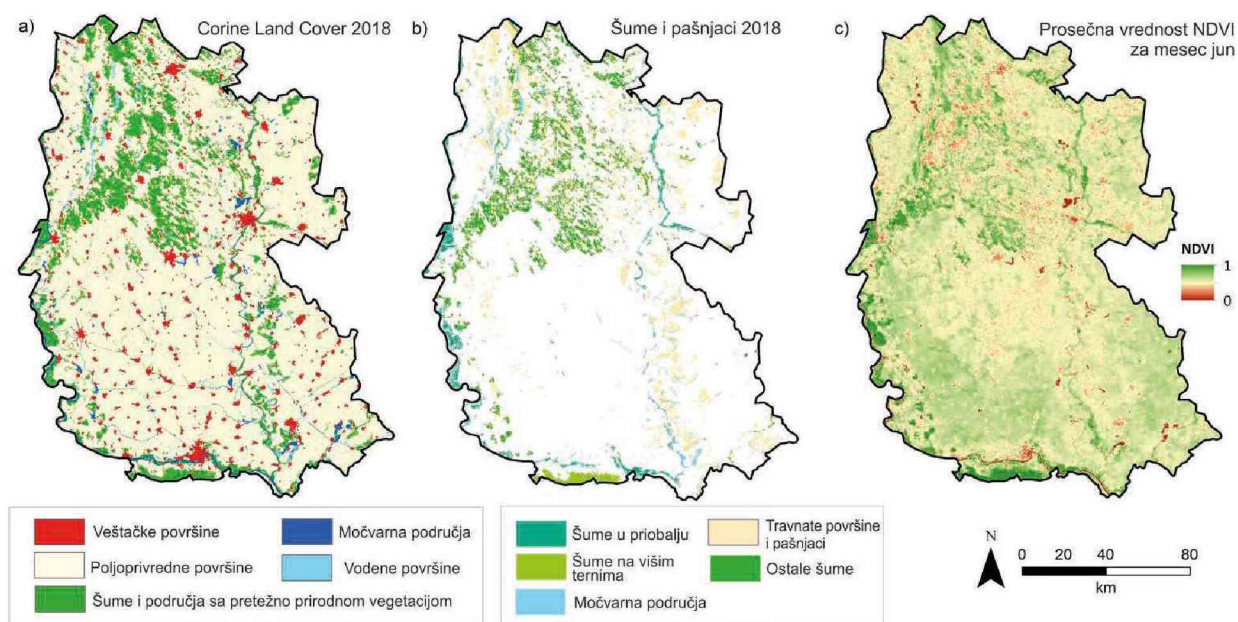
Posmatrano područje, na osnovu osetljivosti šumskih eko sistema na sušu, jedna je od naročito ugroženih regija zbog klimatskih promena. Ovde, održivo korišćenje zemljišta koje može da se adaptira klimatski promenama je usko povezano sa očuvanjem i poboljšanjem stanja šumskih ekosistema (Mátyás et al. 2010). Površine sa drvenastim rastinjem mogu koristiti vodu iz slojeva koji su bliski podzemnim vodama, pa su pogodni za analizu dogotrajne suše, dok su zeljaste biljke travnatih površina, livada i oranica osetljive na sušu koju prouzrokuje kratkotrajni nedostatak padavina.

Naši rezultati su jedinstveni za region, stoga savršeno komplementiraju prostorne rezultate onih evropskih i nacionalnih GIS sistema za praćenje suša koji proučavaju uticaje klimatskih promena u većim vremenskim i prostornim razmerima (European Drought Observation, Drought Watch, TEMRE, NATÉR).

Analizirana je produkcija biomase na poljoprivrednim zemljištima na osnovu MODIS 250 m satelitskih snimaka visoke vremenske rezolucije koristeći LUCAS bazu podataka. Parcele na kojima je uzgajan kukuruz analizirane su nekoliko godina. Takođe, sumirane su mogućnosti primene eBee X bespilotne letelice u monitoringu vegetacije visoke prostorne rezolucije.

Posmatrano područje i metode

Analizu produkcije biomase za celo posmatrano područje smo ispitivali pomoću satelitskih snimaka niske rezolucije (Slika 4.1/a.). U protekla dva veka značajne površine su privedene kulturi, tako da je na malim površinama opstala prirodna vegetacija, kao što su lesne pustare, peščare ili plavne šume. Usled pošumljavanja, na severnim delovima istraživanog područja, u Mađarskoj, postoje značajne površine pod drvenastom vegetacijom, dok u Vojvodini dominiraju poljoprivredne površine. Zbog toga što ne postoji zajednička detaljna prostorna baza podataka o prinosima useva, analize su izvršene za relativno konstantne kategorije zemljišnog pokrivača: različite tipove šumske vegetacije, livade, pašnake, močvare i vladna staništa, za period posle 2000. godine (slika 4.1/b.). Identifikacija kategorija zemljišnog pokrivača izvršena je na osnovu Corine Land Cover baze podataka razmere 1:100.000 iz 2018. godine. Na satelitskim snimcima MODIS male rezolucije sezonske promene i odstupanja mogu se razlikovati na osnovu homogenih ćelija. Zbog osetljivosti metoda daljinske detekcije na heterogenost površine trebalo je odabrati homogeno pokriveno piksele. Pikseli sa 75% homogenosti pokrivača su korišćene za monitoring šumskih površina u Mađarskoj (TEMRE), Kovács (2018) je vršio analize na osnovu piksela sa 66% homogenosti pokrivača, dok Kern. et al. (2017) su koristili piksele na kojima je zemljišni pokrivač 99% homogen. Na istraživanom području izdvojeni su pikseli MODIS snimaka sa bar 50% homogenim zemljišnim pokrivačem, odnosno površina od 6265 km² je detaljno istraživana, što predstavlja 38% od ukupnog istraživanog područja. Nakon filtriranja, analizirano je 37% površina pod livadama i pašnjacima, 70% površina pod šumama na višim terenima, oko 40% šumskih površina u nizijama i plavnim područjima, kao i 26% vodenih staništa i močvara koja su klasifikovana na osnovu CLC2018. Stepenn pokrivenosti analiziranih površina sa zeljastim odnosno drvenastim biljkama je blizu 50-50%; većina šuma su ravničarske šume (2130 km²), a manje su prisutne šume na višim terenima (200 km²).



Slika 4.1. Zemljišni pokrivač na osnovu Corine Land Cover-a (2018) (a), područja šuma, poljana, livada, pašnjaka i vodenih staništa (b), kao i mapa prosečnih vrednosti NDVI u junu (2000-2017) na posmatranom području (c)

Primena spektralnih indeksa u analizi monitoringa suše

Testirali smo četiri uobičajena spektralna indeksa; Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Enhanced Vegetation Index (EVI), Normalized Difference Water Index (NDWI) i Normalized Difference Drought Index (NDDI). Slobodno dostupni osmodnevni MODIS MVC (Maximum Value Composit) rezolucije 500 m, pikselu pridodaje reflektansu putanje koja predstavlja maksimum NDVI; $NDVI_{max}$ vrednost osmodnevnog perioda geometrijski će uvek biti tačnija. Indeksi računati na osnovu MVC pouzdaniji su u odnosu na dnevne podatke (Huete et al. 2002). Obrada snimaka MOD09A1 i proizvoda MOD13A1.006 je izvršena je na platformi Google Earth Engine.

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

$$EVI = G \cdot ((NIR - Red) / (NIR + C1 \cdot Red + C2 \cdot Blue + L))$$

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

$$NDDI = (NDVI - NDWI) / (NDVI + NDWI)$$

gde su NIR: blisko infracrvena, SWIR: kratkotalasna infracrvena, Red: crvena, Blue: plava talasna dužina; $L=1$; $C1=6$; $C2=7,5$; $G=2$.

Prema Kern et al. (2017) i Gulácsi i Kovács-u (2018) ima osnova da se istovremeno koristi više indeksa, jer savršeni indeks ne postoji. Njihova vrednost je između -1 i +1. U slučaju NDVI i EVI što je veća vrednost indeksa, tim je veća posmatrana fotosintetička aktivnost. Na biološki složenim područjima NDVI je dobar u proceni promena, ali na područjima sa mnogo biomase naginje ka zasićenosti što prouzrokuje

probleme u sačinjavanju skale. EVI je osetljiviji na visoku produkciju biomase. Bolje definisani vrh, uži opseg predstavlja prednost u eliminisanju zasićenosti i naglašenije prikazuje gubitak lišća, redukuje uticaj površine i atmosfere. Značajan deo regionalnih osmatranja zasnovan je na MODIS EVI rešenjima (Huete et al. 2002, Solano et al. 2010).

NDWI odražava sadržaj vlage u lišću biljaka, a ako se smanjuje sadržaj vlage, u SWIR opsegu dolazi do povećane refleksije. Prema rezultatima Szabó et al. (2016) NDWI ne dodaje značajnije plus vrednosti oceni na bazi NDVI, ali prema mišljenju Jackson et al. (2004) i Gu et al. (2007) u proceni sadržaja vlage NDWI se bolje pokazao. Statistička veza među ova dva indeksa ogleda se u NDDI indeksu suše koji se bazira na njima. U slučaju suše vrednosti indeksa vode se brže i u većoj meri smanjuju nego indeks vegetacije, pa pozitivno odstupanje NDDI signalizira sušu. Validacija na istraživanom području je pokazala da indeksi NDVI i NDWI daju realistične rezultate u poređenju sa meteorološkim merenjima na, dok prema drugim podacima daljinske detekcije EVI daje rezultate bliže stvarnim (Kern et al. 2017, Gulácsi i Kovács 2018, Kovács 2018).

Pored analize višegodišnjih proseka standardizovana anomalija daje stepen izloženosti sve većim hidrološkim krajnostima koje je prognozirao i Mezősi et al. (2016). Na osnovu toga se može definisati nedostatak vlage u analiziranom periodu, koja može pruzrokovati smanjenje produkcije biomase ili da vremenski pomera njenu dinamiku.

$$NDDI_{\text{standardizovan}} = (NDDI - NDDI_{\text{prosek}}) / NDDI_{\text{disperzija}}$$

Pokazatelji površine pod zeljastim pokrivačem uglavnom su konzistentni sa pojavom suše, dok šume ne pokazuju uvek sličnost sa meteorološkim anomalijama (Kern et al. 2017).

Analiza stanja vegetacije poljoprivrednih zemljišta primenom LUCAS baze podataka

Kod monitoringa poljoprivrednih useva poteškoće stvara činjenica da u regionalnim razmerama nemamo na raspolaganju prostorne podatke o različitim prinosima. Kao rešenje primenili smo MODIS-ove snimke s najvećom prostornom rezolucijom od 250 m i visoke vremenske rezolucije. Pokušali smo oceniti vrednosti krive biomase na osnovu 16-to dnevnog MVC EVI indeksa na parcelama kukuruza koje smo odredili pomoću baze podataka LUCAS, jer od svih poljoprivrednih kultura kukuruz je najosetljivija biljka na sušu. U bazi podataka sa terenskim snimanjem, koji se ažurira svake treće godine, na fotografijama određenih tačaka se registruje korišćenje zemljišta.

Odabrali smo tačke pod kukuruzom za godine 2006, 2009, 2012 i 2015. U blizini izabrane tačke nema drugačijeg korišćenja zemljišta, pa indeks vegetacije odražava stvarne okolnosti za kukuruz. Krive produkcije biomase po tačkama klasifikovali smo prema prostoru i vremenu po pojedinim godinama i glavnim vrstama predela.

Prema Palfajjevom indeksu suše (PAI) od posmatranih 4 godina, 2006. godina je bila s mnogo padavina ($PAI_{\text{Segedin}}=4.25$), dok godine 2009. ($PAI_{\text{Segedin}}=8.26$), 2012. ($PAI_{\text{Segedin}}=13.97$) i 2015. ($PAI_{\text{Segedin}}=10.10$) mogu se smatrati sušnim godinama. Prostornu analizu smo vršili za 4 različite regije (Bačka, Istočno od Tise, Podunavlje, prostor između Dunava i Tise), kako bi smo na područjima sa različitim prirodno-geografskim karakteristikama analizirali prostorne promene posledice suše.

Mogućnost monitoringa vegetacije veoma velike rezolucije

Za analizu na nivou parcela važno je prikupiti podataka velike prostorne rezolucije, što nam u istraživanjima omogućio dron sa fiksnim krilima senseFly eBee X upotrebom senzora za vidljivu svetlost S.O.D.A. i senzor za infracrveni opseg Parrot Sequoia+. Primenjena rezolucija od 8 cm daje mogućnost za detaljan monitoring vegetacije, čak i na površinama od 20-30 km². U proleće 2019. se stvorila mogućnost za analizu uticaja sušnog perioda na parcelama pod pšenicom.

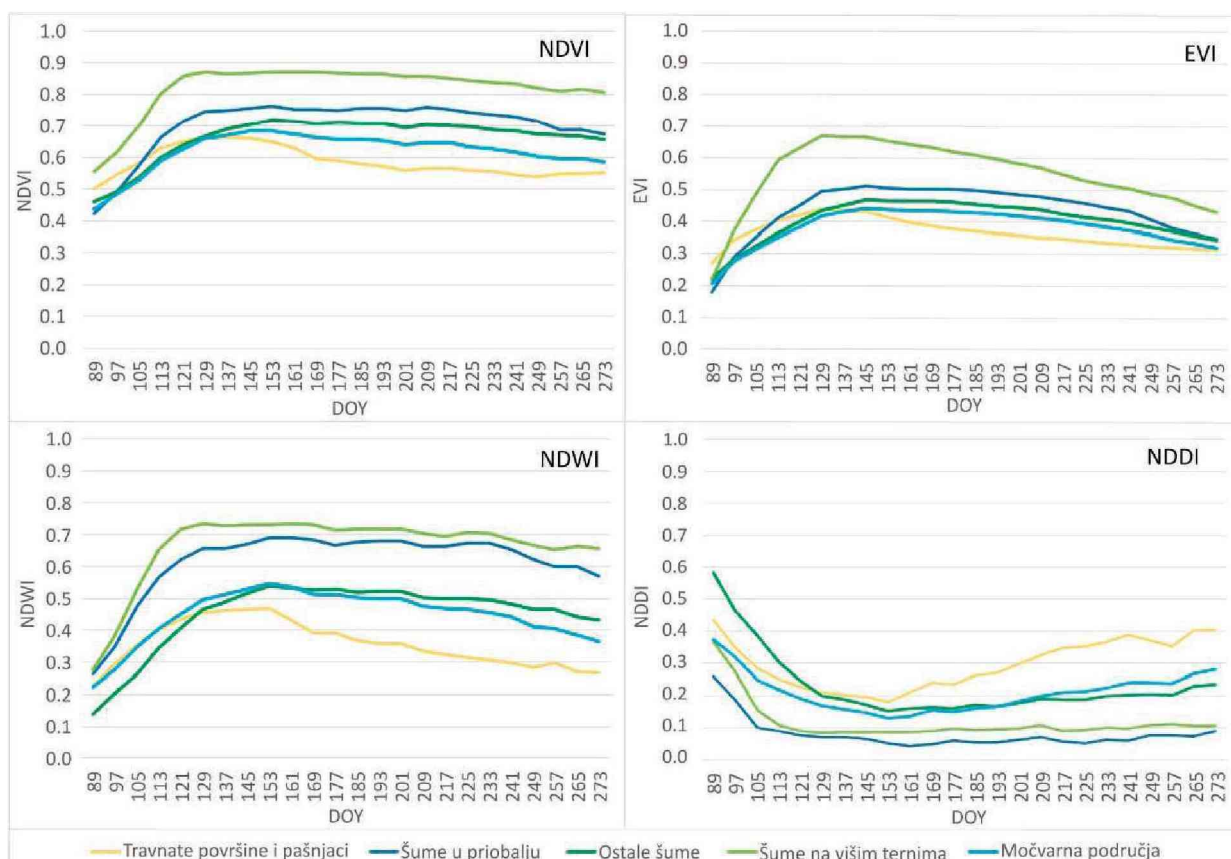
Rezultati

Prostorna i vremenska analiza primenljivosti podataka o vegetacionim indeksima dugog vremenskog niza u monitoringu suše

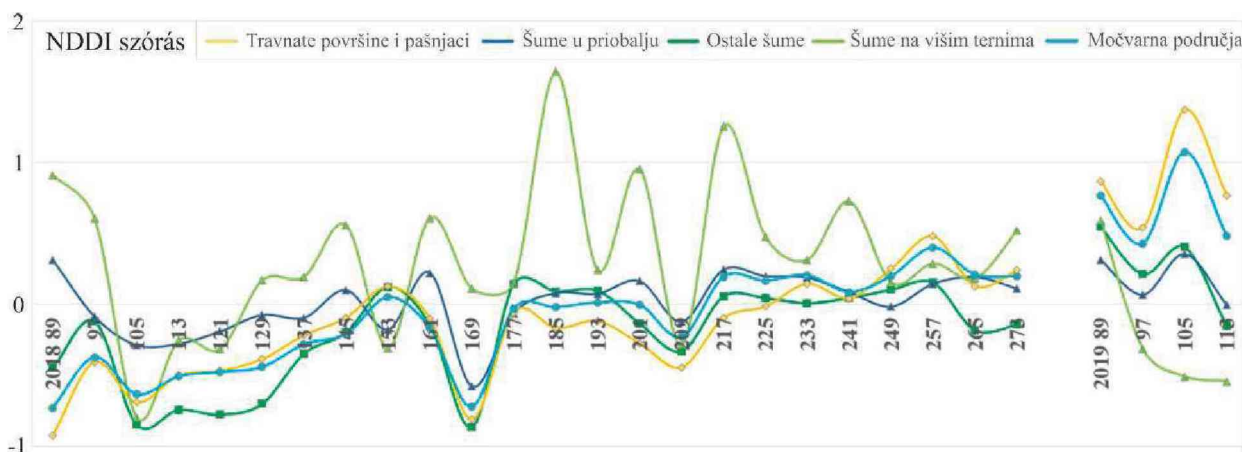
Dugogodišnje prosečne vrednosti indeksa suše između 2000. i 2017. potvrđuju ispravnost razgraničavanja šuma, poljana, livada, pašnjaka i vodenih staništa, odnosno opravdanost uzimanja u obzir sva četiri indeksa (slika 4.2.). Između NDVI i EVI uzetih po sličnom principu isto su velike razlike. U skladu sa očekivanjima kod šuma na višim terenima (Fruška Gora) je najobimnija, a u velikom delu godine kod zeljastog bilja je najniža produkcija bio mase. EVI bolje prati godišnje promene produkcije bio mase, dok kod NDVI nakon stvaranja letnje krošnje, veoma velike vrednosti mediana u preostalom delu vegetacionog perioda jedva se smanjuju. Najintenzivnije promene se odvijaju u prolećnom rastu vegetacije, kada su EVI/NDVI medijane do sredine maja rasle i za 0,1 u periodu od 16 dana.

Vrste površinskog pokrivača najbolje možemo razgraničavati na osnovu NDWI. Tok krive pokazuje osetljivu sliku na spoljne uticaje. Visoki NDDI pretpostavlja sušu, što je važno kod tumačenja nižih vrednosti; shodno tome plavne šume koje nisu pogođene sušom imaju najniže prosečne vrednosti NDDI.

Standardnom NDDI anomalijom jednoznačno se mogu razgraničiti ekstremna, sušom izazvana stanja vegetacije, pa tako prostornom analizom 2018-2019. omogućile su evaluaciju geografskih posledica sve češćih i sve izraženijih sušnih pojava (slika 4.3.).



Slika 4.2. Kretanje prosečnih vrednosti spektralnih indeksa između 2000. i 2017. u letnjem polugodištu za osmodnevne kompozitne slike (na X osi se nalaze dati dan u godini – DOY)



Slika 4.3. Prosečne anomalije standardizovane vrednosti NDDI računate za periode 03.30.-10.07.2018. i 30.03.-30.04.2019

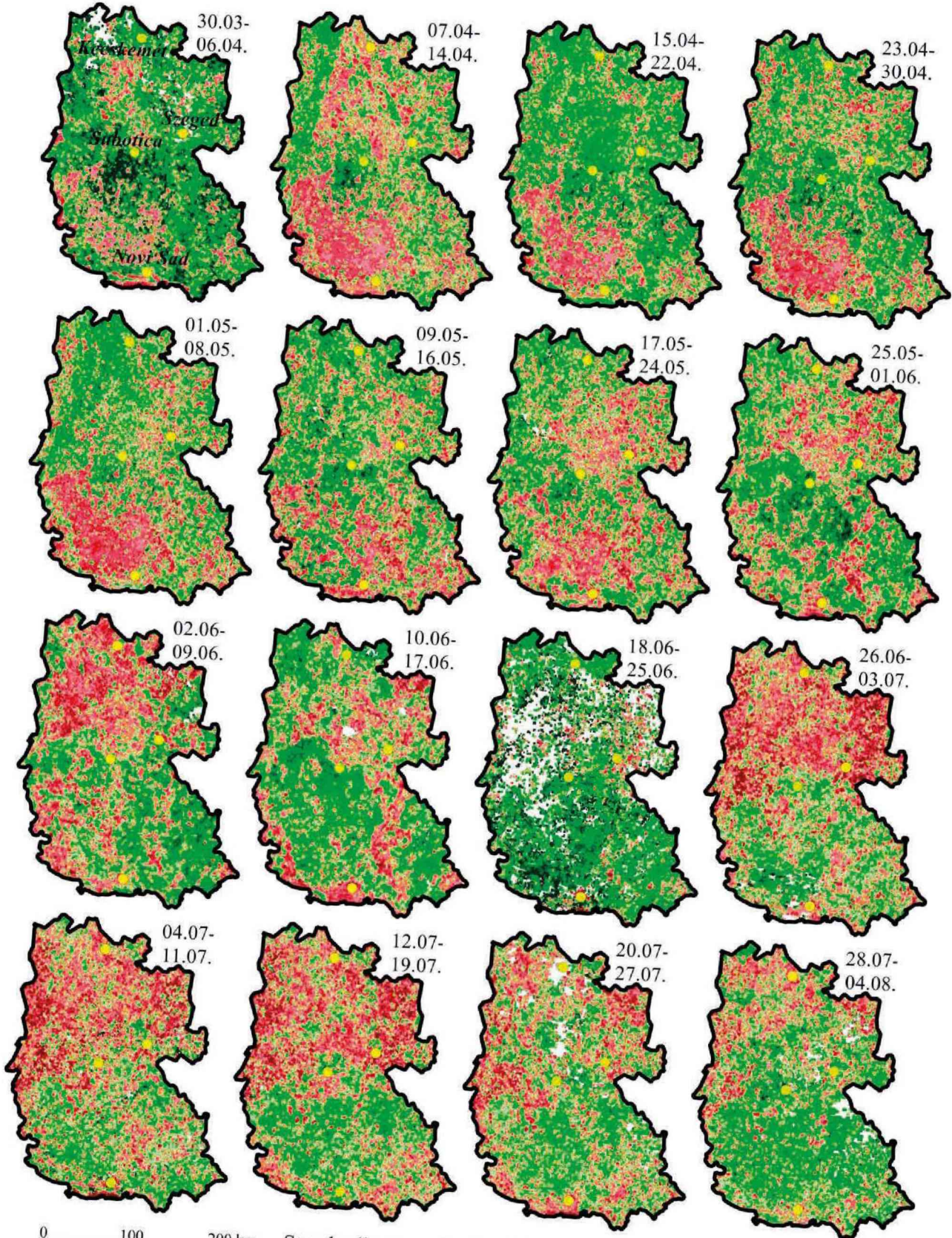
Kod NDDI devijacije opseg iznad vrednosti 1 označava sušu. Ako se prosek približi ovoj vrednosti ili je pređe, na posmatranoj lokaciji se najčešće mogu primetiti uslovi suše. 2018. samo su kod šuma na višim terenima devijacije bile blizu ili iznad 1, ali zahvaljujući padavinama i temperaturi to stanje nije bilo neprekidno, pa ne možemo govoriti o značajnoj suši. U proleće 2019. devijacija je neprekidno iznad 0,5 kod poljana/livada/pašnjaka i na vodenim staništima, što nije dobar znak pred leto.

Iznenadne, velike promene (NDDI devijacija >2) se mogu javiti kod prostorne raspodele, što prvenstveno pretpostavlja antropogene uticaje (slika 4.4.).

Kod krivulja prosečne devijacije u toku godine za pojedine tipove zemljišnog pokrivača uočljive su razlike vrednosti indeksa kod šuma na višim terenima, što u više od polovine posmatranog perioda ili karakteristično pokazuje veće vrednosti od ostalih pokrivača, ili su njima dijametralno suprotne. Šume na višim terenima se nalaze isključivo južno od Novog Sada, na području Fruške Gore, dakle više od svih površina ravnice, uz to na najjužnijoj granici posmatranog područja, što možda odražava sve izraženije klimatske promene ka jugu. U pogledu NDDI devijacija posmatranih površina, razlike su karakteristične za prolećne periode, odnosno uticaji na fotosintezu i na sadržaj vlage u tim periodima se razlikuju najviše. Oblik krivulja vodenih staništa i poljana/livada/pašnjaka se retko razlikuje.

Na klimatski relativno homogenom području, koje je tema naših analiza kroz geografske uticaje mogu se izraziti lokalne/regionalne razlike. U više perioda se veoma dobro može razlikovati ravničarski deo između Dunava i Tise, ili niži predeli Bačke. Na delu područja u Mađarskoj od 26.06.2018. – izuzev jednog-dva perioda – stalno preovlađuju područja sa pozitivnim NDDI razlikama. Na čitavom posmatranom području je karakteristična suša između 6. i 21. septembra, a to se odnosi i na podatke iz aprila 2019. Analize na bazi piksela bolje odražavaju lokalni karakter od analiza putem prosečnih vrednosti. Tako i u periodima sa povoljnim prosečnim vrednostima nalazimo nepovoljne, sušne površine. U ravničarskim šumama, koje se nalaze skoro isključivo na prostoru između Dunava i Tise od juna 2018. do kraja aprila 2019. mogu se odrediti pikseli koje pokazuju skoro neprekidno pozitivne NDDI razlike.

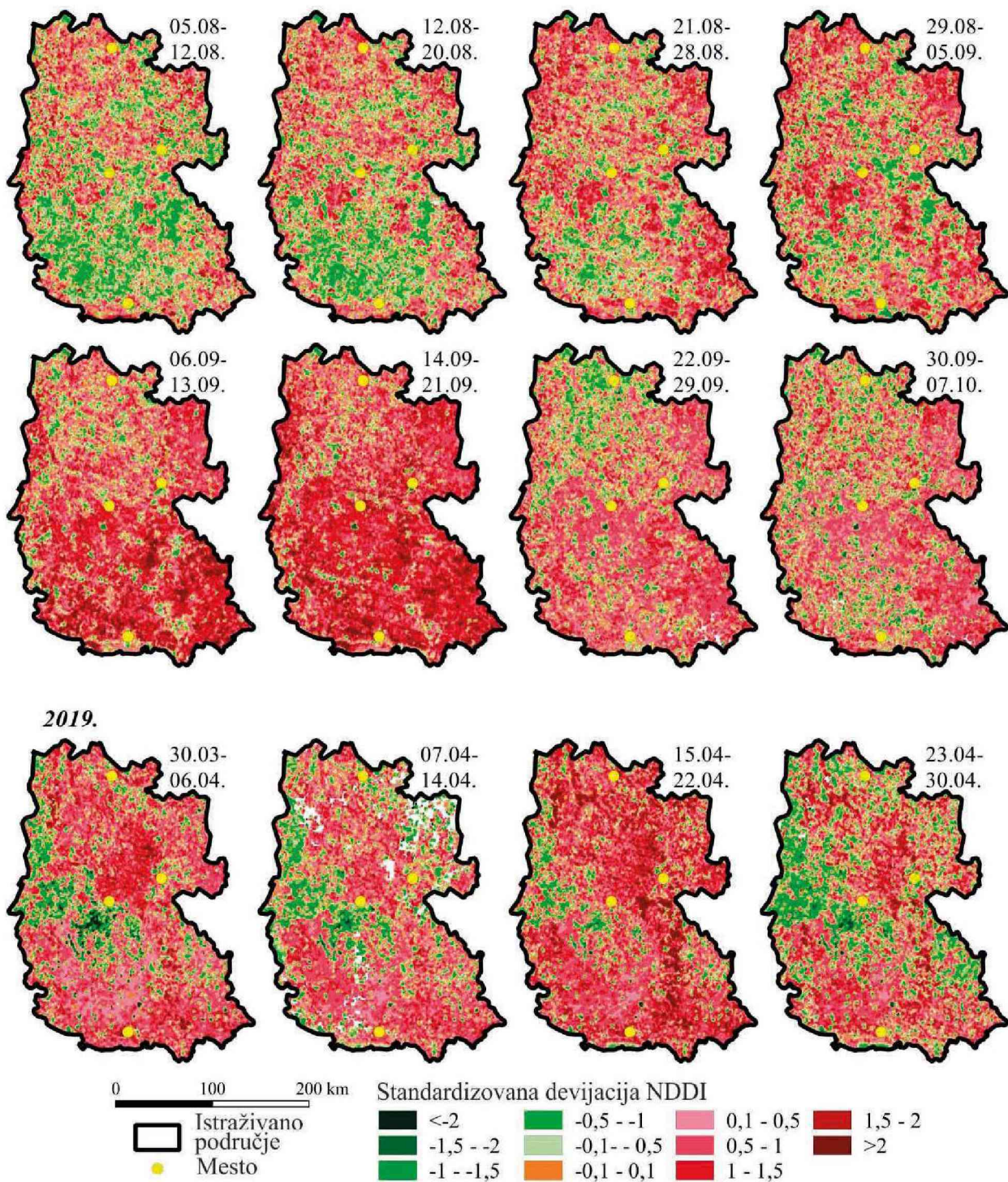
2018



0 100 200 km
 Istraživano područje
 Mesto

Standardizovana devijacija NDDI

<-2	-0,5 - -1	0,1 - 0,5	1,5 - 2
-1,5 - -2	-0,1 - -0,5	0,5 - 1	>2
-1 - -1,5	-0,1 - 0,1	1 - 1,5	

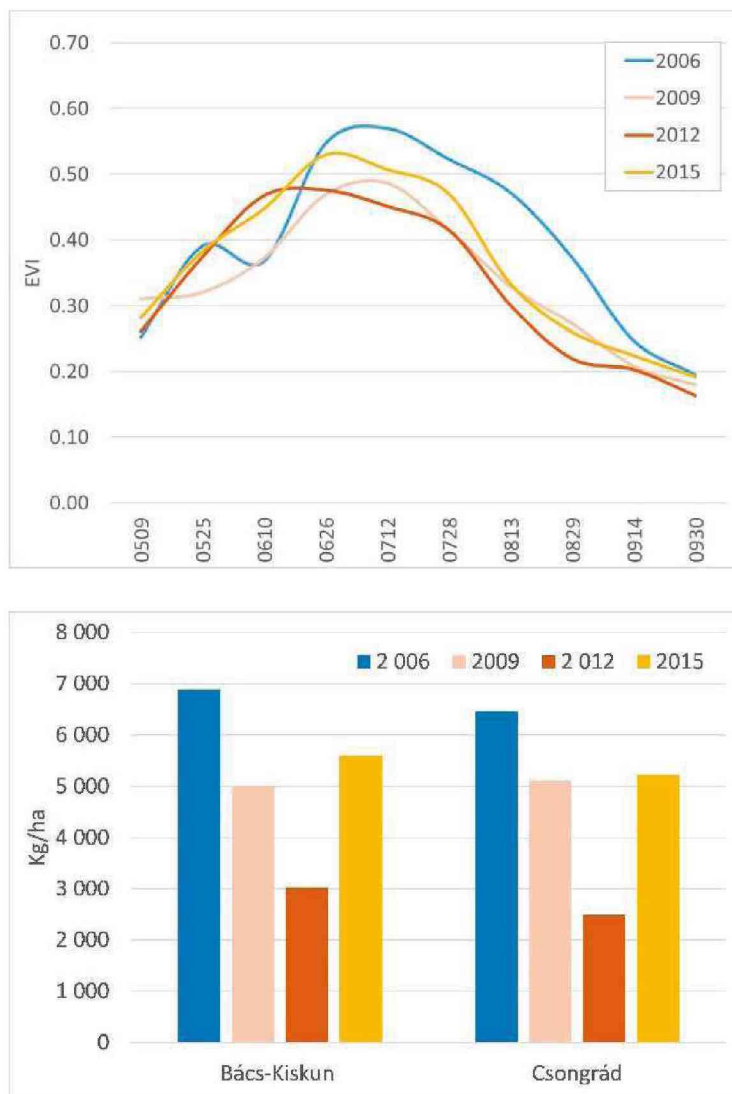


Slika 4.4. Prostorna analiza standardizovane NDDI 2018. i 2019.

Prostorne i vremenske promene stanja poljoprivrednih zemljišta

U analiziranom periodu, 2006. godina – sa mnogo padavina – pokazuje najveće EVI vrednosti. Istini za volju, u prosečnim vrednostima s početka juna mesečne padavine u maju i junu, od preko 100 mm (i nastale unutrašnje vode), dovele su do opadanja. Kriva EVI-ja za 2009. i 2012. veoma dobro pokazuju uticaj suše: za period maj-juni

2009. godine u odnosu na ostale godine kasnije je počeo rast EVI i tek u julu je dostigla nisku vršnu vrednost, dok je 2012. godine posle početnog naglog rasta, sledio period sa najnižim vrednostima. Ove krive anomalije EVI mogu se dobro uporediti sa prosečnim prinosima na posmatranom području (slika 4.5.). U obe županije, 2006. su bili najviši prosečni prinosi, a 2012. bili su najniži.

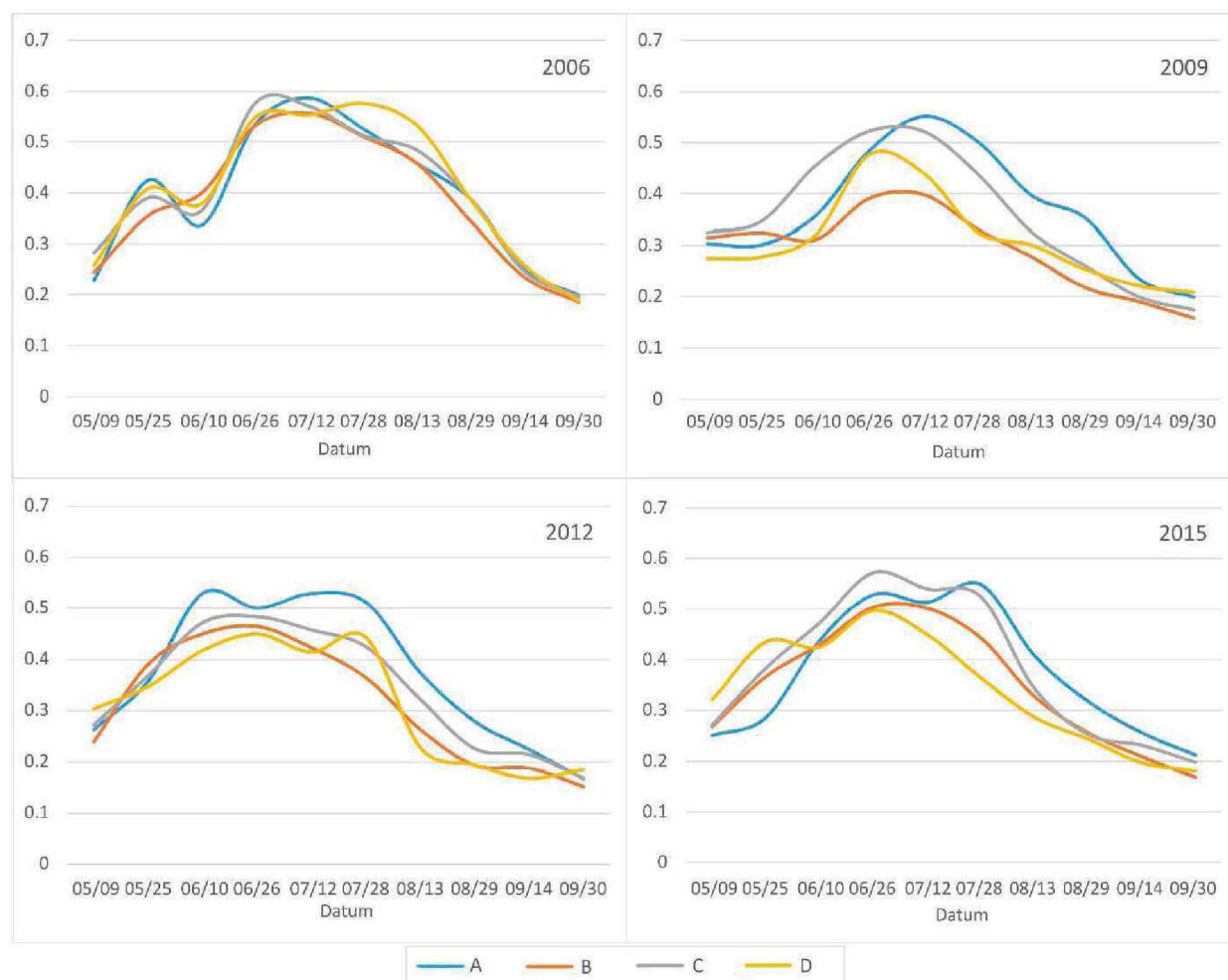


Slika 4.5. Prosečne vrednosti EVI analiziranih parcela kukuruza na osnovu 16-to dnevnih MODIS MVC snimaka u analiziranim godinama (a), Prosečni prinosi kukuruza u posmatranim godinama u županiji Čongrad i Bač-Kiškun (b)

Krive biomase 2006. su veoma ujednačene zahvaljujući povoljnim padavinama (slika 4.6.). Ovde se vidi na najbolji način sazrevanje kukuruza u junu-avgustu; najviše vrednosti srećemo na području između Dunava i Tise. Nasuprot tome vrednosti EVI najveće razlike pokazuju 2009.; najniže prosečne vrednosti nalazima na prostoru istočno od Tise, dok krive koje se odnose na područje Bačke su ujednačene. Usled uticaja suše vrednosti sa područja istočno Tise i između Dunava i Tise u upoređenju sa 2006. pokazuju smanjenje za 50%. Pri analizi prostornih razlika u sušnim godinama na EVI krivi iz 2015. maksimum se može videti tek krajem juna/početkom

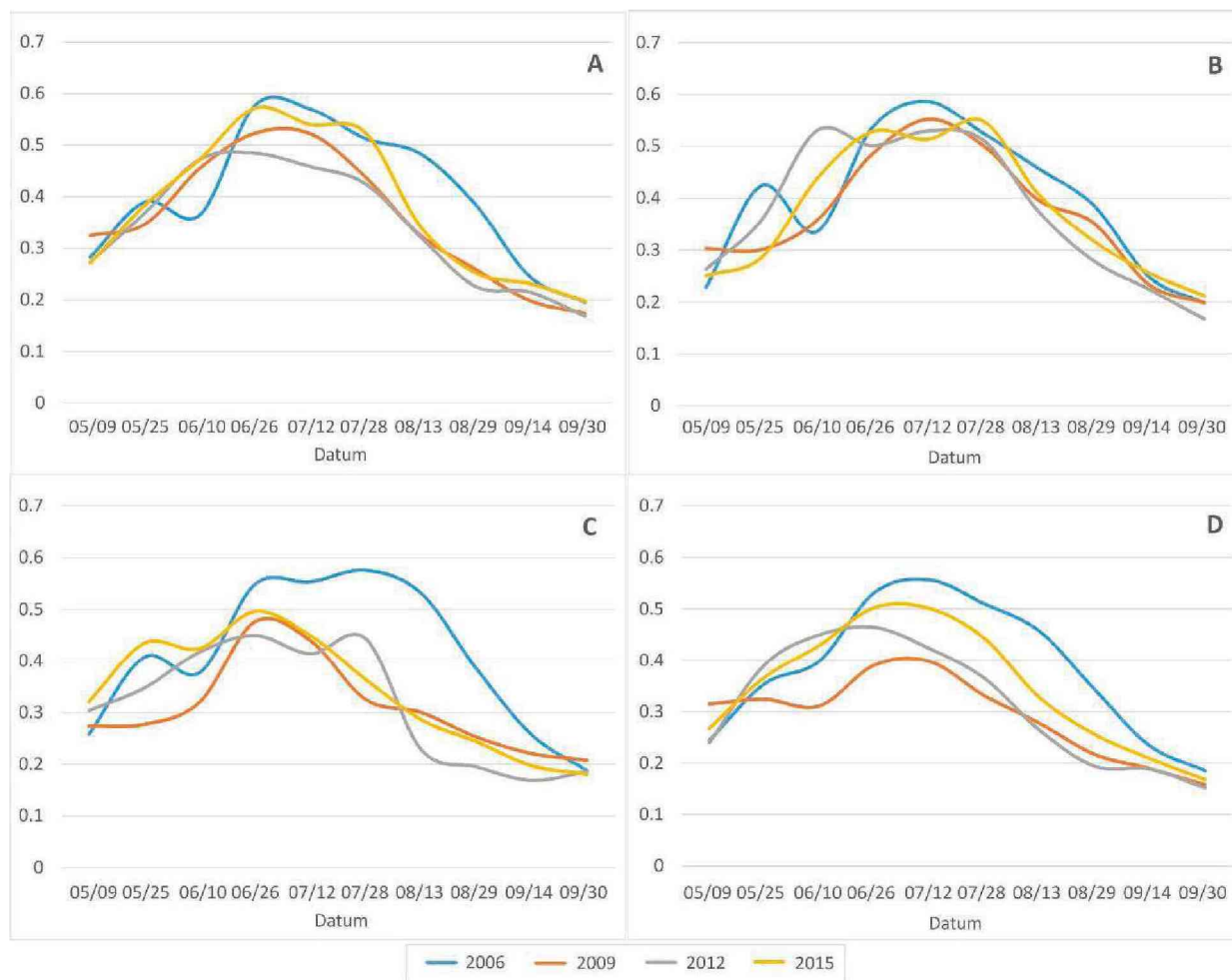
jula, dok od početka juna 2012. na svim posmatranim područjima smanjuje se vrednost EVI. Na krivama iz zadnje dve godine vidljivi sekundarni (kasniji) maksimumi se mogu vezati potpunom sazrevanju kukuruza, čemu u osnovi pogoduje suvo, toplo vreme, ali u tim godinama treba računati sa nedostatkom padavina u proleće/rano leto. 2012. i 2015. suša je bila podjednako intenzivna. No 2012-toj godini prethodila je 2011., veoma topla i suva godina, dok godinu dana pre 2015., dakle 2014. nije bilo suše. To je moglo prouzrokovati razlike i više vrednosti u Bačkoj i na području istočno Tise. U godinama sa najlošijim prosečnim prinosima (2009, 2012) najmanju, odnosno drugu najmanju produkciju biomase primetili smo na parcelama na području između Dunava i Tise, tako da u budućnosti treba obratiti pažnju na proizvodnju kukuruza u tom regionu.

Nagle promene prosečnih vrednosti EVI upućuju na vegetaciju koja brzo reaguje na promene uslova životne sredine i na antropogene uticaje. Na primer, pojava unutrašnjih suvišnih voda 2006. godine, pad vrednosti EVI 2012. godine na području između Dunava i Tise i 2015. godine u Bačkoj usled žetve useva, ili naglo povećanje vrednosti zbog povoljnih meteoroloških uslova krajem 2012. godine na području između Dunava i Tise 2015. u Podunavlju.



Slika 4.6. Krive biomase 16-to dnevnih kompozitnih EVI indeksa za analizirane godine za tačke koje se odnose na parcele pod kukuruzom iz baze podataka LUCAS u županijama Čongrad i Bač-Kiškun

Razlike kriva EVI su najmanje u Bačkoj i u Podunavlju. (slika 4.7.). Male razlike se mogu povezati sa karakteristikama zemljišta (veliko zadržavanje vode) i povoljnim uslovima vodosnabdevanja. Nije čudo što je najznačajniji pad u Podunavlju usled padavina početkom juna 2006. zbog blizine podzemnih voda i zemljišta sa svojstvima zadržavanja vode. Anomalije u vidu negativne produkcije biomase mogu prouzrokovati ne samo suša već i prisustvo prekomernih količina vode. Područje između Dunava i Tise je veoma izloženo suši, kao rezultat postojanja značajnih površina peskovitih zemljišta sa lošim režimom voda i uz niske nivoe podzemnih voda, međutim 2006. godine zabeležene visoke vrednosti EVI. Pored područja između Dunava i Tise, EVI krive za područje istočno od Tise pokazuju najznačajnija godišnja odstupanja.

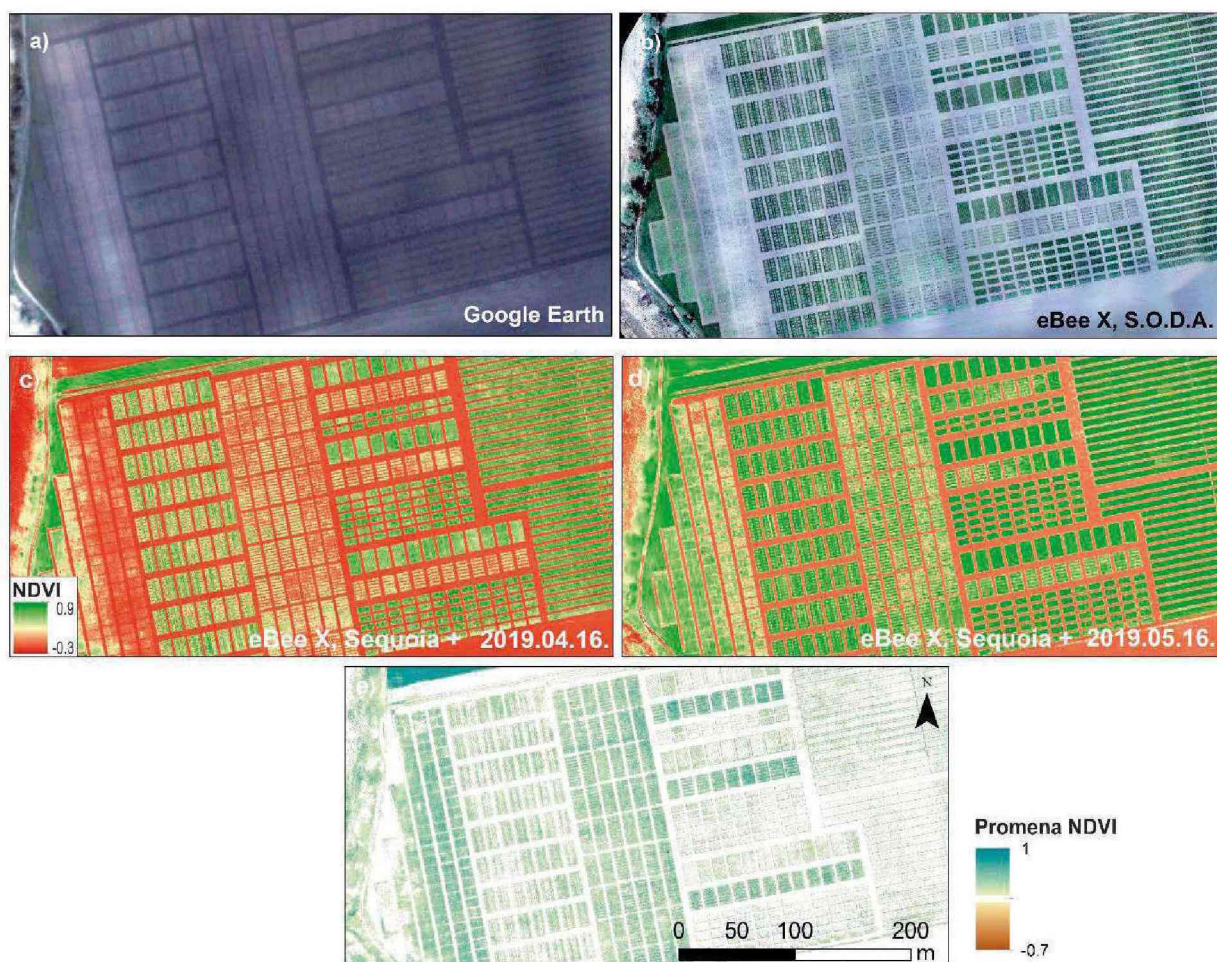


Slika 4.7. Krive biomase na osnovu 16-to dnevnih kompozitnih EVI indeksa prema vrstama zemljišta za parcele pod kukuruzom iz baze podataka LUCAS

Analiza mogućnosti monitoringa vegetacije pomoću dronova velike rezolucije

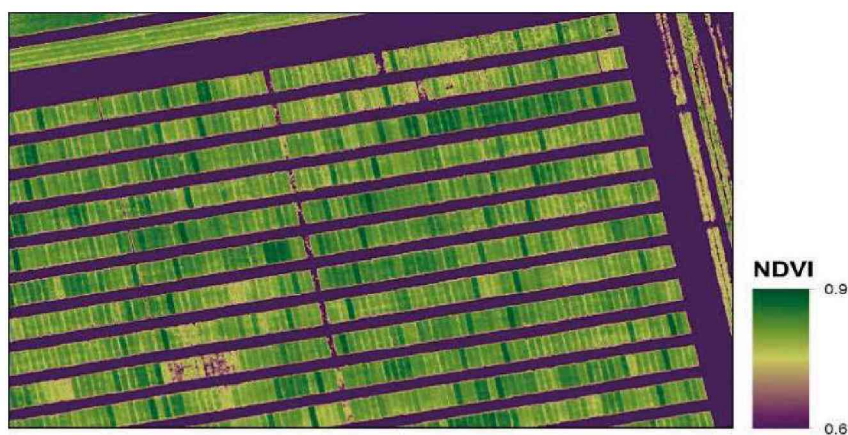
Na ortofoto snimcima snimljenim 16. aprila 2019. dobro se vide prostorne razlike na parcelama pod ozimom pšenicom (slika 4.8b, c). Homogenost zelenih pojaseva na rubnim područjima može se zahvaliti tome što je zasejana ista sorta na velikoj

površini u odnosu na druge parcele, što povećava sposobnost poljoprivredne kulture za potiskivanje korova. Jedan od razloga prostornih anomalija NDVI je razlika vrste zemljišta koja se dobro vidi na satelitskom snimku iz marta (slika 4.8a.), a drugi razlog je heterogeni razmeštaj vrste korova. Korovi i poljoprivredni usevi se lako mogu razlikovati na RGB snimcima. Na RGB snimku uzdužne zone sa svetlijim bojama koje označavaju fizička svojstva zemljišta u osnovi manje su izražene za vreme suše. Prema slici (4.8c, d, e) padavine u maju su dovele do znatnog razvoja vegetacije i još više se razdvajaju produkti različitih sorti.



Slika 4.8. Snimci parcela sa ozimom pšenicom u okolini Segedina a) satelitski snimak GeoEye (GoogleEarth) 14. 03. 2019.; b) RGB snimak dronom eBee X 16. 04. 2019., senseFly S.O.D.A; c) NDVI snimak drona eBee X 16. 04. 2019., Parrot Sequoia+; d) snimak NDVI drona eBee: 16. 05. 2019. e) NDVI promene između 16. 04. i 16. 05.

Ekstremi u vodosnabdevanju i vremenski uslovi takođe ograničavaju istraživanje - snimanje. Na početku godine velika brzina vetrova često je ograničavala snimanje, a zbog niske vlažnosti zemljišta mnogo kasnije je krenulo klijanje. U majskom periodu sa mnogo padavina i oblačnosti je predstavljala problem monitoringa. Istraživanje je rađeno na eksperimentalnim parcelama, gde su se negativni uticaji zona sa različitim tipovima zemljišta na različite vrste useva smanjivali ponavljajućim randomiziranim ili fiksnim metodama setve useva, tako da se parcele sa određenim tipom useva ponavljaju u različitim delovima eksperimentalnog polja (slika 4.9).



Slika 4.9. Ponavljanje sorti u severoistočnom bloku ogleda

Zaključak

U našoj analizi monitoringa u maloj i velikoj prostornoj i vremenskoj rezoluciji dobili smo rezultate za razne vidove korišćenja zemljišta. Podaci su pažljivo prethodno obrađeni, i napravljene su analize u regionalnoj razmeri primenjujući piksele sa homogenim pokrivačem zemljišta. Razlike u primenjenim spektralnim indeksima opravdavaju upotrebu sve četiri vrste indeksa.

Temeljne razlike karakterišu proizvodnju biomase parcela sa različitim vegetacijama, što ukazuje na složene procese čak i unutar ovog jedinog faktora koji formira pejzaž. Prema klimatološkim prognozama, u bliskoj budućnosti proces zagrevanja će se nastaviti, a ekstremno suvi, sušni periodi postaće sve češći. Shodno tome, vrlo je verovatno da će sadašnje smanjenje proizvodnje biomase produžiti. Promenljivost indeksa ukazuje na brze reakcije vegetacije na različite uticaje okoline. Posledice ekstremno sušnih godina ili perioda mogu se proceniti pažljivom analizom odstupanja u vegetaciji primenom statistike i prostorne analize. Na taj način poljoprivrednici bi mogli dobiti podršku u preduzimanju preventivnih mera. Naši rezultati su takođe pokazali da postoje ograničenja za uzgoj kukuruza na području između Dunava i Tise.

Zbog složenosti procesa, u istraživanju aridifikacije je preporučljivo formulirati zaključke bazirane na praktičnim istraživanjima. Dalji cilj studija monitoringa je iskoristiti statističke mogućnosti u rastućem nizu podataka. Da bismo bolje razumeli funkcije vegetacije, trebalo bi da otkrijemo njen odnos sa vremenskim prilikama i karakteristikama zemljišta, čak i na nivou parcela.

Metodologije primenjene u studiji, bazirane na tehnologijama daljinske detekcije, mogu da daju dobre rezultate u stvaranju operativnih i automatizovanih rešenja za detekciju promena u blisko realnom vremenu.