



UNIVERZITET U NOVOM SADU
POLJOPRIVREDNI FAKULTET



**PRISTUP MONITORINGU POLJOPRIVREDNE SUŠE NA PODRUČJU
VOJVODINE BAZIRAN NA STANDARDIZOVANOM INDEKSU
PADAVINA I EVAPOTRANSPIRACIJE**

Doktorska disertacija

Mentori:

Doc. dr Boško D. Blagojević

Prof. dr Minučer Mesaroš

Kandidat:

Jovana Bezdan, mast. inž.

Novi Sad, 2019. godine

**UNIVERZITET U NOVOM SADU
POLJOPRIVREDNI FAKULTET**

Ključna dokumentacijska informacija

Redni broj: RBR	
Identifikacioni broj: IBR	
Tip dokumentacije: TD	Monografska dokumentacija
Tip zapisa: TZ	Tekstualni štampani materijal
Vrsta rada (dipl., mag., dokt.): VR	Doktorska disertacija
Ime i prezime autora: AU	Jovana Bezdán, dipl. inž. – master
Mentor (titula, ime, prezime, zvanje): MN	dr Boško Blagojević, docent dr Minučer Mesaroš, vanredni profesor
Naslov rada: NR	Pristup monitoringu poljoprivredne suše na području Vojvodine baziran na Standardizovanom Indeksu Padavina i Evapotranspiracije
Jezik publikacije: JP	Srpski
Jezik izvoda: JI	Srpski / Engleski
Zemlja publikovanja: ZP	Republika Srbija
Uže geografsko područje: UGP	AP Vojvodina
Godina: GO	2019.
Izdavač: IZ	autorski reprint
Mesto i adresa: MA	21000 Novi Sad, Poljoprivredni fakultet, Trg D. Obradovića 8
Fizički opis rada: FO	9 poglavlja / 192 strane / 32 tabele / 97 slika / 400 navoda literature
Naučna oblast: NO	Biotehničke nauke

Naučna disciplina:
ND

Predmetna odrednica, ključne reči:
PO

UDK

Čuva se:
ČU

Važna napomena:
VN

Uređenje, zaštita i korišćenje voda

Suša, indeks suše, poljoprivreda, usevi, SPEI,
AHP

551.577.38(043.3)

Biblioteka poljoprivrednog fakulteta
Novi Sad

Nema

Izvod:

IZ

U ovoj disertaciji je definisan i predstavljen pristup monitoringu poljoprivredne suše (SPEI-based approach to agricultural drought monitoring - ADM-SPEI) u Vojvodini koji objedinjuje više poznatih i priznatih metoda i kritičko mišljenje eksperata zasnovano na njihovom znanju i iskustvu i pri tome uzima u obzir lokalne specifičnosti agroklimatskih uslova. Iako je kreiran za područje Vojvodine, predloženi pristup monitoringu poljoprivredne suše baziran na SPEI indeksu opisan je generalno kroz tri faze i pripadajuće korake koji su detaljno opisani i objašnjeni što omogućava da se ADM- SPEI pristup modifikuje i primeni u bilo kojim drugim agroklimatskim uslovima. Predstavljani pristup baziran je na modifikovanom i široko prihvaćenom i korišćenom Standardizovanom Indeksu Padavina i Evapotranspiracije (SPEI). Ovom modifikacijom SPEI je povezan sa specifičnom kulturom što omogućava da se suša, odnosno uslovi vlažnosti analiziraju individualno za specifičnu ratarsku ili povrtarsku kulturu u agroklimatskim uslovima Vojvodine. Kreiranju pristupa monitoringu poljoprivredne suše prethodilo je istraživanje koje se tiče uticaja referentne evapotranspiracije (ET_0) na rezultate SPEI indeksa kako bi se potvrdila polazna pretpostavka da različiti metodi za izračunavanje ET_0 u okviru SPEI indeksa daju u nekim slučajevima značajno različite vrednosti indeksa na području Vojvodine. Iz navedenih razloga je važno koristiti metod koji najviše odgovara specifičnom području od interesa. Modifikacija SPEI indeksa, odnosno zamena ET_0 sa ET_c (potencijalnom evapotranspiracijom kulture) izvršena je uključivanjem ekspertskog mišljenja odnosno intervjuisanjem više stručnjaka različitih ekspertiza iz domena korišćenja i upravljanja vodama u poljoprivredi što je omogućilo da se dođe do grupne odluke koja u najvećoj meri reprezentuje lokalne agroklimatske prilike. U tu svrhu upotrebljen je Analitički Hijerarhijski Proces (AHP metod) kao podrška odlučivanju kako bi se dobile individualne odluke stručnjaka i da bi se u narednom koraku dobila jedna grupna odluka o najpogodnijem metodu za izračunavanje ET_0 , odnosno ET_c . U narednoj fazi predloženog pristupa, prateći dalju proceduru originalnog SPEI indeksa izračunati su klimatski vodni bilansi kultura. Analizom su obuhvaćeni podaci sa devet meteoroloških stanica na području Vojvodine, kao i jedanaest ratarskih i povrtarskih kultura. Zatim je statističkim metodama odabrana odgovarajuća teorijska distribucija za koju je potvrđeno najbolje slaganje sa empirijskim vrednostima klimatskog vodnog bilansa kultura i u narednom koraku dobijen modifikovani SPEI povezan sa specifičnom kulturom (agricultural drought SPEI - AD-SPEI_{crop}). Pristup omogućava i direktnu transformaciju indeksa u vrednosti klimatskog vodnog bilansa kulture, odražavajući potrebe useva za vodom. Sagledavanjem suše i sa tog aspekta omogućava analizu mogućnosti sistema za navodnjavanje u borbi protiv suše. U sledećoj fazi izvršena je validacija predloženog pristupa sa više različitih aspekata koji podrazumevaju: ispitivanje povezanosti indeksa sa prinosima kultura, kako na lokalnom nivou opština tako i na nivou cele teritorije Vojvodine; poređenje stepena slaganja sa prinosima kultura u odnosu na originalni indeks SPEI; komparaciju sa opšte priznatim i prihvaćenim indeksima suše (SPI, SPEI i SC-PDSI); i povratnu informaciju od strane eksperata. Bazirajući se na dobijenim rezultatima u fazi validacije može se zaključiti da predloženi pristup monitoringu poljoprivredne suše na području Vojvodine baziran na SPEI indeksu može biti uspešno primenjen i sa dobrim performansama, odnosno da indeks AD-SPEI_{crop}, dobijen kao rezultat ovog pristupa, predstavlja adekvatan pokazatelj poljoprivredne suše na području Vojvodine.

Datum prihvatanja teme od strane
Senata:
DP

12.07.2018.

Datum odbrane:
DO

Članovi komisije:
KO

Dr Borivoj Pejić, redovni profesor
n.o. Ratarstvo i povrtarstvo,
Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, predsednik

Dr Boško Blagojević, docent
n.o. Uređenje, zaštita i korišćenje voda,
Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, mentor

Dr Minučer Mesaroš, vanredni profesor
n.o. Društvena geografija,
Prirodno-matematički fakultet, Novi Sad, mentor

Dr Dragoslav Pavić, redovni profesor
n.o. Fizička geografija,
Prirodno-matematički fakultet, Novi Sad, član

Dr Milica Vranešević, docent
n.o. Uređenje, zaštita i korišćenje voda,
Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, član

**UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OF AGRICULTURE
Key word documentation**

Accession number: ANO	
Identification number: INO	
Document type: DT	Monograph documentation
Type of record: TR	Textual printed material
Contents code: CC	PhD thesis
Author: AU	Jovana Bezdan, M.Sc.
Mentor: MN	Boško Blagojević, PhD, Assistant Professor Minučer Mesaroš, PhD, Associate Professor
Title: TI	Standardized Precipitation Evapotranspiration Based Approach to Agricultural Drought Monitoring in Vojvodina Region
Language of text: LT	Serbian
Language of abstract: LA	Serbian / English
Country of publication: CP	Republic of Serbia
Locality of publication: LP	AP Vojvodina
Publication year: PY	2019.
Publisher: PU	Author's reprint
Publication place: PP	Novi Sad, Faculty of Agriculture, Trg D. Obradovica 8
Physical description: PD	9 chapters / 192 pages / 32 tables / 97 figures / 400 references
Scientific field SF	Biotechnology
Scientific discipline SD	Water Resources Management
Subject, Key words SKW UC	Drought, drought index, agriculture, crop, SPEI, AHP 551.577.38(043.3)

Holding data:

HD

Note:

N

Library of the Faculty of Agriculture of the
University of Novi Sad

None

Abstract:

AB

In the doctoral dissertation, the SPEI-based approach to agricultural drought monitoring (ADM-SPEI) in Vojvodina has been defined and presented. While integrating several well-known and recognized methods and experts' critical opinion based on their knowledge and experience, ADM-SPEI takes into account local specificities of agro-climatic conditions. Although it was created for the Vojvodina region, the proposed approach to agricultural drought monitoring based on the SPEI index has been described in three phases alongside the corresponding steps, for which a detailed description and explanation have also been provided. This allows for the ADM-SPEI approach to be modified and applied in any other agro-climatic conditions. The presented approach is based on the modified and widely accepted and used Standardized Precipitation and Evapotranspiration Index (SPEI). The modification enables relating the SPEI to a specific crop, thereby ensuring the possibility for the analysis of drought or moisture conditions separately for specific field or vegetable crops in the agro-climatic conditions of Vojvodina. The creation of the approach to agricultural drought monitoring was preceded by the research of the impact of reference evapotranspiration (ET_0) on the results of the SPEI index. The aim of the research was to confirm the initial assumption that different methods for calculating ET_0 within the SPEI index give in some cases significantly different index values in the Vojvodina region. For these reasons, it is important to use the most appropriate method for the specific area of interest. Carrying out the modification of the SPEI index, i.e., the replacement of the ET_0 with the ET_c (potential crop evapotranspiration) included the involvement of experts' opinions by interviewing experts of various expertise in the domain of water use and water management in agriculture. This led to making a group decision representing the local agro-climatic conditions. For this purpose, the Analytical Hierarchy Process (AHP method) was used as a decision-making support in order to get experts' individual decisions and, in the next step, to obtain a group decision on the most suitable method for calculating ET_0 and ET_c . In the next phase of the proposed approach, following the procedure of the original SPEI index, the crop-specific climate water balances were calculated. The analysis includes data from nine meteorological stations in the Vojvodina region, as well as eleven field and vegetable crops. Then, statistical methods were used to select the appropriate theoretical distribution which proved to best fit to the empirical values of the crop-specific climatic water balance. In the next step, the modified SPEI related to specific crops (agricultural drought SPEI - AD-SPEI_{crop}) was obtained. The approach also enables the direct transformation of the index into the values of the climate water balance of crops reflecting the crop water needs. Examining drought from this perspective as well makes it possible to analyze the capabilities of irrigation systems to cope with drought. In the next phase, the validation of the proposed approach was carried out from several different perspectives including examining the correlation of the index with the crop yields, both at the local county level and at the level of the entire territory of Vojvodina; the comparison between the degree of the agreement of the AD-SPEI_{crop} and the original SPEI index with the crop yields, respectively; the comparison with the generally acknowledged and accepted drought indices (SPI, SPEI and SC-PDSI); and experts' feedback. According to the obtained results in the validation phase, it can be concluded that the proposed approach to agricultural drought monitoring in the Vojvodina region based on the SPEI index can be applied successfully and with good performance, and that the AD-SPEI_{crop} index obtained as a result of this approach is an adequate indicator of agricultural drought in the Vojvodina region.

Accepted on Senate on:
AS

12.07.2018.

Defended:
DE

Thesis Defend Board:
DB

Dr Borivoj Pejić, Full Professor
Scientific field – Field and vegetable crops,
Faculty of Agriculture, Novi Sad, President of the
Committee

Dr Boško Blagojević, Assistant Professor
Scientific field – Water Management,
Faculty of Agriculture, Novi Sad, Mentor

Dr Minučer Mesaroš, Associate Professor
Scientific field – Social Geography,
Faculty of Sciences, Novi Sad, Mentor

Dr Dragoslav Pavić, Full Professor
Scientific field – Physical Geography,
Faculty of Sciences, Novi Sad, Member

Dr Milica Vranešević, Assistant Professor
Scientific field – Water Management,
Faculty of Agriculture, Novi Sad, Member

Predgovor

Istraživanja u doktorskoj disertaciji su urađena u okviru projekta *Interreg-IPA CBC Hungary-Serbia (HUSRB/1602/11/0057): WATERatRISK - Improvement of drought and excess water monitoring for supporting water management and mitigation of risks related to extreme weather conditions*, kofinansiranog od strane Evropske unije.

Sadržaj

1. UVOD	1
2. PREGLED LITERATURE	3
2.1. Suša (definicija, podela, uticaj)	3
2.2. Suša u Vojvodini (Srbiji)	7
2.3. Navodnjavanje u Vojvodini (Srbiji)	9
2.4. Indeksi i indikatori suše	11
2.5. SPEI (Standardizovani Indeks Padavina i Evapotranspiracije)	17
2.6. Evapotranspiracija	22
2.7. Osnove Analitičkog Hijerarhijskog Procesa (AHP) u individualnom i grupnom odlučivanju	28
2.8. Primena Geografskog Informacionog Sistema (GIS) u proučavanju suše	30
3. CILJ I SVRHA ISTRAŽIVANJA	35
4. RADNA HIPOTEZA	36
5. MATERIJAL I METOD RADA	37
5.1. Opis i klimatske karakteristike istraživanog područja	37
5.2. Indeksi suše	40
5.2.1. PDSI - Palmer Drought Severity Index	40
5.2.2. SPI - Standardized Precipitation Index	42
5.2.3. SPEI - Standardized Precipitation Evapotranspiration Index	44
5.3. Metodi izračunavanja evapotranspiracije	47
5.3.1. Bioklimatski metod	47
5.3.2. FAO 56 Penman-Monteith	48
5.3.3. Turc metod	49
5.3.4. Thornthwaite metod	50
5.3.5. Hargreaves metod	50
5.4. Testiranje saglasnosti empirijskih i teorijskih distribucija verovatnoća	51
5.5. Analitički Hijerarhijski Proces (AHP)	54
5.6. Metodi prostornih interpolacija u Geografskom Informacionom Sistemu (GIS)	56
6. REZULTATI RADA	60
6.1. Uticaj referentne evapotranspiracije na rezultate SPEI	60
6.2. Opis procedure definisanja pristupa monitoringu poljoprivredne suše na području Vojvodine baziranog na SPEI	66
6.3. Pristup monitoringu poljoprivredne suše na području Vojvodine baziran na SPEI indeksu i njegova primena	72
6.3.1. Faza I - Donošenje odluke o najpogodnijem metodu za izračunavanje ET_0 (odnosno ET_c) koji će biti korišćen u okviru SPEI na	73

posmatranom području	
6.3.1.1. Korak I - Izbor alternativa - pogodnih metoda za izračunavanje ET_0 (odnosno ET_c) u okviru SPEI	73
6.3.1.2. Korak II - Definisane relevantnih kriterijuma značajnih za problem odlučivanja - izbor najpogodnijeg metoda za izračunavanje ET_0 (odnosno ET_c) koji će biti korišćen u okviru SPEI na posmatranom području	73
6.3.1.3. Korak III - Dobijanje individualnih odluka stručnjaka	74
6.3.1.4. Korak IV - Dobijanje grupne odluke stručnjaka	76
6.3.2. Faza II - Izračunavanje modifikovanog indeksa SPEI (AD-SPEI _{crop}) prilagođenog za određeno područje od interesa i vezanog za određenu kulturu	76
6.3.2.1. Korak I - Izračunavanje potencijalne evapotranspiracije kultura (ET_c)	76
6.3.2.2. Korak II - Izračunavanje klimatskog vodnog bilansa	84
6.3.2.3. Korak III - Odabir najpogodnije teorijske distribucije verovatnoća	90
6.3.2.4. Korak IV - Izračunavanje modifikovanog indeksa SPEI (AD-SPEI _{crop})	97
6.3.2.5. Korak V - Ispitivanje mogućnosti zalivnih sistema u odnosu na intenzitet suše korišćenjem AD-SPEI _{crop}	133
6.3.3. Faza III - Validacija predloženog pristupa	140
6.3.3.1. Korak I - Poređenje indeksa AD-SPEI _{crop} sa relevantnim parametrima u cilju validacije	140
6.3.3.1.1. Poređenje indeksa AD-SPEI _{crop} sa prosečnim prinosima za teritoriju Vojvodine	141
6.3.3.1.2. Poređenje indeksa AD-SPEI _{crop} sa prinosima na nivou opština	145
6.3.3.2. Korak II - Poređenje indeksa AD-SPEI _{crop} sa drugim opšte prihvaćenim indeksima	150
6.3.3.2.1. Poređenje AD-SPEI _{crop} i SPEI sa prinosima kultura u cilju ispitivanja njihovih performansi	150
6.3.3.2.2. Poređenje indeksa AD-SPEI _{crop} sa SPI, SPEI i SC-PDSI	154
6.3.3.3. Korak III - Povratna informacija od strane eksperata o dobijenim rezultatima poređenja	163
7. DISKUSIJA REZULTATA	164
8. ZAKLJUČAK	175
9. LITERATURA	179

1. UVOD

Suša je prirodna pojava koja se na području Vojvodine javlja često i značajno utiče na poljoprivrednu proizvodnju. Pored uticaja na prinose gajenih biljaka pojava suše automatski utiče i na stočarsku proizvodnju i sektor proizvodnje hrane i vodi do neravnoteže i rasta cena na tržištu poljoprivredno-prehrambenih proizvoda. Posmatrajući zavisnost poljoprivrede područja Vojvodine od klimatskih uslova, nedovoljnu razvijenost navodnjavanja, kao i to da se ekstremni uslovi u vidu suše javljaju relativno često, dolazi se do važnosti sistematskog i kontinuiranog pristupa u praćenju i analiziranju suše. Pored toga, ako se u obzir uzme i važnost poljoprivrede za ceo region može se zaključiti da su analiza i praćenje suše od ključnog značaja i strateške važnosti za razvoj Vojvodine. Kako bi se ispunili ovi izazovni zadaci vezani za pripremu i prevenciju šteta izazvanih sušnim događajima neophodno je da donosioci odluka budu adekvatno i blagovremeno informisani i da imaju na raspolaganju pouzdane resurse i alate koji su kreirani za posmatrane agroklimatske uslove i pružaju što preciznije lokalno-specifične informacije.

Za potrebe monitoringa suše koriste se indeksi suše kojima se karakteriše njen intenzitet, trajanje i učestalost. Iako postoji veliki broj razvijenih indeksa koji su predstavljeni u literaturi i dalje je prisutan veliki interes za razvijanje novih indeksa koji će biti precizniji i na adekvatniji način opisivati sušu, a biti jednostavniji za primenu. Veliki interes stručnjaka širom sveta svedoči u prilog činjenici da postoji prostor za dalje poboljšanje indeksa suše i njihovo prilagođavanje potrebama korisnika kao i određenim klimatskim područjima i regionima od interesa.

Uzimajući u obzir lokalno specifične agroklimatske uslove istražiće se mogućnost definisanja pristupa monitoringu poljoprivredne suše u Vojvodini koji je jednostavan, precizan i praktičan za upotrebu na raznim nivoima izučavanja i koji omogućava da se suša posmatra sa aspekta više ratarskih i povrtarskih kultura. Obzirom na to da gajene biljke različito reaguju na pojavu suše u zavisnosti od biljne vrste i stadijuma razvoja biljke, definisanjem takvog pristupa omogućiće se praćenje suše u odnosu na specifičnu kulturu. Pristup monitoringu poljoprivredne suše na području Vojvodine biće baziran na modifikaciji Standardizovanog indeksa padavina i evapotranspiracije (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index - SPEI) (Vicente-Serrano i sar., 2010). SPEI je jedan od često korišćenih i široko primenjivanih indeksa koji je pogodan za monitoring suše i primenu u kontekstu globalnih klimatskih promena. Definisani pristup lokalnom monitoringu poljoprivredne suše u obzir uzima mišljenje eksperata bazirano na njihovom znanju i iskustvu, kao i

specifičnost lokalnih agroklimatskih prilika. Na taj način se razvija indeks prilagođen lokalno specifičnim uslovima i vezan za određenu kulturu koji može da opiše sušu na detaljniji i precizniji način. Rezultati primene predloženog pristupa mogu da se prikažu na različite načine što omogućava prilagođavanje potrebama konkretne analize. Njegova primena omogućava da se indentifikuju najugroženija područja i kulture, odnosno da se utvrdi za koje kulture su bili najlošiji uslovi vlažnosti, odnosno obezbeđenosti vodom. Ove informacije mogu da budu od značaja kako bi se u budućnosti dao prioritet određenim područjima za izgradnju hidromelioracionih sistema, birale kulture, sorte i hibridi otporniji na sušu i blagovremeno planirala poljoprivredna proizvodnja. Dobijeni rezultati mogu služiti kao izvor informacija o karakteristikama suše u Vojvodini. Donosiocima odluka na raznim nivoima mogu koristiti kako bi sagledali potencijalnu opasnost i na razne načine potsticali i subvencionisali izgradnju infrastrukture za navodnjavanje, kao i revitalizaciju postojećih i izgradnju novih sistema u cilju prevencije i ublažavanja šteta od suše. Pored toga, omogućava se sagledavanje ugroženosti određenih kultura sušom, kako bi se dobio uvid u to kojoj kulturi i kojim regionima je potrebno dati prednost pri planiranju podsticaja razvoja navodnjavanja. Detaljan opis procedure definisanja pristupa monitoringu poljoprivredne suše na području Vojvodine baziranog na SPEI indeksu omogućava da se predloženi pristup modifikuje u skladu sa potrebama specifičnog područja i primeni u bilo kom drugom regionu i agro-klimatskim prilikama.

2. PREGLED LITERATURE

2.1. Suša (definicija, podela, uticaj)

Suša je prirodna pojava koja se javlja u skoro svim regionima sveta (Wilhite i Svoboda, 2000) i mnogi je smatraju najkompleksnijim prirodnim hazardom koji pogađa više ljudi nego bilo koja druga prirodna nepogoda (Mishra i Desai, 2005). Suša ima neizvesnu učestalost, trajanje, jačinu i njenu pojavu je teško predvideti (Fan i sar., 2017). Predstavlja globalni problem koji dobija sve veću pažnju nacionalnih i internacionalnih organizacija i institucija (Wilhite i sar., 2007). Među ekstremnim meteorološkim pojavama, suša je najverovatnije jedna od onih koje se najsporije razvijaju, često najduže traje i najmanje je predvidljiva među svim atmosferskim hazardima (Mishra i Singh, 2010).

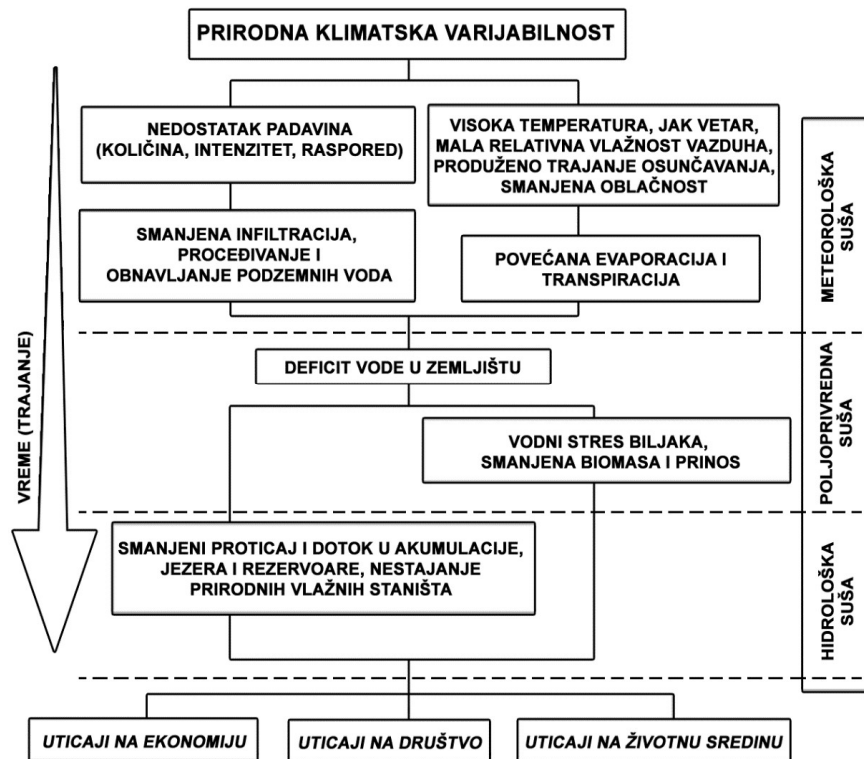
Suša je prepoznata kao elementarna nepogoda koja prouzrokuje najveće štete u mnogim sektorima privrede (Naumann i sar., 2015). Manifestuje se na različite načine: u vanvegetacionom periodu suša može dovesti do snižavanja nivoa voda, površinski sloj zemljišta ostaje bez potrebne vlažnosti što dovodi do kašnjenja setve useva, odlaganje klijanja do pojave prvih padavina, dok u letnjim mesecima nedostatak vlažnosti dovodi do vodnog stresa biljaka dovodeći do značajnog smanjenja prinosa (Stricevic i sar., 2011b). Uticaj suše može biti direktan (na primer smanjenje prinosa) ili indirektan (povećanje cene hrane zbog smanjenja prinosa) i može se javiti u različitim vremenskim periodima, imati različito trajanje i različitu prostornu rasprostranjenost (Blauhut i sar., 2016). Wilhite i sar. (2007) takođe navode da se uticaj suše obično klasifikuje na direktan i indirektan, a neki od primera direktnih uticaja suše su: smanjenje prinosa useva, opadanje produktivnosti pašnjaka i šuma, povećanje opasnosti od požara, snižavanje nivoa podzemnih i površinskih voda, povećanje stope smrtnosti stoke i divljih životinja, ugrožavanje staništa divljih životinja i riba. Posledice ovih direktnih uticaja ilustruju indirektne, kao što su: smanjenje prihoda farmera i aktera u agrobiznisu, povećanje cene hrane i drveta, nezaposlenost, smanjenje prihoda od poreza na državnom nivou i tome slično. Indirektni gubici vezani za sušu često premašuju direktne gubitke Wilhite i sar. (2007).

Važna karakteristika suše koja je razlikuje od drugih prirodnih hazarda je nedostatak univerzalne definicije odnosno postojanje stotine definicija (Wilhite i sar., 2007). Hao i Singh (2015) takođe zaključuju da je zbog složene prirode i rasprostranjenosti uticaja suše teško dati univerzalnu definiciju, što otežava identifikovanje i monitoring ključnih karakteristika kao što su njeno trajanje,

intenzitet, jačina i prostorni okvir. Mishra i Singh (2010) daju pregled nekih od najčešće korišćenih definicija suše:

- The World Meteorological Organization (WMO, 1986): "Suša predstavlja neprekidan dugotrajan nedostatak padavina."
- The UN Convention to Combat Drought and Desertification (UN Secretariat General, 1994): "Suša predstavlja prirodnu pojavu koja se javlja kada je količina padavina značajno ispod normalnih vrednosti, uzrokujući hidrološku neravnotežu koja utiče na proizvodnu sposobnost zemljišta".
- The Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO, 1983) definiše sušu kao "procenat godina kada se javlja propadanje useva usled nedostatka vlage (nedovoljne obezbeđenosti vodom)".
- The encyclopedia of climate and weather (Schneider, 1996) definiše sušu kao "duži period - sezona, godina ili nekoliko godina smanjenih količina padavina u odnosu na statistički višegodišnji prosek za posmatrani region".
- Gumbel (1963) definiše sušu kao "najmanju godišnju vrednost dnevnog protoka".
- Palmer (1965) je opisao sušu kao "značajno odstupanje od normalnih hidroloških uslova nekog područja".
- Linseley i sar. (1959) su definisali sušu kao "duži vremenski period bez značajne količine padavina".

Suša se može podeliti na: meteorološku, hidrološku, poljoprivrednu i socio-ekonomsku (Wilhite i Glantz, 1985; Wilhite, 1996). Slika 1. objašnjava odnos između različitih vrsta suša i trajanja događaja (Wilhite, 2000). Šire definisano, suša se javlja određenim redom: nedostatak padavina podstiče meteorološku sušu, koja zatim utiče na sadržaj vlage u zemljištu (tj. poljoprivrednu sušu). Slab dotok vode iz zemljišta u vodotokove i stajaće vode uzrokuje pojavu hidrološke suše (Zargar i sar., 2011). Drugim rečima, meteorološka suša se identifikuje nedostatkom padavina kao glavnog indikatora, dok je poljoprivredna suša vezana za deficit vlažnosti u zemljištu, a hidrološku sušu karakteriše smanjenje protoka u vodotocima, kao i snižavanje nivoa podzemnih voda (Hao i AghaKouchak, 2013). Detaljnije o različitim tipovima suše može se videti u Wilhite i Glantz (1985).



Slika 1. Odnos između različitih vrsta suša i trajanja događaja (Wilhite, 2000)
(Slika prevedena na srpski jezik preuzeta iz Bezdan (2014))

Karakterizacija i analiza suše su ključni aspekti za upravljanje sušom i operativno planiranje (Tigkas i sar., 2016). Suša se fundamentalno može karakterisati svojom jačinom, trajanjem i prostornom raspodelom, dok dodatna karakterizacija uključuje: učestalost, magnitudu (kumulativni deficit), predvidljivost, početak i vremenski raspored (Zargar i sar., 2011). Vicente-Serrano i sar. (2010) navode da je veoma teško objektivno kvantifikovati karakteristike suše u smislu intenziteta, jačine, trajanja i rasprostranjenosti. Adekvatna procena karakteristika suše za potrebe monitoringa i rane najave može biti korisna za planiranje efikasnije upotrebe vodnih resursa i poljoprivredne proizvodnje (Gocic i Trajkovic, 2014a). Važno je razumeti sušu na lokalnom nivou kako bi se smanjio njen socio-ekonomski uticaj (Mishra i sar., 2015). Brojne studije suše su sprovedene od strane mnogih istraživača Evrope (Gocic i Trajkovic, 2014a), a zemlje širom sveta počele su da uspostavljaju nacionalne strategije koje uključuju razvoj sveobuhvatnih sistema monitoringa suše sposobnih da pruže rano upozorenje o početku, odrede jačinu i rasprostranjenost suše kao i da blagovremeno informišu donosiocima odluka (Botai i sar., 2016).

Među različitim tipovima suše, poljoprivredna suša je najkompleksnija, jer je prouzrokovana lokalnim površinskim (evapotranspiracijom) i podpovršinskim hidroklimatskim fluksevima (vlažnošću zemljišta) (Mishra i sar., 2015). Poljoprivredna suša je zavisna od postojećih meteoroloških uslova i u velikoj meri povezana je sa meteorološkom sušom (Zhao i sar., 2017). Bošnjak (1999) i Vučić (1976) navode da se suša sa agronomskog aspekta vezuje za nedovoljno snabdevanje biljaka vodom, kada je potencijalna evapotranspiracija veća od stvarne bez obzira na uzroke ovoj pojavi i razlikuju zemljišnu, vazдушnu i fiziološku sušu koje nose posebna obeležja iako je svima zajedničko negativno dejstvo na prinos. Szalai (2012) navodi da kada suša neposredno utiče na poljoprivrednu proizvodnju naziva se poljoprivredna suša. Za razliku od ostalih tipova suše, kvantifikovanje poljoprivredne suše nije toliko jasno iz više razloga. Različiti usevi se ponašaju drugačije u određenim uslovima, što znači da suša za jedan usev možda ne predstavlja sušne uslove za drugi usev, odnosno poljoprivredna suša će se razlikovati između useva zbog dva glavna faktora (demand and supply) (Mishra i sar., 2015). Pristupi karakterizaciji poljoprivredne suše razvijaju se uglavnom oko monitoringa vodnog bilansa zemljišta i pojave deficita usled suše (Zargar i sar., 2011).

Hazaymeh i Hassan (2016) navode da efikasno i blagovremeno praćenje poljoprivredne suše u toku vegetacije može biti od velike pomoći u minimizaciji poljoprivrednih gubitaka. Kako bi se pripremile na vreme i odgovorile na situacije u budućnosti mnoge organizacije, kao što su ministarstva, osiguravajuće kompanije, trgovačke kompanije i brojne druge kompanije u oblasti poljoprivrede su zainteresovane da saznaju kako će vremenski uslovi uticati na prinos (Stricevic i sar., 2011a). Interesovanje za istraživanjem i monitoringom poljoprivredne suše raste i potrebni su tačniji i efikasniji postupci izračunavanja i procene, kao i sistemi ranog upozoravanja (Martínez-Fernández i sar., 2016).

Hazaymeh i Hassan (2016) daju objašnjenje aktivnosti u planovima upravljanja rizikom od poljoprivredne suše (prikazano u ovom pasusu). Monitoring poljoprivredne suše je jedna od tri glavne aktivnosti u planovima upravljanja rizikom od poljoprivredne suše koji takođe uključuju aktivnosti pripreme i odgovora u slučaju pojave suše. Aktivnosti u okviru monitoringa uključuju praćenje i procenu uslova vlažnosti površinskog sloja zemljišta, praćenje količina, prostorne i vremenske raspodele padavina, kao i praćenje temperatura naročito u vegetacionoj sezoni. Monitoring u suštini uključuje praćenje različitih agro-klimatskih parametara kao što su padavine, temperatura, isparavanje, vlažnost zemljišta u približno realnom vremenu da bi se mogli razviti adekvatni indikatori poljoprivredne suše. Ove informacije pomažu u pružanju

smernica donosiocima odluka na raznim nivoima kao i farmerima. Pripravnost na pojavu suše uključuje aktivnosti koje imaju za cilj podizanje svesti i spremnosti donosioca odluka i farmera, naročito u periodu pre pojave suše kako bi se pripremili da adekvatno odgovore pri njenoj sledećoj pojavi. Aktivnosti koje podrazumevaju odgovor na pojavu suše odnose se na odgovarajuće strategije delovanja tokom pojave ili neposredno posle pojave sušnog događaja u cilju redukovanja neželjenih posledica na poljoprivrednu proizvodnju.

2.2. Suša u Vojvodini (Srbiji)

Klimatsko područje Vojvodine karakteriše promenljivost meteoroloških uslova, posebno padavina koje variraju kako po količini, tako i po rasporedu (Pejić i sar., 2011f). Specifičnost agroklimatskih uslova i samog područja Vojvodine zajedno sa strogim zahtevima poljoprivredne proizvodnje čine ovu teritoriju veoma ranjivom na pojavu viška i manjka vode (Bezdan, 2014). Tokom vegetacione sezone mogu se uočiti kraći ili duži sušni periodi, a cela teritorija ponekad postaje aridna sa izraženim nedostatkom vode (Jaćimović i sar., 2013). Pržulj i sar. (1998) navode da su vremenski uslovi u Vojvodini varijabilni, naročito u pogledu količine i rasporeda padavina i citiraju Dragović i Maksimović (1995) koji iznose da prema indeksima suše u julu i avgustu 74% godina karakterišu semi-aridni ili aridni klimatski uslovi.

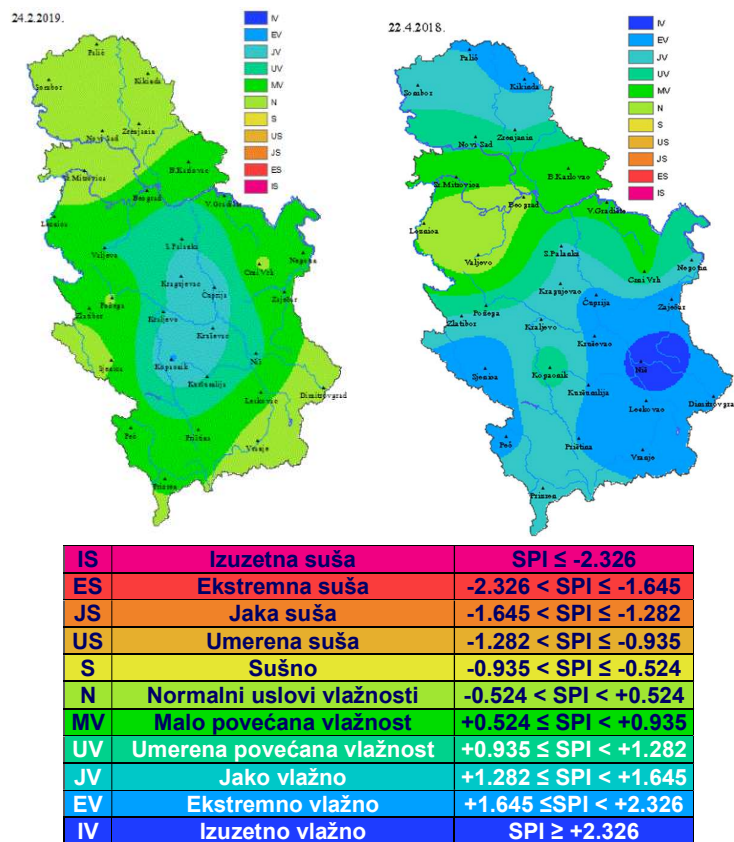
Brojni stručnjaci se slažu da je u klimatskim uslovima Vojvodine suša česta pojava koja dovodi do smanjenja prinosa gajenih biljaka (Bošnjak, 2001; Dragović, 2001; Maksimović i sar., 2005; Pejić i sar., 2011f). Procenat smanjenja prinosa kreće se od nekoliko do 50% (Dragović, 2012), a u godinama sa ekstremnom sušom može ići i do 80-100% (Dragović, 2001). Istraživanja pokazuju da poslednjih nekoliko decenija dolazi do povećanja učestalosti pojave suše (Stricević i sar., 2011b; Armenski i sar., 2014; Draginčić i sar., 2017 itd.) i ova prirodna pojava postaje sve važnija za strateški razvoj zemlje (Stricević i Djurović, 2013). Važnost praćenja suše je posebno neophodna za zemlje čija je ekonomska održivost jako vezana za poljoprivredu (Lessel i sar., 2016), što je slučaj u našoj zemlji gde je poljoprivreda jedna od osnovnih delatnosti. Pavlović (2012) navodi da u Srbiji suša najviše pogađa poljoprivrednu proizvodnju, rečni saobraćaj i vodosnabdevanje. U poljoprivredi Srbije pojava suše vodi i do promene u snabdevanju i potražnji za poljoprivrednim proizvodima na tržištu, kao i do fluktuacije cena (Stricević i sar., 2011a).

U Strategiji poljoprivrede i ruralnog razvoja Republike Srbije za period 2014-2024. godine (Vlada Republike Srbije, 2014) navodi se da se privreda Republike Srbije u značajnoj meri oslanja na delatnosti koje su zavisne od vremenskih uslova, pa je samim tim ranjiva na klimatske promene. Klimatske promene predstavljaju jedan od najznačajnijih problema sa kojima se suočava ceo svet jer se predviđaju promene klimatskih prilika i povećanje učestalosti ekstremnih vremenskih pojava (Gulácsi i Kovács, 2015). U studiji Lalić i sar. (2011) prikazana je analiza aktuelnog i budućeg stanja klime na području Vojvodine, kao i analiza njegovog uticaja na uslove gajenja i prinos pšenice. Autori navode da opisani rezultati sprovedene studije, uz očekivani porast koncentracije CO₂ će imati uticaj na prinos ratarskih kultura odnosno da se očekuje da će kod većine ozimih useva ovi efekti imati pozitivan uticaj na prinos, dok će kod jarih useva letnje suše odneti prevagu i dovesti do značajnog smanjenja prinosa (Lalić i sar., 2011). Popović (2017) analizirajući područje Vojvodine navodi da postoji trend porasta prosečnih temperatura, a da analize padavina ukazuju na periodične deficite padavina i uslove za pojavu suše. Takođe, Popović (2017) navodi da klimatski scenariji pokazuju da će se u budućnosti usled klimatskih promena ovakvi trendovi intenzivirati. Negativni efekti suše i potencijalni porast njene učestalosti i ozbiljnosti, usled klimatskih promena, doveli su do obimnih studija za bolje razumevanje, praćenje i predviđanje suše (Hao i sar., 2016).

Pavlović (2012) navodi da se u Srbiji posledice suše rešavaju reakcijom umesto prevencijom, takođe i da istorijski gledano (na osnovu podataka iz arhiva) suša je bila zvanično proglašena samo u nekoliko godina, dok razne studije ukazuju na veliki problem sa sušom i njenom čestom pojavom na ovoj teritoriji. Pored toga, Pavlović (2012) iznosi da se uzrok ovoga, pretpostavlja se, nalazi u nemogućnosti da se štete koje su posledice suše nadoknade na odgovarajući način.

Šovljanski i Radovanović (2012) objašnjavaju operativne procedure monitoringa suše Republičkog Hidrometeorološkog Zavoda (RHMZ) i navode da one podrazumevaju izračunavanja indeksa suše i parametara uslova vlažnosti, na osnovu dnevnih meteoroloških podataka (Standardizovani indeks padavina, Palmerov Z indeks, zalihe vlage u zemljištu i potencijalna evapotranspiracija, operativno se primenjuje i model vreme-usev CropSyst). Takođe, autori (Šovljanski i Radovanović, 2012) navode da je tokom implementacije DMCSEE (Drought Management Centre for South East Europe) projekta poboljšan monitoring suše na nacionalnom nivou, što se odnosi na poboljšanje računskih postupaka i na uvođenje još nekih indeksa suše u operativnu primenu, kao što

je Palfajev indeks. Primer praćenja uslova vlažnosti na osnovu indeksa SPI na sajtu RHMZ može se videti na Slici 2.



Slika 2. Primer praćenja uslova vlažnosti na osnovu indeksa SPI na sajtu RHMZ (RHMZS, 2019)

2.3. Navodnjavanje u Vojvodini (Srbiji)

Kako bi se sagledao uticaj suše na poljoprivrednu proizvodnju Vojvodine, kao i Srbije važno je sagledati stanje i perspektive navodnjavanja na ovom području, kao osnovne mere borbe protiv poljoprivredne suše. Imajući u vidu da se suša javlja često, pokriva velike prostore i značajno utiče na poljoprivrednu proizvodnju evidentna je važnost navodnjavanja (Dragović, 2012).

U "Strategiji upravljanja vodama na teritoriji Republike Srbije" (2015) navodi se da na teritoriji Republike Srbije površine pogodne za navodnjavanje (pogodne bez ograničenja i pogodne za navodnjavanje uz oprez) iznose približno 1,9 miliona ha. Hidrosistemi za navodnjavanje, u javnoj svojini, izgrađeni su na površini od oko 105.500 ha, ali u funkciji je samo oko 40% ovih površina. Najveći sistemi za navodnjavanje su na području AP Vojvodine. Takođe, u strategiji se navodi, da prema podacima distributera opreme za navodnjavanje,

pored navedenih površina, navodnjava se još oko 45.000 ha individualnim sistemima u privatnom vlasništvu (Tabela 1).

Tabela 1. Navodnjavane površine u javnoj i privatnoj svojini (preuzeto iz "Strategije upravljanja vodama na teritoriji Republike Srbije " (2015))

Redni Broj	Naziv vodnog područja	Ukupno u funkciji (ha)		
		sistemi u javnoj svojini (podaci javnih vodoprivrednih preduzeća)	sistemi u privatnom vlasništvu (podaci distributera opreme)	
			tehn. zaokruženi	tehn. nezaokruženi
1.	Bačka i Banat	29028	10136	6055
2.	Srem	1134	1853	1112
3.	Beograd	1912	2435	1095
4.	Sava	5000	5076	2538
5.	Morava	3840	6000	2400
6.	Donji Dunav	nema podataka	4500	1800
UKUPNO		40914	30000	15000

U "Strategiji poljoprivrede i ruralnog razvoja Republike Srbije za period 2014-2024. godine" ("Sl. glasnik RS", br. 85/201) (Vlada Republike Srbije, 2014) navodi se da izgrađeni sistemi za navodnjavanje pokrivaju površinu od 250.000 ha. Međutim, trenutno se navodnjava samo 40.000-70.000 ha godišnje (ovaj broj podrazumeva sisteme za navodnjavanje koji imaju sve dozvole i plaćaju vodu za navodnjavanje), od kojih se 90% nalazi na području AP Vojvodine, a na još 47.000 hektara sistem za navodnjavanje funkcioniše samo delimično. Takođe se navodi da površine koje se navodnjavaju bez dozvole su dva do tri puta veće.

Navodnjavanje u Vojvodini nije na zadovoljavajućem nivou, niti je u skladu sa potrebama i postojećim potencijalima poljoprivrede i vodoprivrede (Savić i sar., 2013). Prema podacima Javnog Vodoprivrednog Preduzeća "Vode Vojvodine" na području Vojvodine je moguće navodnjavati 936.000 hektara poljoprivrednih površina (Bačka 350.000 hektara, Banat 402.000 hektara, Srem 184.000 hektara). Činjenica je da je neophodno kontinuirano investiranje u razvoj navodnjavanja, ali i da je neophodna podrška države u vidu podsticaja i subvencija, a pri donošenju nepristrasne odluke o tome kom regionu treba dati prioritet od velike je važnosti da se prouči jačina i prostorna raspodela suše (Stricevic i Djurovic, 2013). Intenzivnija upotreba sistema za navodnjavanje za posledicu bi imala stabilizaciju i povećanje prinosa gajenih biljaka, rast izvoza, smanjenje

uvoza, što bi sve imalo pozitivan uticaj na razvoj poljoprivrednog sektora, kao i celokupne privrede Republike Srbije (Đuricin i sar., 2016).

2.4. Indeksi i indikatori suše

Za utvrđivanje intenziteta, trajanja i učestalosti suše postoji veliki broj kvantitativnih indikatora tj. indeksa suše (Milanovic i sar., 2015). Isto kao što ne postoji jedna jedinstvena definicija suše, tako ne postoji ni jedan indeks ili indikator koji može da se primeni na sve vrste suše, klimatske režime i sektore pogođene sušom (WMO i GWP, 2016).

Brojni autori objašnjavaju šta se podrazumeva pod indikatorima, a šta pod indeksima suše (Zargar i sar., 2011; Hayes i sar., 2012; Hao i Singh, 2015; WMO i GWP, 2016; i dr.). Među stručnjacima koji se bave monitoringom suše, termini indikator i indeks često se smenjuju (Hayes i sar., 2012). WMO i GWP (2016) ističu da je važno definisati šta se podrazumeva pod indikatorima, a šta pod indeksima suše, što u daljem tekstu objašnjavaju. Autori (WMO i GWP, 2016) navode, da su indikatori varijable (promenljive) ili parametri koji se koriste da opišu stanje suše (na primer: padavine, temperatura, proticaj vode u vodotocima, nivoi podzemnih i površinskih voda, vlažnost zemljišta itd), dok su indeksi uglavnom izračunate numeričke reprezentacije jačine suše, procenjene na osnovu klimatskih ili hidrometeoroloških podataka, uzimajući u obzir i gore navedene indikatore. Indeksi imaju za cilj kvalitativno opisivanje stanja suše na određenom prostoru u posmatranom vremenu. Autori (WMO i GWP, 2016) takođe navode da su u tehničkom smislu indeksi takođe i indikatori.

Razvoj indeksa suše evoluirao je u proteklih nekoliko decenija od jednostavnih pristupa, zasnovanih na jednoj varijabli, do komplikovanijih i sveobuhvatnijih modela, zasnovanih na više varijabli iz različitih izvora uključujući „in-situ“ merenja, simulacije, daljinsku detekciju (remote sensing), kao i ekspertske procene (Hao i Singh, 2015). WMO i GWP (2016) navode da postoje tri glavna metoda za monitoring suše i vođenje sistema rane najave i procene: korišćenje jednog indeksa ili indikatora, korišćenje više indikatora ili indeksa, korišćenje kompozitnih i hibridnih indikatora. Svaki indeks je dizajniran za specifične uslove i za određenu svrhu (Wu i Wilhite, 2004). Različiti indeksi mogu se videti u literaturi brojnih autora širom sveta koji su davali preglede raznih indeksa (Heim, 2002; Keyantash i Dracup, 2002; Morid i sar., 2006; Niemeyer, 2008; Quiring, 2009; Mishra i Singh, 2010; Sivakumar i sar., 2010; Dai, 2011; Hayes i sar., 2011; Zargar i sar., 2011; Agwata, 2014; Moorhead i sar., 2015; Hao i Singh, 2015; Pedro-Monzonís i sar., 2015; Bachmair i sar., 2016a; WMO i GWP,

2016; Yihdego i sar., 2019 itd.). Kada se govori o broju do sad razvijenih indeksa, Zargar i sar. (2011) pružaju listu i opis 74 indeksa od skoro 150 dostupnih. Pretpostavlja se da je danas ovaj broj indeksa u literaturi mnogo veći. Indeksi suše imaju širok dijapazon potencijalnih korisnika i mogu se koristiti u akademske svrhe u istraživanju i studijama, ali i na strateškim i operativnim nivoima kao što su donošenje odluka, proaktivno upravljanje i ublažavanje posledica suše itd. (Tigkas i sar., 2015). Međutim, mnogi indeksi suše imaju ograničenu primenljivost jer ih je teško izračunati i interpretirati i ne pružaju lokalno-specifične informacije (Quiring, 2009). U daljem tekstu dat je pregled nekih od indikatora i indeksa suše iz relevantne literature novijeg datuma.

World Meteorological Organization (WMO) i Global Water Partnership (GWP) (Svoboda i Fuchs, 2016) grupišu indekse u sledeće klase: meteorološki, bazirani na vlažnosti zemljišta, hidrološki, bazirani na daljinskoj detekciji i kompozitni (Tabela 3). Detaljnije o indeksima, kao i klasifikacija po jednostavnosti upotrebe indeksa može se pronaći u istoj publikaciji. Skraćenice i prevod sa engleskog jezika su date u Tabeli 2.

Tabela 2. Korišćene skraćenice i prevod

Key to variables: Skraćenice	Prevod
AWC = available water content,	Pristupačna količina vode
CC = crop coefficient,	Koeficijent kulture
CD = crop data,	Podaci o kulturi
ER = ecoregion,	Ekoregion
ET = evapotranspiration	Evapotranspiracija
GW = groundwater,	Podzemne vode
LC = land cover,	Zemljišni pokrivač
Mod = modelled,	Modeliran
Multiple = multiple indicators used,	Više korišćenih indikatora
P = precipitation,	Padavine
PET = potential evapotranspiration,	Potencijalna evapotranspiracija
Rad = solar radiation,	Solarna radijacija
RD = reservoir,	Rezervoar
S = snowpack,	Snežni pokrivač
Sat = satellite,	Satelit
SF = streamflow,	Proticaj
ST = soil type,	Tip zemljišta
SWD = soil water deficit,	Deficit vode u zemljištu
T = temperature,	Temperatura
Td = dewpoint temperature,	Temperatura tačke rose
W = wind data.	Podaci o vetru

Tabela 3. Indeksi i indikatori navedeni u priručniku WMO i GWP
(Svoboda i Fuchs, 2016)

Meteorološki		
Aridity Anomaly Index (AAI)	India Meteorological Department	P, T, PET, ET
Deciles	Gibbs i Maher., 1967	P
Keetch–Byram Drought Index (KBDI)	Keetch i Byram, 1968	P, T
Percent of Normal Precipitation	Hayes, 2006	P
Standardized Precipitation Index (SPI)	McKee i sar., 1993	P
Weighted Anomaly Standardized Precipitation (WASP)	Lyon, 2004	P, T
Aridity Index (AI)	Baltas, 2007	P, T
China Z Index (CZI)	De Martonne, 1925 Edwards i McKee, 1997 Wu, 2001	P
Crop Moisture Index (CMI)	Palmer, 1968	P, T
Drought Area Index (DAI)	Bhalme i Mooley, 1980	P
Drought Reconnaissance Index (DRI)	Tsakiris i Vangelis, 2005	P, T
Effective Drought Index (EDI)	Byun i Wilhite, 1996	P
Hydro-thermal Coefficient of Selyaninov (HTC)	Selyaninov, 1928	P, T
NOAA Drought Index (NDI)	Strommen i Motha, 1987	P
Palmer Drought Severity Index (PDSI)	Palmer, 1965	P, T, AWC
Palmer Z Index	Palmer, 1965	P, T, AWC
Rainfall Anomaly Index (RAI)	Kraus, E.B., 1977 van Rooy, M.P., 1965	P
Self-Calibrated Palmer Drought Severity Index (sc-PDSI)	Wells i sar., 2004	P, T, AWC
Standardized Anomaly Index (SAI)	Katz i Glantz, 1986 Kraus, 1977	P
Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI)	Vicente-Serrano i sar., 2010	P, T
Agricultural Reference Index for Drought (ARID)	Woli i sar., 2012	P, T, Mod
Crop-specific Drought Index (CSDI)	Meyer i sar., 1993	P, T, Td, W, Rad, AWC, Mod, CD
Reclamation Drought Index (RDI)	Weghorst, 1996	P, T, S, RD, SF
Bazirani na vlažnosti zemljišta		
Soil Moisture Anomaly (SMA)	Bergman i sar., 1988	P, T, AWC
Evapotranspiration Deficit Index (ETDI)	Narasimhan i Srinivasan, 2005	Mod
Soil Moisture Deficit Index (SMDI)	Narasimhan i Srinivasan, 2005	Mod
Soil Water Storage (SWS)	British Columbia Ministry of Agriculture, 2015	AWC, RD, ST, SWD
Hidrološki		
Palmer Hydrological Drought Severity Index (PHDI)	Palmer, 1965	P, T, AWC
Standardized Reservoir Supply Index (SRSI)	Gusyev i sar., 2015	RD
Standardized Streamflow Index (SSFI)	Telesca i sar., 2012 Modarres, 2007	SF
Standardized Water-level Index (SWI)	Bhuiyan, 2004	GW
Streamflow Drought Index (SDI)	Nalbantis i Tsakiris, 2008	SF
Surface Water Supply Index (SWSI)	Doesken i Garen, 1991 Doesken i sar., 1991 Shaferi Dezman, 1982	P, RD, SF, S
Aggregate Dryness Index (ADI)	Keyantash i Dracup, 2004	P, ET, SF, RD, AWC, S
Standardized Snowmelt and Rain Index (SMRI)	Staudinger i sar., 2014	P, T, SF, Mod

Bazirani na daljinskoj detekciji		
Enhanced Vegetation Index (EVI)	Huete i sar., 2002	Sat
Evaporative Stress Index (ESI)	Anderson i sar., 2011	Sat, PET
Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	Kogan, 1995a; Tarpley i sar., 1984	Sat
Temperature Condition Index (TCI)	Kogan, 1995b	Sat
Vegetation Condition Index (VCI)	Kogan, 1995b	Sat
Vegetation Drought Response Index (VegDRI)	Liu i Kogan, 1996	Sat, P, T, AWC, LC, ER
Vegetation Health Index (VHI)	Brown i sar., 2008	Sat, P, T, AWC, LC, ER
	Kogan, 1990	Sat
	Kogan, 1997	
	Kogan, 2001	
Water Requirement Satisfaction Index (WRSI and Geo-spatial WRSI)	Verdin i Klaver, 2002	Sat, Mod, CC
Normalized Difference Water Index (NDWI) and Land Surface Water Index (LSWI)	Chandrasekar i sar., 2010	Sat
	Gao, 1996	
Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)	Huete, 1988	Sat
Kompozitni ili modelirani		
Combined Drought Indicator (CDI)	Sepulcre-Canto i sar., 2012	Mod, P, Sat
Global Integrated Drought Monitoring and Prediction System (GIDMaPS)	Hao i sar., 2014	Multiple, Mod
Global Land Data Assimilation System (GLDAS)	Mitchell i sar., 2004	Multiple, Mod, Sat
	Rodell i sar., 2004	
	Xia i sar., 2012	
Multivariate Standardized Drought Index (MSDI)	Hao i AghaKouchak, 2013	Multiple, Mod
United States Drought Monitor (USDM)	Svoboda i sar., 2002	Multiple

Tabela 4. Često korišćeni indeksi suše (Moorhead i sar., 2015)

Indeksi	Klasifikacija	Ulazni parametri
Palmer Drought Severity Index (PDSI – Palmer, 1965)	Meteorološki	Karakteristike zemljišta, Ref evapotranspiracija, Padavine
Crop Moisture Index (CMI – Palmer, 1968)	Poljoprivredni	Isto kao PDSI
Surface Water Supply Index (SWSI) (Shafer i Dezman, 1982)	Hidrološki	Voda u zemljištu, Protok u vodotoku
Palmer Hydrological Drought Index (PHDI – Karl, 1986)	Hidrološki	Isto kao PDSI
Standardized Precipitation Index (SPI – McKee i sar., 1993)	Meteorološki	Padavine
Reclamation Drought Index (Hayes, 2006)	Hidrološki	Temperatura, Padavine, Protok
Vegetation Condition Index (VCI – Kogan, 1995b)	Poljoprivredni	Satelitski snimci
U.S. Drought Monitor (NDMC, 2013)	Meteorološki	Padavine, Različiti indeksi suše, Nivo podzemnih voda, rezerve vode
Standardized Vegetation Index (SVI – Peters i sar., 2002)	Poljoprivredni	Podaci dobijeni daljinskom detekcijom
Reconnaissance Drought Index (RDI – Tsakiris i Vangelis, 2005)	Poljoprivredni	Stvarna ET, PET
Soil Moisture Deficit Index (SMDI – Narasimhan i Srinivasan, 2005)	Poljoprivredni	Voda u zemljištu
Evapotranspiration Deficit Index (ETDI – Narasimhan i Srinivasan, 2005)	Poljoprivredni	Stvarna ET, PET
Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI - Vicente-Serrano i sar., 2010)	Meteorološki	Padavine, referentna ET
Accumulated Drought Index (ADI – CIAGRO, 2012)	Poljoprivredni	Padavine, referentna ET
Relative Water Deficit (RWD – Sivakumar i sar., 2011)	Poljoprivredni	Stvarna ET, PET

Napomena: PET - potencijalna evapotranspiracija, ET - evapotranspiracija

Jedan od glavnih ciljeva studije Moorhead i sar. (2015) je bio da se uradi pregled literature o indeksima suše sa fokusom na to da se identifikuje jednostavan, ali

u isto vreme i adekvatan indeks za monitoring poljoprivredne suše u semi-aridnom regionu. U Tabeli 4 dat je pregled indeksa iz studije Moorhead i sar. (2015).

U radu „Agricultural drought monitoring: Progress, challenges, and prospects“ (Liu i sar., 2016) autori daju pregled glavnih meteoroloških i poljoprivrednih indeksa za monitoring suše (Tabela 5).

Tabela 5. Glavni meteorološki i poljoprivredni indeksi (Liu i sar., 2016)

Indeks	Referenca
PA	Henry (1906)
PDSI - Palmer drought severity index	Palmer (1965)
CMI - Crop moisture index	Palmer (1968)
CWSI - Crop water stress index	Jackson i sar. (1988)
Z	Me i Ding (1990)
SPI - Standardized precipitation index	McKee i sar. (1993)
WDI - Water deficit index	Moran i sar. (1994)
VCI - Vegetation condition index	Kogan (1995b)
NDWI - Normalized difference of water index	Gao (1996)
CI - Comprehensive index	Zhang i sar (1998)
TVDI - Temperature vegetation drought index	Sandholt i sar. (2002)
VSWI - Vegetation supply water index	Haboudane i sar. (2004)
SC-PDSI - Self-calibrated PDSI	Wells i sar. (2004)
K - K index	Wang i sar. (2007)
VegDRI - Vegetation drought response index	Brown i sar. (2008)
SPEI - Standardized precipitation evapotranspiration index	Vicente-Serrano i sar. (2010)

Među brojnim indeksima za analizu suše, neki od najčešće korišćenih indeksa su Palmer Drought Severity Index-PDSI (Palmer, 1965) i Standardized Precipitation Index-SPI (McKee i sar., 1993) (Palchaudhuri i Biswas, 2013; Ma i sar., 2014; Spinoni i sar., 2015a; Zhang i sar., 2015; Erhardt i Czado, 2015; Gocić i sar., 2015a itd.). Indeks PDSI je bio reper u razvoju indeksa suše i bazira se na prihodnim i rashodnim komponentama vodnog bilansa i uključuje padavine, vlažnost zemljišta, oticanje i isparavanje (Vicente-Serrano i sar., 2012a). Uglavnom se koristi za praćenje dugotrajnih suša (García-Valdecasas Ojeda i sar., 2017). SPI je zvanični indeks Republičkog Hidrometeorološkog zavoda Srbije za procenu rizika od suše (Marković i sar., 2016) i preporučuje ga Svetska Meteorološka Organizacija (World Meteorological Organization) zbog jednostavnosti, robusnosti, lakoće interpretacije i multiskalnog karaktera ovog indeksa (García-Valdecasas Ojeda i sar., 2017). Međutim, SPI koristi jedino podatke o padavinama u cilju detektovanja pojave suše. Iako su padavine odnosno njihov nedostatak glavni pokretač suše uticaj isparavanja ne može se zanemariti u kontekstu globalnog zagrevanja (Vicente-Serrano i sar., 2012a). Iz tog razloga Vicente-Serrano i sar. (2010) su predložili novi indeks Standardized Precipitation Evapotranspiration index (SPEI) koji se bazira na padavinama i potencijalnoj evapotranspiraciji i koji kombinuje fizičke principe indeksa PDSI

sa multiskalarnim karakterom indeksa SPI (Tao i sar., 2014). SPEI indeks je matematički sličan indeksu SPI, ali uključuje i uticaj temperature (Potop i sar., 2014). Od kad je predstavljen u literaturi SPEI indeks se koristi u sve većem broju klimatoloških i hidroloških studija (Beguería i sar., 2014). Može se računati za različite vremenske skale i iz tog razloga ima mnogo veći opseg primene nego indeks PDSI (Beguería i sar., 2010). Spinoni i sar. (2015b) navode da su SPEI i SPI najčešće korišćeni indeksi suše u Evropi.

Pregledi indeksa za monitoring poljoprivredne suše mogu se pronaći u literaturi (Niemeyer, 2008; Zargar i sar., 2011; Moorhead i sar., 2015; Liu i sar., 2016 itd.). Zhao i sar. (2017) navode da iako postoje brojni indeksi koji su bazirani na meteorološkim faktorima, uslovima vlažnosti zemljišta, fazama razvoja biljaka i dalje je teško naći indeks koji je pogodan za detekciju poljoprivredne suše. Autori dalje komentarišu ove indekse i navode da između ostalih za monitoring poljoprivredne suše su razvijeni različiti indikatori koji su bazirani na evapotranspiraciji, kao što su PDSI i SPEI (Zhao i sar., 2017). Hazaymeh i Hassan (2016) citiraju Zargar i sar. (2011) koji iznose da su do danas razvijeni i korišćeni različiti metodi za monitoring poljoprivredne suše koji se nazivaju indeksi poljoprivredne suše koje Hazaymeh i Hassan (2016) dele u tri kategorije: "in-situ", bazirane na tehnologijama daljinske detekcije (remote sensing) i bazirani na sinergiji predhodnih kategorija. Tigkas i sar. (2017) navode da u mnogim novijim studijama postoje pokušaji da se koriste manje složeni indeksi, uglavnom orjentisani na karakterizaciju meteorološke suše, kao što su SPI, SPEI ili RDI za procenu suše u poljoprivrednom sektoru. Niemeyer (2008) navodi da se može zaključiti da praktičari više preferiraju da rade sa indeksima poljoprivredne suše koji su jednostavni za upotrebu i što je moguće specifičniji za određene useve. Predhodne studije pokazuju da se performanse indeksa suše razlikuju u zavisnosti od aplikacije i regiona od interesa, zahvaljujući tome što se fizičko okruženje (klima, zemljište, vegetacija) razlikuju od regiona do regiona i svaki usev različito reaguje na sušu (Tian i sar., 2018).

Niemeyer (2008) komentariše motivaciju za razvoj indeksa suše sa naučne i praktične strane i navodi da je ona višestruka: Sa naučne tačke gledišta izazovan je zadatak razviti indikator koji omogućava detektovanje, monitoring i procenu sušnih događaja, a pri tom koristeći nove tehnologije koje pružaju nove skupove podataka, kao i primenu novih metodologija. U ovom radu se dalje navodi da su jednako važne i potrebe stručnjaka iz prakse u oblasti poljoprivrede i upravljanja vodnim resursima gde je naglasak stavljen na pouzdanost i robusnost indeksa, kao i na dostupnost podataka. Niemeyer (2008) dalje navodi da sa druge strane, u praktičnoj primeni koristi se

ograničeni broj indeksa, a tome doprinosi ograničena dostupnost podataka i oslanjanje na već dokazane metodologije.

Postoji prostor za dalje poboljšanje indeksa suše u cilju dobijanja što boljih informacija, odnosno indeksi se mogu dodatno istražiti uzimajući u obzir potrebe korisnika u određenom regionu (Mishra i Singh, 2010). Svoboda i sar. (2015) navode da nije svaki indeks idealan za svaku lokaciju ili sezonu. Kod novih indeksa jedna od ključnih stavki je njihova validacija. Ne postoji generalno pravilo za validaciju indeksa, pa su najčešće korišćene tehnike vremenske i prostorne komparacije sa opšte prihvaćenim indeksima kao što su SPI ili PDSI, kvalitativne komparacije sa zabeleženim pojavama suše i povratne informacije od strane eksperata (Hao i Singh, 2015). Za sve nove indekse je zajednički problem validacija, jer često se ispituje slaganje novih indeksa sa starim, iako je prvobitna ideja bila da se razvije indeks sa boljim performansama (Niemeyer, 2008). Tian i sar. (2018) zaključuju da je važno kvantitativno evaluirati više indeksa suše da bi se utvrdilo koji najviše odgovara području i usevu od interesa.

2.5. SPEI (Standardizovani Indeks Padavina i Evapotranspiracije)

Vicente-Serrano i sar. (2010) su formulisali novi indeks suše: standardizovani indeks padavina i evapotranspiracije (standardized precipitation evapotranspiration index - SPEI) koji se, kako autori navode, bazira na razlici padavina i potencijalne evapotranspiracije (PET). U nastavku istraživanja prikazanim u Beguería i sar. (2014) autori umesto termina potencijalna evapotranspiracija - PET koriste izraz referentna evapotranspiracija i navode da SPEI, koji koristi klimatski vodni bilans, predstavlja razliku između padavina (P) i referentne evapotranspiracije (ET_0).

SPEI se bazira na akumuliranoj razlici između padavina i potencijalne evapotranspiracije. Padavine su jedan od najznačajnijih meteoroloških varijabli koje mogu da utiču na pojavu suše kao i poplava (Gocic i Trajkovic, 2013). Evapotranspiracija je fizički proces u kom voda prelazi iz tečnog u gasovito stanje prelazeći iz zemljišta u atmosferu i odnosi se na isparavanje sa zemljišta i površine biljaka i transpiraciju biljaka (Gocic i Trajkovic, 2014c). Razlika između padavina i evapotranspiracije predstavlja potrebu za navodnjavanjem u aridnim i semi-aridnim regionima gde su padavine nedovoljne u toku vegetacione sezone i ove dve komponente su esencijalne za monitoring poljoprivredne suše (Moorhead i sar., 2015).

Za potrebe ove disertacije je izabran indeks SPEI kako bi se modifikovao i prilagodio lokalnim uslovima za potrebe monitoringa poljoprivredne suše. Ovaj indeks je izabran iz više razloga. Generalno, poljoprivredna suša se javlja kao rezultat dva faktora: kratkoročnog nedostatka padavina koje smanjuje nivo vlage u zemljištu i/ili povećanja temperature koje uzrokuje povećanje nivoa evapotranspiracije (Hazaymeh i Hassan, 2016). Iako su padavine glavni okidač pojave suše, ne može se zanemariti evapotranspiracija, posebno u kontekstu globalnog zagrevanja (Vicente-Serrano i sar., 2012a). Poljoprivredna suša može se najbolje pratiti pomoću indeksa suše koji se bazira istovremeno na padavinama i evapotranspiraciji - dve osnovne komponente vodnog bilansa (Moorhead i sar., 2015). SPEI je posebno pogodan za otkrivanje, praćenje i istraživanje posledica klimatskih promena na pojavu suše (Vicente-Serrano i sar., 2010), a uticaj klimatskih promena na poljoprivrednu proizvodnju posebno je veliki u zemljama kao što je Srbija zbog postojećeg lošeg stanja i skromnih ulaganja u unapređenje proizvodnje (Lalić i sar., 2011). Liu i sar. (2016) navode da je SPEI postao jedan od idealnih alata za monitoring suše i citiraju autore Vicente-Serrano i sar. (2012a) koji su poredili performanse indeksa SPI, SPEI, i PDSI u kontekstu monitoringa suše na globalnom nivou i ustanovili da su SPI i SPEI bolji od PDSI za monitoring hidrološke i poljoprivredne suše i da je SPEI odličan za monitoring letnje suše. Rezultati studije koju su sproveli Bachmair i sar. (2018) pokazuju da su kratki periodi akumulacije indeksa SPI i SPEI dobro povezani sa vegetacionim stresom u najvećem broju slučajeva, što dalje govori u prilog korišćenja SPI3 u postojećim sistemima monitoringa suše. Autori dalje navode da SPEI može da bude nešto bolji pokazatelj suše u južnim i istočnim krajevima Evrope, a SPI u ostalim krajevima Evrope.

Wang i sar. (2016) u svojoj studiji su primenili indekse SPI, SPEI, PDSI, Palmer Z i self-calibrated PDSI, a rezultati su pokazali da je indeks SPEI povoljan za praćenje suše zbog njegove multiskalarnosti i efektivne karakterizacije poljoprivredne suše. Cilj studije (Bachmair i sar., 2016c) je bio da se istraži veza između meteoroloških indikatora suše i poljoprivredne suše na području Evrope. Kao indikatori korišćeni su SPI i SPEI za različite vremenske intervale. Studija (Bachmair i sar., 2016c) je pokazala da u klimatski sušnijim reonima Evrope (regioni oskudni vodom) postoji visoka korelacija između SPI/SPEI i vodnog stresa vegetacije, dok u vlažnijim reonima Evrope (regioni sa ograničenom sunčevom radijacijom) postoji negativna korelacija naročito za kraće vremenske intervale, što ukazuje da kratkotrajna suša može biti i od koristi za rast vegetacije. U istraživanjima koja su prethodila ovoj disertaciji (Bezdan i Bezdan, 2019) poređena su tri indeksa suše sa prosečnim prinosima nekih od glavnih kultura koje se gaje u Vojvodini (kukuruz, soja, šećerna repa, lucerka). Rezultati su pokazali da SPEI ima bolju korelaciju sa „de-

trendovanim“ prinosima nego SPI i STI (Standardized Temperature Index) i prema dobijenim rezultatima preporučuje se korišćenje SPEI indeksa za monitoring suše i ocenu uticaja suše na poljoprivrednu proizvodnju u Vojvodini.

Vremenski intervali za proračun indeksa variraju za svaki tip suše, tako da se za poljoprivrednu sušu često koriste kraći vremenski intervali u odnosu na ostale tipove suše, dok se za hidrološku sušu uglavnom koriste duži vremenski intervali (Moorhead i sar., 2013). Sledeći vremenski intervali su relevantni za: poljoprivrednu sušu 1, 3 i 6 meseci; za hidrološku sušu 12 meseci; za socio-ekonomski sušu 24 meseca (Potop i sar., 2014; Tan i sar., 2015; Meshram i sar., 2017).

Široka upotreba i popularnost SPEI indeksa širom sveta može se ilustrovati raznim vrstama studija (Vicente-Serrano i sar., 2012b; Spinoni i sar., 2013; Meza, 2013; Jiang i sar., 2015; Potopová i sar., 2015; Spinoni i sar., 2015a; Halwatura i sar., 2015; Zhang i sar., 2015; Bachmair i sar., 2016b; Das i sar., 2016; Stagge i sar., 2016; Miah i sar., 2017 itd.), a u našim uslovima se takođe može videti u radovima domaćih autora (Bezdan i sar., 2011; Gocic i Trajkovic, 2014c; Bezdan, 2014; Stojanović i sar., 2015; Frank, 2016; Frank i sar., 2017; Popović, 2017; Rajić i Zemunac, 2017; Draginčić i sar., 2017).

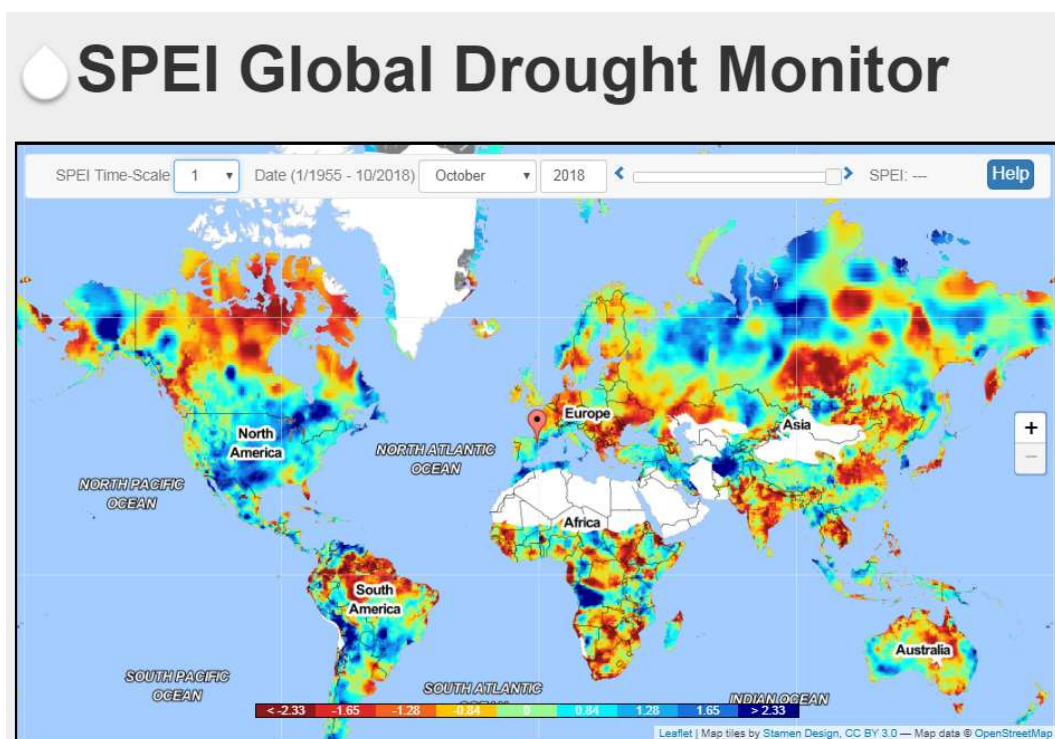
Indeks SPEI koristi mesečne ili nedeljne razlike između padavina i potencijalne evapotranspiracije – (Potential Evapotranspiration-PET) (Vicente-Serrano i sar., 2010). Vicente-Serrano i sar. (2010) su koristili Thornthwaite-TH (Thornthwaite, 1948) metod za procenu PET u okviru indeksa SPEI, koji zahteva samo srednje mesečne temperature. Nekoliko godina kasnije, Beguería i sar. (2014) su utvrdili da su razlike između SPEI serija računatih korišćenjem različitih metoda evapotranspiracije značajne u nekim regionima sveta. Takođe, Beguería i sar. (2014) navode da se nekoliko metoda može koristiti za procenu evapotranspiracije, ali oni generalno preporučuju korišćenje FAO-56 Penman-Monteith - PM (Allen i sar., 1998) metoda, a ako podaci za ovu jednačinu nisu dostupni autori predlažu Hargreaves-Samani-HG (Hargreaves i Samani, 1985) metod kao prvi izbor ili Thornthwaite-TH (Thornthwaite, 1948) kao drugi. U literaturi se mogu pronaći radovi gde se, osim prvobitno predloženog Thornthwaite-TH metoda, koriste razni metodi za izračunavanje evapotranspiracije u okviru SPEI (npr. Potop i Možný, 2011a; Potop i Možný, 2011b; Stagge i sar., 2014; Beguería i sar., 2014; Moorhead i sar., 2015; Herold i sar., 2018; itd.). Milanovic i sar. (2015) ističu da je pouzdano određivanje evapotranspiracije najvažnija stvar u proceni poljoprivrednih indeksa. Istraživanja u radu Frank (2016) su pokazala da na području Vojvodine,

preciznost indeksa SPEI u mnogome zavisi od funkcije proračuna evapotranspiracije. Takođe, Frank i sar. (2017) zaključuju da SPEI pokazuje veliku zavisnost od korišćenog metoda za izračunavanje evapotranspiracije što ga čini prilično ranjivim i nepouzdanim jer nema univerzalno prihvaćenog metoda. Stagge i sar. (2014) navode da uključivanje evapotranspiracije u indeks SPEI zahteva potrebu za rigoroznim testiranjem da bi se utvrdilo da li ovo uključivanje proizvodi značajno različite vrednosti indeksa od već prihvaćenog SPI i da se identifikuje osetljivost SPEI na različite formulacije za izračunavanje evapotranspiracije. Autori Stagge i sar. (2014) su istraživali i uticaj metoda izračunavanja ET_0 na vrednosti SPEI i preporučuju korišćenje metoda HG i „Penman-Montieth with Hargreaves radiation term (P-M (Hargreaves))“ (Allen et al., 1998). Zhang i sar. (2017) za računanje ET_0 u okviru indeksa SPEI, na osnovu svojih istraživanja na području Kine, preporučuju korišćenje Two Source metoda (Shuttleworth i Wallace, 1985) kao prvi izbor i PM metoda kao drugi izbor. Autori Chen i Sun (2015) su utvrdili da SPEI indeks baziran na PM metodu izračunavanja ET_0 ima bolje performanse prilikom monitoringa suše u Kini u odnosu na SPEI baziran na TH jednačini. U radu Potop i sar. (2014) autori ističu da je prednost SPEI indeksa nezavisnost pri odabiru metoda za izračunavanje ET_0 i kao primer navode prethodna istraživanja Potop i Možný (2011a) gde su autori koristili ABMAV model (Löpemier, 1994) i HG metod za određivanje ET_0 u okviru SPEI indeksa. U literaturi su razvijeni brojni drugi indeksi koji se zasnivaju na padavinama i evapotranspiraciji, tako na primer autori Ravindranath i sar. (2018) su razvili indeks vodnog stresa useva (CDI), koji se bazira na efektivnim padavinama i evapotranspiraciji kulture, za procenu potreba za navodnjavanjem u Indiji. Moorhead i sar. (2015) ističu probleme u primeni referentne evapotranspiracije u indeksima za karakterizaciju poljoprivredne suše. Autori (Moorhead i sar., 2015) navode da su vrednosti referentne evapotranspiracije najčešće više od evapotranspiracije kulture, da vrednosti evapotranspiracije kultura u vanvegetacionoj sezoni iznose 0 dok vrednosti referentne evapotranspiracije ne moraju biti 0, kao i da se evapotranspiracija kulture menja u zavisnosti od faze razvoja biljke. Dragincic i sar. (2018) su poredili rezultate SPEI indeksa dobijene korišćenjem dva metoda za izračunavanje referentne evapotranspiracije (HG i TH), a rezultati pokazuju da oba indeksa generalno na teritoriji Vojvodine daju slične rezultate, ali da su u nekim slučajevima primećene značajne razlike. Rezultati naglašavaju važnost pravilnog izbora metoda za izračunavanje referentne evapotranspiracije prilikom korišćenja SPEI u cilju dobijanja što preciznijih procena. Pei i sar. (2019) navode da SPEI indeks ima određenih ograničenja ukoliko se posmatra poljoprivredna suša. Navedeno objašnjavaju time što SPEI ne uzima u obzir uticaj različitih useva, kao ni faze razvoja useva na evapotranspiraciju. Moorhead i sar. (2013) navode da je u studiji koja je

sprovedena od strane Moorhead (2012) pokazano da upotreba potencijalne evapostranspiracije pojedinačnih useva umesto referentne evapotranspiracije može poslužiti kao bolji pokazatelj poljoprivredne suše kao i potreba za navodnjavanjem u poljoprivrednim regionima. Moorhead i sar. (2015) i Moorhead i sar. (2013) su utvrdili da se regresioni modeli bazirani na modifikovanom SPEI indeksu za specifične kulture mogu koristiti za procenu potreba za navodnjavanjem u Teksasu (SAD).

Moorhead i sar. (2015) zamenjuju referentnu evapotranspiraciju sa potencijalnom evapotranspiracijom kultura (kukuruz, pamuk, kikiriki, sirak, soja, pšenica). Autori su koristili vrednosti potencijalne evapotranspiracije kultura koju pruža TXHPET (Network Texas High Plains ET) baza podataka. Analiza je rađena na području Texas High Plains u SAD, u uslovima semi-aridne klime. Kao i u originalnoj formulaciji SPEI usvojena je log-logistička distribucija koja se prilagođava empirijskim podacima. Vrednosti dobijenog indeksa u ovom radu poređene su sa potrebama za navodnjavanje koje su na posmatranom području računane TAMA modelom (Texas A&M-Amarillo). Pei i sar. (2019) takođe zamenjuju referentnu evapotranspiraciju sa potencijalnom evapotranspiracijom kultura (kukuruz, soja) i predstavljaju indeks SPCEI (Standardized Precipitation Crop Evapotranspiration Index). SPCEI se bazira na dnevnim vrednostima meteoroloških parametara i za razliku od SPEI koji se može računati za više različitih vremenskih skala, SPCEI se računa samo za jednomesečni vremenski period. Potencijalna evapotranspiracija kultura računata je metodom Penman-Monteith. Autori (Pei i sar., 2019) su na osnovu statističkih testova odabrali log-logističku distribuciju. Ova studija slučaja je rađena u oblasti Qigihar (Kina) gde vladaju semi-aridni klimatski uslovi, a dobijene vrednosti indeksa SPCEI poređene su sa indeksom SPEI i autori (Pei i sar., 2019) su zaključili je SPCEI prikladniji za praćenje poljoprivredne suše.

Beguería i sar. (2014) su predstavili globalni sistem za monitoring suše u blisko realnom vremenu baziran na SPEI indeksu. Ovaj sistem može se videti na adresi <http://sac.csic.es/spei> i prikazuje globalnu mapu SPEI indeksa u prostornoj rezoluciji od 0,5° (Slika 3). Obnavlja se svakog meseca tj. u blisko realnom vremenu što odgovara potrebama monitoringa suše i rane najave.



Slika 3. Globalni sistem za monitoring suše baziran na SPEI indeksu (<http://sac.csic.es/spei>)

2.6. Evapotranspiracija

Evapotranspiracija sa referentne površine, kojoj ne nedostaje vlaga, naziva se „evapotranspiracija referentne kulture“ ili „referentna evapotranspiracija“ i označava se sa ET_0 (Allen i sar., 1998). Autori (Allen i sar., 1998) dalje objašnjavaju da referentnu površinu predstavlja hipotetička travnata površina sa specifičnim karakteristikama i da korišćenje izraza kao što je „potencijalna evapotranspiracija“ se ne preporučuje iz razloga nejasnoće samog izraza. Xystrakis i Matzarakis (2010) navode da iako koncept PET (potencijalna evapotranspiracija) ima široku upotrebu, sam izraz je često izazivao zabune zbog nedovoljno definisanog značenja termina „vegetaciona površina“. Kako bi se prevazišli ovi problemi izraz PET je postepeno zamenjen izrazom „referentna potencijalna evapotranspiracija“ (Xystrakis i Matzarakis, 2010). Referentna potencijalna evapotranspiracija (PET_{ref}) je potencijalna evapotranspiracija vegetacione površine čije su karakteristike standardizovane. FAO eksperti prihvatili su sledeću definiciju referentne površine: „Hipotetička referentna kultura visine od 0,12 metara, površinskog otpora od 70 s/m i sa albedom od 0.23“ (Allen i sar., 1998). Dok sa druge strane, evapotranspiracija kultura (ET_c) je količina vode potrebna određenoj kulturi za optimalni rast i razvoj (Brouwer i Heibloem, 1986).

Referentna evapotranspiracija se može direktno meriti korišćenjem lizimetara ili određivanjem vodnog bilansa, kao i indirektno proceniti na osnovu klimatskih podataka. Kumar i sar. (2011) navode da merenje evapotranspiracije lizimetrima je vremenski zahtevan metod i neophodno je precizno i pažljivo planiranje ovog eksperimenta tako da nije uvek moguće meriti evapotranspiraciju na ovaj način. Indirektni metodi za ocenu evapotranspiracije koji se baziraju na klimatološkim podacima variraju od empirijskih do kombinovanih metoda baziranih na fizičkim procesima. Autori Tabari i sar. (2013) sugerišu da je primena lizimetara najuobičajeniji metod za procenu referentne evapotranspiracije, ali na žalost lizimetri nisu pogodni kao što su direktna merenja klimatskih podataka sa meteoroloških stanica, zbog svoje visoke cene, kompleksnosti, ali i zato što ograničena površina tipičnog ograđenog prostora meteorološke stanice gde se nalaze lizimetri nisu dovoljno reprezentativne površine da bi ova merenja bila značajna. Pejić i sar. (2011c) navode da merenje potencijalne evapotranspiracije nije jednostavno jer zahteva određenu opremu, instalacije (lizimetri, evapotranspirometri) i iz tog razloga razvijen je čitav niz postupaka za indirektno izračunavanje potencijalne evapotranspiracije, ali i pored toga ne postoji indirektni metod koji bi imao univerzalnu primenu, već je svaki od njih lokalnog ili regionalnog karaktera.

Kad ne postoje pouzdani mereni lizimetarski podaci, FAO-56 PM metod se preporučuje kao standardna procedura (Allen i sar., 1998; Irmak i sar., 2003; Utset i sar., 2004; Trajković, 2005; Gavilan i sar., 2006; Alexandris i sar., 2006; Trajkovic, 2007). Ovaj metod se generalno smatra najsigurnijim u širokom spektru različitih klimatskih prilika i lokacija jer se zasniva na fizičkim principima i uzima u obzir glavne klimatske faktore koji utiču na evapotranspiraciju (Shahidian i sar., 2012). FAO- 56 PM metod se takođe preporučuje i od strane „Food and Agriculture Organisation of the United Nations (FAO)” i “The International Commission for Irrigation and Drainage (ICID)”, kao standardna procedura. Međutim, sa druge strane ovaj metod ima visoke zahteve za podacima što komplikuje njegovu primenu u područjima sa nedostupnim, nedostajućim ili netačnim meteorološkim podacima (Cruz-Blanco i sar., 2014). U većini regiona su ovi podaci limitirani, pa su u tu svrhu razvijeni eksperimentalni modeli za procenu evapotranspiracije (Valipour, 2015). Brojne jednačine za procenu referentne evapotranspiracije mogu se klasifikovati na temperaturne, radijacione, evaporacione, bazirane na transferu mase i kombinovane (Gocic i Trajkovic, 2010; Tabari i sar, 2013). Xystrakis i Matzarakis (2010) navode da ne postoji pravilo kako izabrati optimalnu jednačinu za procenu referentne evapotranspiracije u različitim klimatskim uslovima, jer čak i u istim klimatskim uslovima različite studije daju različite rezultate u odnosu na performanse empirijskih modela. Trajković (2009a) navodi da najbolje

rezultate daju regionalne formule i svaki metod daje dobre rezultate u uslovima za koje je predviđen. Pejić i sar. (2011c) citiraju Vučića (1976) koji ističe da se potrebe biljaka za vodom moraju prvo odrediti u poljskim uslovima, a zatim da se ustanovi korelacija između izmerenih vrednosti i brojnih modela za izračunavanje i da tako dobijene formule i odnosi imaju veliku praktičnu vrednost za određeno područje. Trajković (2009a) navodi da se u našoj zemlji javlja problem određivanja realne potrošnje vode u sistemima za navodnjavanje jer se primenjuje veliki broj metoda koje daju različite vrednosti, a neke od njih daju i rezultate koji imaju velika odstupanja od realne potrošnje. Trajković (2009a) takođe navodi da većina metoda zahteva veliki broj ulaznih podataka kojima meteorološke stanice ne raspolažu, česti su prekidi u merenju, a i kvalitet podataka predstavlja problem. Autori Xystrakis i Matzarakis (2010) sugerišu da je potrebna regionalna ocena i kalibracija empirijskih jednačina pre njihovog korišćenja. Drugim rečima, ovi autori navode da kako bi se osigurala tačnost, neophodno je da se performanse empirijskih jednačina za procenu referentne potencijalne evapotranspiracije evaluiraju korišćenjem vrednosti postojećih merenja evapotranspiracije ili u odnosu na vrednosti referentne potencijalne evapotranspiracije izračunate nekim od sofisticiranih metoda (lizimetri, energetski bilans itd.) na istraživanom području.

Brojni autori se bave evapotranspiracijom u našim klimatskim uslovima, ispitivanjem mogućnosti primene različitih metoda za izračunavanje evapotranspiracije, kao i primenom raznih metoda (npr. Trajkovic, 2005; Rajic i Rajic, 2005; Trajković i Stojnić, 2007; Trajkovic, 2007; Alexandris i sar., 2008; Trajkovic i Kolakovic, 2009a; Trajkovic i Kolakovic, 2009b; Trajkovic i Kolakovic, 2009c; Trajković, 2009a; Trajković i Živković, 2009; Pejić i sar., 2011c; Đukić i Mihailović, 2012; Gocic i Trajkovic, 2014b; Gocic i sar., 2015; Gocic i sar., 2016; Misaghian i sar., 2017; Bezdan i sar., 2017 itd.).

Pregled literature i istraživanja pokazuju da se u našim uslovima koriste razni metodi proračuna evapotranspiracije, a neki od njih su: Priestley-Taylor (Priestley i Taylor, 1972); Hargreaves-Samani (Hargreaves i Samani, 1985); Thornthwaite (Thornthwaite, 1948); Penman-Monteith model (Allen i sar., 1998); modifikovani Hargreaves (Trajkovic, 2007); Turc (Turc, 1961); Jensen-Haise (Jensen i Haise, 1963); Bioklimatski metod (Vučić, 1971); FAO-24 Blaney-Criddle (Blaney i Criddle, 1950) i drugi. Stavovi o tome koji metod je najpogodniji za naše klimatske uslove se razlikuju.

Evapotranspiracija useva u standardnim uslovima označena kao ET_c je evapotranspiracija kulture koja se gaji na velikim površinama u optimalnim vodno-zemljišnim uslovima gde postoje sve potrebne hranljive materije, bez

pojave bolesti i gde usev dostiže pun proizvodni potencijal u datim klimatskim uslovima (Allen i sar., 1998). Evapotranspiracija useva (ET_c) je jednaka proizvodu koeficijenta kulture (k_c) i referentne evapotranspiracije (ET_0), gde su koeficijenti kultura isti za sve metode i zavise samo od lokalnih uslova (Trajković, 2009a).

Uobičajena praksa je da se prvo odredi referentna evapotranspiracija, a zatim primeni odgovarajući koeficijent za određenu kulturu (Trajkovic, 2009b). Pored toga, postoje i drugi načini kao što je na primer Bioklimatski metod koji je za naše klimatske uslove utemeljio Vučić (1971) koji se bazira na primeni Hidrofitotermičkih indeksa (eksperimentalno utvrđenih) za obračun potreba biljaka za vodom i zasniva se na visokoj korelaciji evapotranspiracije i srednje dnevne temperature (Bošnjak, 1999) i često se koristi u našim uslovima (npr. Pejić i sar., 2011b; Pejić i sar., 2011d).

Za potrebe ove teze, uz konsultaciju sa domaćim akademskim stručnjacima i stručnjacima iz prakse u oblasti poljoprivrede i navodnjavanja odabrani su sledeći metodi proračuna evapotranspiracije za dalju analizu: FAO-56 PM; Thornthwaite; Hargreaves–Samani; Bioklimatski metod i Turc.

FAO-56 PM je predložen kao standard od strane brojnih autora i organizacija širom sveta. FAO-56 PM je kombinovani metod koji za izračunavanje referentne evapotranspiracije koristi sledeće podatke: pad napona zasićene vodene pare; zemljišni fluks toplote; psihrometrijska konstanta; srednja temperatura vazduha na 2 m visine; brzina vetra na 2 m visine i deficit napona vodene pare na 2 m visine (Allen i sar., 1998).

Thornthwaite (Thornthwaite, 1948) je temperaturni metod koji koristi sledeće podatke: srednju dnevnu temperaturu vazduha, godišnji termički indeks koji se obračunava sumom mesečnih termičkih indeksa, eksponencijalni koeficijent koji je u funkciji godišnjeg termičkog indeksa i korekcionni faktor za geografsku širinu. Thornthwaite metod je dobro poznat i opšte priznat, a namenjen je za klimatske uslove kakvi su kod nas i uveliko se koristi kod obračuna vodnog bilansa zemljišta (Bošnjak, 1999).

Osnovna verzija Hargreaves metoda je nastala 1975. godine i kasnije je modifikovana. Hargreaves i Samani (1985) metod za proračun referentne evapotranspiracije zahteva sledeće podatke: maksimalnu i minimalnu temperaturu vazduha i ekstraterestrijalnu radijaciju. Trajkovic (2007) navodi da je neophodna kalibracija ove jednačine izmenom eksponenta i predlaže

vrednost 0,424 umesto originalne 0,5 koja bi trebalo da se koristi na području zapadnog Balkana.

Turc (Turc, 1961) je radijacioni metod koji zahteva sledeće podatke: srednju maksimalnu i minimalnu temperaturu vazduha, globalnu radijaciju, maksimalnu radijaciju prema Angotovim tablicama uz providnost atmosfere od 1, efektivno trajanje osunčanosti u toku meseca i maksimalno mesečno trajanje osunčanosti. Trajković i Stojnić (2007) navode da je ovaj metod jedan od najjednostavnijih i najpouzdanijih metoda proračuna referentne evapotranspiracije, kao i da njegova pouzdanost zavisi od brzine vetra. Trajković i Kolaković (2009c) predlažu novu prilagođenu jednačinu koja sadrži i korekcionni factor.

Vučić (1971) je za naše uslove utemeljio Bioklimatski metod, koji koristi srednju dnevnu temperaturu. Bošnjak (1999) navodi da se ovaj metod zasniva na visokoj korelaciji potencijalne evapotranspiracije i srednje dnevne temperature, a to predstavlja garanciju da se srednja dnevna temperatura može pouzdano primenjivati kao osnova za obračun potreba biljaka za vodom. Istovremeno sa promenom temperature menjaju se i drugi meteorološki (ili fizički činioci isparavanja), tako da se korišćenjem samo srednje dnevne temperature dobijaju realne vrednosti obračuna dnevne evapotranspiracije što je potvrđeno eksperimentalnim istraživanjima više autora (Vučić, 1971; Bošnjak 1999). Pejić i Gajić (2006) takođe navode da je temperatura vazduha pogodna iz dva razloga: evapotranspiracija predstavlja termički proces koji zavisi od količine energije predstavljene kao sume srednjih temperatura vazduha, a kao drugo temperatura vazduha nije podložna značajnim promenama u određenom regionu. Bioklimatski metod koristi Bioklimatske koeficijente, koji se utvrđuju biološkim postupkom, poljskim eksperimentima pri čemu se utvrdi potencijalna evapotranspiracija za određenu kulturu, koja se deli sa sumom srednje dnevni vrednosti određenog meteorološkog elementa (element koji ostvaruje najveći stepen korelacije sa potencijalnom evapotranspiracijom) i utvrđuje se Bioklimatski koeficijent, ili indeksi (Bošnjak, 1999). Ako se srednja temperatura vazduha koristi kao osnova za izračunavanje potencijalne evapotranspiracije tada se dobijeni Bioklimatski koeficijent naziva Hidrofitotermički indeks (Bošnjak, 1999). Hidrofitotermički indeksi pokazuju koliko milimetara vode (m^3/ha) troše biljke na evapotranspiraciju za svaki stepen srednje dnevne temperature vazduha. Vrednosti Hidrofitotermičkih indeksa nisu iste u celom periodu vegetacije odnosno najmanje su na početku i kraju vegetacije, a najveće u letnjim mesecima i u korelaciji su sa rastom i razvićem biljaka i promenom vremenskih uslova koji uslovljavaju potrošnju vode za evapotranspiraciju (Pejić i Gajić, 2006). Brojni autori su utvrdili

Hidrofitotermičke koeficijente za razne ratarske, povrtarske i voćarske kulture na osnovu eksperimentalnih istraživanja u poljskim uslovima odnosno višegodišnjim ispitivanjima i proverama u praksi navodnjavanja (voćarske kulture (Bošnjak i sar., 1994; Vučić i sar.,1980; Vučić i sar.,1981), ratarske i povrtarske kulture (Bošnjak, 1993; Bošnjak, 1994, Bošnjak, 1982; Bošnjak, 1983a; Bošnjak,1983b; Kišgeci, 1974; Vučić i Bošnjak, 1980; Dragović, 1973; Vučić i Jocić, 1970; Maksimović i sar., 2006; Pejić i sar., 2008; Pejić i sar, 2006; Bošnjak, 1991). Bioklimatski metod je usavršavan, detaljno proučavan i eksperimentalno proveravan, a tačnost mu je verifikovana na nivou režima navodnjavanja prema vlažnosti zemljišta u našim agroekološkim uslovima, (Bošnjak, 1982; Pejić, 1993). Pored uspešne primene u uslovima Vojvodine, ovaj metod takođe može biti korišćen u bilo kojem drugom regionu utvrđivanjem novih Hidrofitotermičkih koeficijenata jer je područje njihove primene ograničeno samo za reon za koji su utvrđeni (Pejić i sar., 2008). Bioklimatski metod baziran na Hidrofitotermičkim koeficijentima je najviše korišćeni metod za određivanje deficita ili suficita vode za potrebe biljaka u semi-aridnim uslovima Vojvodine (Marinković i sar., 2009). Široka primena ovog metoda od strane domaće naučne i stručne javnosti, kao i njegova praktična upotreba može se pronaći u brojnoj literaturi (Dozet i sar., 2008; Červenski i Takač, 2012; Maksimović i Dragović, 2002; Marinković i sar., 2009; Aksić i sar., 2008; Pejić i Vujkov, 2002; Pejić i sar., 2012a; Pejić i sar., 2012b; Pejić i sar., 2009a; Pejić i sar., 2009b; Pejić i sar., 2011c; Pejić i sar., 2011d; Pejić i sar., 2013; Vučić, 1973 itd.)

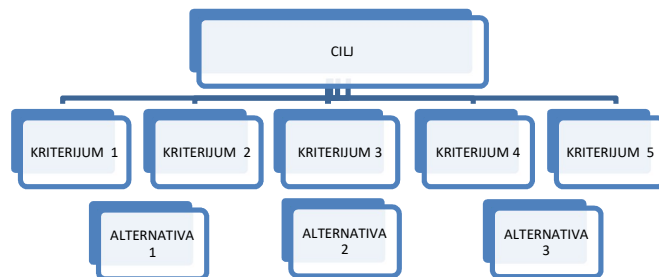
U pasusu koji sledi prikazan je deo opisa problematike izbora metoda izračunavanja evapotranspiracije koji iznose i komentarišu Fisher i sar. (2011). Autori (Fisher i sar. 2011) navode da se u literaturi retko daje jasan argument o razlozima odabira određenog metoda za izračunavanje evapotranspiracije. Često istaživači biraju metod na osnovu pristupačnosti podataka. Postavlja se pitanje kako od brojnih metoda izabrati jedan koji najviše odgovara konkretnom slučaju i pri tome se javljaju dva kontradiktorna cilja a to su tačnost procene i jednostavnost korišćenja. Najtačniji model može biti i najkompleksniji model, ali podrazumeva se da su ulazni podaci dostupni i tačni (pouzdati). Takođe, kompleksnost modela ne mora da bude značajna odnosno evapotranspiracija na konkretnoj lokaciji može biti zavisna samo od nekoliko, a ne od velikog broja faktora. Najvažnije je da metod odgovara problemu koji se izučava. Iz tog razloga, pri izboru metoda mora se uzeti u obzir kako kvalitet i dostupnost ulaznih podataka, tako i zavisnost evapotranspiracije od faktora koji vladaju na posmatranom geografskom području. Prvo se određuje koliko kompleksan model je potreban, a zatim se prikupljaju neophodni podaci koji treba da odgovaraju zahtevima određenog istraživanja i istraživanog područja.

2.7. Osnove Analitičkog Hijerarhijskog Procesa (AHP) u individualnom i grupnom odlučivanju

Analitički hijerarhijski proces (AHP) (Saaty, 1980) je jedan od najčešće korišćenih metoda višekriterijumske analize. Jednostavnost upotrebe, konstrukcija AHP-a koja sledi intuitivan način razmišljanja donosioca odluka, hijerarhijsko modeliranje problema, mogućnost usvajanja verbalnih ocena i mogućnost verifikacije konzistentnosti su glavne prednosti ovog metoda zaslužne za njegovu veliku rasprostranjenost (Ishizaka i Labib, 2011). Od kad je Saaty (Saaty, 1980) predstavio AHP, ovaj metod višekriterijumske analize, zahvaljujući svojoj jednostavnosti, lakoći upotrebe i fleksibilnosti (Ho, 2008), je korišćen za rešavanje problema odlučivanja u različitim oblastima. Široka primena AHP metoda u individualnom i grupnom odlučivanju u oblasti poljoprivrede, vodoprivrede i povezanih delatnosti može se videti kroz različite pristupe i primene koji se baziraju na ovoj metodologiji (npr. Okada i sar., 2008; Thapa i Murayama, 2008; Srdjevic i Medeiros, 2008; Blagojević i sar., 2010; Srdevic i sar., 2011; Blagojević i sar., 2012; Draginčić i Vranešević, 2014; Gallego-Ayala i Juízo, 2014; Montazar i Zadbagher, 2010; Dragincic i sar., 2015; Blagojevic i sar., 2016; Mir i Padma, 2017; itd.).

Glavna karakteristika ovog pristupa su: modeliranje problema korišćenjem hijerarhijske strukture koja reflektuje sve relevantne aspekte problema odlučivanja (scenarije, aktere, kriterijume, podkriterijume, alternative itd.), korišćenje poređenja u parovima kako bi se uzele u obzir preferencije donosilaca odluka koje se tiču materijalnih i nematerijalnih aspekata, izvođenje skale odnosa za prioritete alternativa koje su poređene (Aguarón i sar., 2016).

AHP (Saaty, 1980) podrazumeva dekompoziciju problema odlučivanja u hijerarhiju sa više nivoa gde se cilj nalazi na vrhu, a kriterijumi, podkriterijumi i alternative na nižim nivoima hijerarhije (Slika 4).



Slika 4. Hijerarhija problema odlučivanja

Na svim nivoima hijerarhije pored se parovi elemenata na datom nivou hijerarhije u odnosu na sve elemente na višem nivou hijerarhije korišćenjem skale relativnog značaja odnosno davanjem lingvističkih ocena i povezanih numeričkih vrednosti (Saaty, 1980). U upotrebi su razne skale relativnog značaja, a za potrebe ove disertacije korišćiće se Saaty-ijeva skala relativnog značaja predložena u standardnom AHP metodu (Saaty, 1980). Numeričke vrednosti se smeštaju u specifičnu matricu poređenja elemenata koja je pozitivna i recipročna, a elementi na glavnoj dijagonali matrice su jednaki 1.

Tabela 6. Saatyjeva skala relativnog značaja (Saaty, 1980)

Definicija	Značaj
Isti značaj (Equal importance)	1
Slaba dominantnost (Weak dominance)	3
Jaka dominantnost (Strong dominance)	5
Vrlo jaka dominantnost (Demonstrated dominance)	7
Apsolutna dominantnost (Absolute dominance)	9
Međuvrednosti (Intermediate values)	(2,4,6,8)

Kako bi se odredili lokalni vektori prioriteta iz svake matrice poređenja odnosno težinski koeficijenti elemenata na svakom nivou hijerarhije, predloženi su u literaturi brojni metodi prioritizacije. Saaty, tvorac AHP metoda, predlaže eigenvector method (EV). Pored ovog metoda postoje i brojni drugi predloženi u literaturi. Yang i sar. (2018) nabraja neke od njih: eigenvector method (EV), weighted least squares method (WLS), logarithmic least squares method (LLS), heuristic approach, cosine maximization method. Više o metodima prioritizacije može se pronaći u literaturi (Srdjevic, 2005; Yuen, 2010; Gao i sar., 2010). Nakon što se nekim od metoda prioritizacije odrede lokalne težine elemenata odlučivanja odnosno lokalni vektori prioriteta iz svake matrice, na kraju se aditivnom sintezom dolazi do težina alternativa u odnosu na cilj odlučivanja.

AHP ne forsira pojedinca ili grupu da budu savršeno konzistentni kada pored parove elemenata (Harker, 1987). Drugim rečima, AHP dozvoljava nekonzistentnost, ali pruža meru nekonzistentnosti za svaki skup ocena (Tang i sar., 2011). U literaturi su predstavljeni razni pristupi za merenje konzistentnosti donosilaca odluka. Saaty (1977) je za proveru konzistentnosti predložio CR - consistency ratio, koji se koristi kada se upotrebljava EV metod prioritizacije.

AHP metod je pored individualnog, pogodan i za grupno odlučivanje. Grupno donošenje odluka ima za cilj da se dobije preferencija grupe agregacijom individualnih preferencija (Lin i Kou, 2015). Autori Blagojević i sar. (2017) i

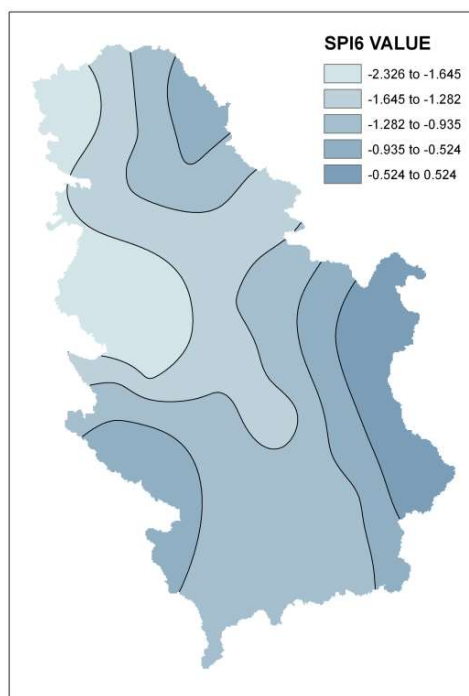
Blagojević (2015) daju pregled poznatih načina dobijanja grupne odluke u AHP metodu i navode da su dva najčešće korišćena metoda: aggregation of individual judgments (AIJ) i aggregation of individual priorities (AIP) (Ramanathan i Ganesh, 1994; Forman i Peniwati, 1998) i da je pored njih u upotrebi treći način dobijanja grupne odluke primenom konvergentnog modela konsenzusa (Consensus Convergence Model - CCM) (Regan i sar., 2006), kao i četvrti putem konsenzusa gde postoje različiti modeli predstavljeni u literaturi. Dong i sar. (2010) navode da su brojni istraživači fokusirani na odabir modela u AHP grupnom odlučivanju (metoda prioritizacije i pravila agregacije) i takođe navode da su dva metoda najkorisnija u AHP grupnom odlučivanju: aggregation of individual judgments (AIJ) i aggregation of individual (final) priorities (AIP) (Ramanathan i Ganesh, 1994; Forman i Peniwati, 1998). Za potrebe ove disertacije biće korišćen AIP metod, koji podrazumeva da će se prvo dobiti individualni vektori prioriteta za svakog donosioca odluka posebno i koji će se zatim objediniti u grupni vektor prioriteta odnosno grupnu odluku. Najčešće korišćene matematičke procedure za agregaciju individualnih vektora prioriteta u grupni su: Weighted Arithmetic Mean Method (WAMM) i Geometric Mean Method (GMM) (Forman i Peniwati, 1998). Autori dalje navode da za AIJ metod GMM mora da se koristi, dok za AIP mogu da se koriste oba metoda.

2.8. Primena Geografskog Informacionog Sistema (GIS) u proučavanju suše

Geografski Informacioni Sistem (GIS) predstavlja sistem za prikupljanje, obradu, analizu, pretraživanje i grafičko predstavljanje podataka o prostoru i atributa koji su vezani za njih (Mesaroš i Pavić, 2006). GIS sačinjavaju četiri međusobno povezane komponente: hardver, softver, podaci i korisnici (Marinčić, 2007). Formiranje i razvoj GIS-a je započeto šezdesetih godina prošlog veka kao napredna tehnologija za praćenje korišćenja poljoprivrednih površina u Kanadi, a danas je našao mesto primene u mnogim naučnim i privrednim granama, ali i u društvu u celini (Manić i sar. 2016; Manić, 2010). Tehnologije geografskog informacionog sistema se primenjuju u naučnim istraživanjima, u upravljanju resursima, za potrebe imovinskog upravljanja, planiranja razvoja, u prostornom planiranju, u planiranju infrastrukture, u kartografiji, za potrebe marketinških istraživanja i u svim ostalim oblastima koje koriste podatke vezane za prostor (Čekerevac i sar., 2010). Usavršavanje GIS tehnologija dovelo je do toga da se donosiocima odluka omogućava pružanje dodatnih informacija u cilju predviđanja događaja, optimalnog korišćenja raspoloživih resursa, minimiziranja potencijalnih grešaka i maksimiziranja koristi (Manić i sar. 2016).

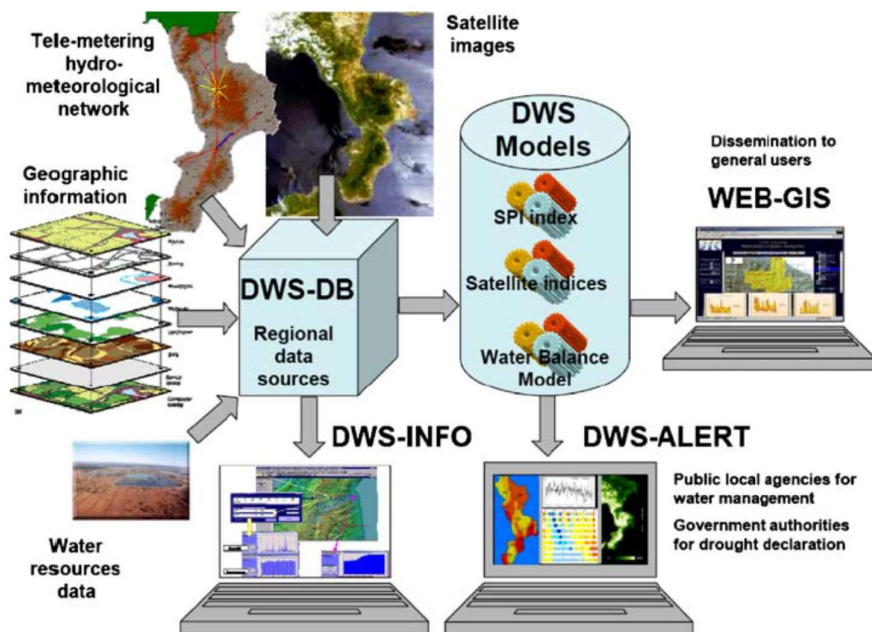
Podaci koji se unose u GIS predstavljaju osobine, karakteristike ili različita obeležja nekog objekta, ali sadrže i informaciju o prostornom položaju tog objekta (Gavrić i Sekulić 2004). Podaci su ključni element GIS-a jer se prikupljeni podaci mogu obrađivati primenom različitih tehnika, a potom se dobijeni rezultati mogu prikazati u vidu tabela, grafikona ili karata i mapa (Manić i sar. 2016). Podaci koji čine jedan GIS mogu se podeliti na prostorne ili geometrijske podatke koji imaju definisanu odrednicu u prostoru, i na dodatne ili atributne podatke koji se nadovezuju na prostorne podatke (Bezdan, 2014).

Primena tehnologija GIS-a može se videti u brojnoj literaturi koja se odnosi na proučavanje pojave suše širom sveta (npr. Wu i Wilhite, 2004; Nam i sar., 2012; Ganapuram i sar., 2013; Wu i sar., 2013; Bezdan, 2014; Shahid i Behrawan, 2008; Blauhut i sar., 2015 itd.). Chapman i Thornes (2003) daju pregled uloge geografskog informacionog sistema u klimatologiji i meteorologiji. U radu (Wu i Wilhite, 2004) se navodi da je GIS neophodan alat u sistemima monitoringa poljoprivredne suše koji integriše brojne faktore koji utiču na pojavu suše i ima mogućnost da donosi odluka prikaže rezultate blagovremeno i na odgovarajući način. U daljem tekstu mogu se videti nekoliko izdvojenih primera primene GIS-a u proučavanju pojave suše u domaćoj i stranoj literaturi. U radu Benka i sar. (2010) ispitivana je primena geostatističkih metoda interpolacije u GIS okruženju za potrebe mapiranja indeksa suše SPI na području Srbije. Rezultat je prikazan na Slici 5.



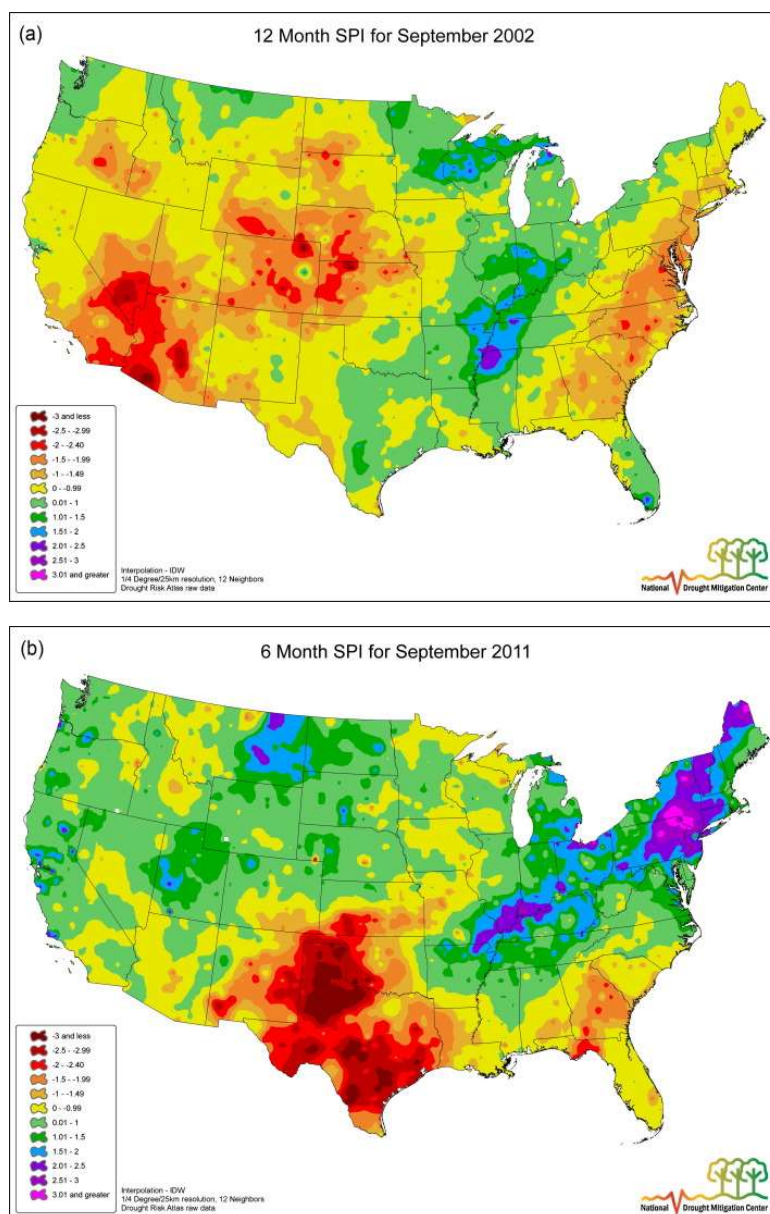
Slika 5. Teritorija Srbije, karta SPI6 za 2003. godinu (Benka i sar., 2010)

U radu Mendicino i Versace (2007) su prikazane mogućnosti sistema za praćenje pojave suše na jugu Italije razvijenog na bazi GIS tehnologija integrisanih sa telemetrijskom hidrometeorološkom mrežom, hidrološkim bazama podataka i modelom vodnog bilansa (Slika 6).



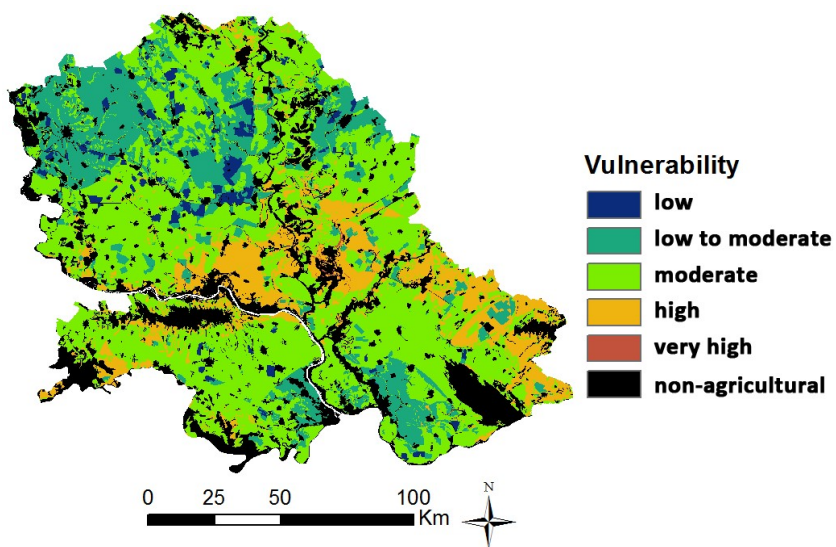
Slika 6. Sistem za praćenje suše na jugu Italije (Mendicino i Versace, 2007)

U radu Svoboda i sar. (2015) je predstavljen atlas rizika od pojave suše u Sjedinjenim Američkim Državama, gde je suša prikazana sa više indeksa uključujući SPI, SPEI, PDSI i SC-PDSI korišćenjem GIS tehnologija, a kreiranog za potrebe unapređenja donošenja odluka pri upravljanju rizikom od suše. Ilustracije karata indeksa SPI iz atlasa rizika od pojave suše je prikazana na Slici 7.



Slika 7. Karte indeksa SPI12 za septembar 2002. i SPI6 za septembar 2011. za područje Sjedinjenih Američkih Država (Svoboda i sar., 2015)

U radu Bezdán i sar. (2012) prikazan je metod procene ranjivosti na poljoprivrednu sušu u Vojvodini na bazi klimatskih karakteristika područja, karakteristika zemljišta, načina korišćenja zemljišta, geomorfoloških karakteristika i dostupnosti navodnjavanja kao ključnih faktora ranjivosti na poljoprivrednu sušu uz korišćenje tehnologija GIS-a (Slika 8).



Slika 8. Karta ranjivosti na poljoprivrednu sušu u Vojvodini
(Bezdan i sar., 2012)

3. CILJ I SVRHA ISTRAŽIVANJA

Cilj istraživanja je da se definiše pristup monitoringu poljoprivredne suše u Vojvodini prilagođen lokalnim agroklimatskim uslovima koji će biti jednostavan, precizan i praktičan za upotrebu. Za potrebe definisanja pristupa monitoringu suše primeniće se poznati i široko prihvaćeni indeks suše SPEI povezan sa specifičnom kulturom (ratarskom ili povrtarskom) što omogućava da se suša odnosno uslovi vlažnosti analiziraju individualno za određenu kulturu u agroklimatskim uslovima Vojvodine. Dobijeni indeks bi više odražavao potrebe useva za vodom, što bi moglo dovesti do racionalnijeg planiranja i upravljanja vodnim resursima za potrebe poljoprivredne proizvodnje. Informacije dobijene primenom predloženog pristupa mogu pomoći donosiocima odluka na različitim nivoima da sagledaju poljoprivrednu sušu Vojvodine na detaljniji način i u odnosu na ekonomski značajne gajene kulture. Cilj ovog istraživanja je takođe da se definiše pristup monitoringu poljoprivredne suše sa generalnog aspekta koji će uz određene lokalno specifične modifikacije moći da se upotrebi u bilo kom drugom regionu. Predloženi pristup, koji će biti primenjen na području Vojvodine, biće detaljno opisan po koracima što ima za cilj da omogući njegovu primenu i modifikaciju kako bi se prilagodio bilo kojim drugim agroklimatskim uslovima i kako bi se dobile što preciznije i pouzdanije informacije.

4. RADNA HIPOTEZA

Radna hipoteza je da će se pristupom monitoringu poljoprivredne suše baziranom na modifikovanom SPEI indeksu koji u obzir uzima specifičnosti lokalnih agroklimatskih uslova, specifičnosti poljoprivrednih kultura kao i mišljenje eksperata zasnovano na njihovom znanju i iskustvu, omogućiti sagledavanje poljoprivredne suše na detaljniji i praktičniji način i u odnosu na ekonomski značajne gajene kulture.

Rezultati primene predloženog pristupa mogu pomoći budućem planiranju poljoprivredne proizvodnje, upravljanju vodnim resursima i merama prilagođavanja budućim sušnim događajima. Dobijene informacije bazirane na dugogodišnjim istorijskim podacima mogu da budu od pomoći da se preduprede štete od suše, odnosno da se pruži blagovremena informacija i poveća spremnost kako bi se pripremili i na odgovarajući način reagovali na buduće sušne događaje kako donosioci odluka na državnom i regionalnom nivou, tako i poljoprivredni proizvođači, razne poljoprivredne i trgovačke kompanije, osiguravajuća društva i drugi subjekti pogođeni sušom. Rezultati primene predloženog pristupa će omogućiti da se vidi kako su meteorološki uslovi uticali na određene biljne vrste odnosno kako su uticali isti uslovi vlažnosti u određenom trenutku u prošlosti na različite kulture.

Takođe se predpostavlja da će primena predloženog pristupa omogućiti da se identifikuju najugroženija područja i kulture, odnosno da se otkrije za koje kulture su bili najlošiji uslovi vlažnosti. Ove informacije su od značaja kako bi se u budućnosti dao prioritet određenim područjima za izgradnju hidromelioracionih objekata, birale kulture, sorte i hibridi otporniji na sušu i blagovremeno planirala poljoprivredna proizvodnja.

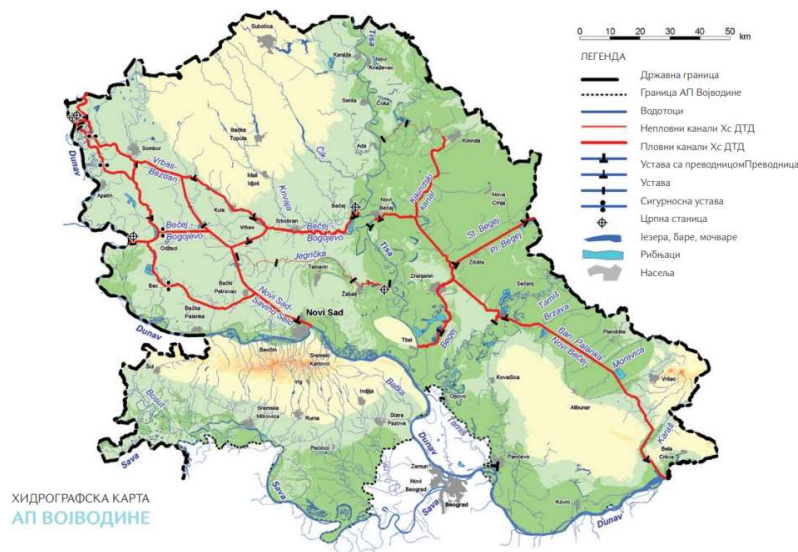
Definisan i detaljno opisan predloženi pristup monitoringu poljoprivredne suše, kao i detaljno prikazana metodološka i matematička osnova, omogućiće da se on modifikuje i prilagodi bilo kojim drugim lokalnim agroklimatskim uslovima, gajenim kulturama i na taj način postane primenjiv u bilo kom drugom regionu sveta.

5. MATERIJAL I METOD RADA

5.1. Opis i klimatske karakteristike istraživanog područja

U ovom radu istraživanjima je obuhvaćeno područje Vojvodine. Vojvodina se nalazi u jugoistočnom delu Karpatskog (Panonskog) basena i obuhvata površinu od 21.506 km². Reljef ovog područja je većinom ravničarski izuzev Srema (planina Fruška Gora) i jugoistočnog Banata (Vršачki Breg). Na severu se graniči sa Mađarskom, na zapadu sa Hrvatskom, na istoku sa Rumunijom i na jugozapadu sa Bosnom i Hercegovinom.

Vojvodina je hidrološki čvor, bogata velikim prirodnim vodotocima i kanalima hidrosistema Dunav–Tisa–Dunav (Škorić i sar., 1995). Veće plovne reke na ovom području su: Dunav, Tisa, Sava, dok su manje: Stari Begej, Tamiš, Karaš, Krivaja, Bosut i druge (Slika 9).



Slika 9. Hidrografska karta AP Vojvodine (<http://www.vodevojvodine.com>)

U celoj Srbiji je oko 2,2 miliona hektara godišnje pod žitaricama i uljaricama, gde približno polovinu ovog područja zauzima kukuruz i četvrtinu pšenica, dok je ostatak pod sojom, suncokretom i šećernom repom (Stojanović i sar., 2016). Vojvodina je najznačajniji poljoprivredni region u Srbiji i ima povoljne zemljišne i klimatske uslove za uspešan uzgoj useva (Dragović, 2012). Ukupna površina Vojvodine iznosi 2.150.600 ha, a poljoprivredno zemljište čini čak 1.747.000 ha (odnosno 81,26%), dok je učešće obradivog zemljišta 74,6 % (Popović, 2017).

Vojvodina prema geografskom položaju leži u oblasti umereno-kontinentalne klime (Katić i sar., 1979; Lalić i sar., 2011), koju odlikuju hladne zime i topla i vlažna leta, veliki rasponi temperatura u toku godine i nejednaka raspodela padavina po mesecima (Hrnjak i sar., 2014). Prema Keppenovoj (Köppen) klasifikaciji klime, klimatološka formula za područje Vojvodine ima oblik „Cfwbx” što u opisnoj formuli odgovara: umereno-toplom kišnom tipu, sa toplim letima, maksimumom padavina u leto i sekundarnim maksimumom padavina u poznu jesen (Mihailović, 1988; Josimov-Dunđerski, 2009; Mihailović i sar., 2015).

U nastavku je dat prikaz klimatskih elemenata na području Vojvodine na osnovu podataka sa devet meteoroloških stanica Republičkog hidrometeorološkog zavoda Srbije za period od 1971 do 2016. godine. Sledeće stanice su uzete u razmatranje: Rimski Šančevi, Sremska Mitrovica, Bečej, Kikinda, Palić, Sombor, Vršac, Zrenjanin i Beograd (Slika 10). Podaci sa navedenih meteoroloških stanica, pri analizi suše na području Vojvodine, korišćeni su i u radovima Stričević i sar. (2011b) i Bezdani (2014).



Slika 10. Položaj meteoroloških stanica

Temperatura vazduha je jedan od najznačajnijih klimatskih elemenata. U Vojvodini u posmatranom periodu od 1971 do 2016. godine, prosečna godišnja temperatura vazduha iznosi 11,5 °C. Na ovom području, prosečna temperatura u vanvegetacionom periodu iznosi 4,7 °C, a u vegetacionom 18,3 °C. Velika razlika između najhladnijih i najtoplijih dana ukazuje na kontinentalnost klime (Demirović, 2016), što se može videti iz podataka da je prosečno najhladniji

mesec januar sa prosečnom temperaturom od 0,4 °C, a najtopliji je jul sa prosečnom temperaturom od 21,9 °C.

Padavine su veoma značajan klimatski i bioklimatski element koji ima presudan značaj u razvoju biljaka, a uzimajući u obzir atmosferske procese i karakteristike reljefa, padavine su na području Vojvodine prostorno i vremenski neravnomerno raspoređene (Josimov-Dunđerski, 2009). Vojvodina nosi obeležje podunavskog režima raspodele padavina, sa neravnomernošću raspodele po mesecima (Mihailović i sar., 2004). Padavine se najviše javljaju u junu mesecu 82,4 mm, a najmanje u februaru 33,6 mm. Najveća mesečna količina padavina je zabeležena u julu mesecu od 326 mm, a u posmatranom periodu zabeleženi su i meseci bez padavina (april, oktobar, novembar i decembar). Prosečna suma padavina u vanvegetacionom periodu iznosi 249 mm, u vegetacionom iznosi 366 mm, a prosečna godišnja suma padavina u Vojvodini iznosi 615 mm.

Relativna vlažnost vazduha kao značajni klimatski element predstavlja količinu vodene pare u atmosferi i zavisi od temperature vazduha, sa kojom stoji u obrnuto proporcionalnoj vezi. U Vojvodini je relativna vlažnost vazduha u prolećnim i letnjim mesecima (april – avgust) najniža i prosečno iznosi oko 66%, dok se najveća relativna vlažnost javlja u decembru (85%) i januaru (84%). U vanvegetacionom periodu prosečna vlažnost vazduha je 79%, u vegetacionom 67%, a prosek za celu godinu iznosi 73%.

Insolacija ili trajanje sunčevog sjaja predstavlja vremenski interval u kom je bilo direktnog sunčevog zračenja (Josimov-Dunđerski, 2009). Na području Vojvodine u letnjim mesecima javlja se najduže prosečno trajanje sunčevog sjaja (jul, 295 časova), a najkraće trajanje u zimskim mesecima (decembar, 60 časova). Prosečna osunčanost u toku godine iznosi 2091 časova, u vanvegetacionom periodu je 629 časova, a u vegetacionom periodu 1464 časova.

Vetar je klimatski element koji u velikoj meri utiče na evapotranspiraciju i evaporaciju. Prema Studiji "Atlas vetrova Vojvodine" (Katić i sar., 2008) u Vojvodini duvaju uglavnom četiri vetra. Autori (Katić i sar., 2008) dalje navode da hladan i jak vetar "košava" nastaje usled vazdušnih strujanja iz južnih delova Rusije prema Sredozemnom moru, dolazi dolinom Dunava i prolazi kroz Đerdapsku klisuru. Vetar "severac" je hladan, "južni" je topli vetar, dok se "zapadni" najčešće javlja i donosi padavine kišu ili sneg. Prosečna godišnja brzina vetra na području Vojvodine iznosi 2,5 m/s. Najveća prosečna brzina vetra se javlja u martu i aprilu mesecu, oko 3 m/s, a najmanja u avgustu 1,9 m/s.

Evapotranspiracija se sastoji od složenih, međuzavisnih procesa kretanja vode iz zemljišta i kroz biljke u atmosferu (Trajković, 2009a). Potencijalna evapotranspiracija ili potreba biljaka za vodom predstavlja onu količinu vode koja bi se trošila u uslovima optimalnog snabdevanja biljaka vodom, kada biljke ostvaruju maksimalnu transpiraciju i daju maksimalne prinose (Josimov-Dunđerski, 2009). Najveće vrednosti evapotranspiracije se javljaju u letnjim mesecima. Prosečna dnevna vrednost ET_0 za Vojvodinu proračunate po FAO-56 Penman-Monteith metodi u julu mesecu iznosi 4,7 mm. Najmanje vrednosti su u zimskim mesecima, u decembru i januaru, i iznose u proseku 0,5 mm po danu. Prosečna suma u vanvegetacionoj sezoni iznosi 192 mm, u vegetacionoj sezoni iznosi 694 mm, a godišnja suma u proseku iznosi 886 mm.

5.2. Indeksi suše

5.2.1. PDSI - Palmer Drought Severity Index

Palmerov indeks jačine suše (PDSI) je razvijen 1965. godine (Palmer, 1965) i jedan je od prvih indeksa koji se uspešno pokazao u kvantifikovanju intenziteta suše u različitim klimatskim uslovima (Wells i sar., 2004). U svojoj dugoj upotrebi postao je standard za praćenje i istraživanje pojave meteorološke suše, posebno u SAD (Draginčić i sar. 2017, Wells i sar., 2004). PDSI se bazira na setu empirijskih relacija kojima se predstavljaju regionalni uslovi vlažnosti standardizovani u odnosu na lokalne klimatske uslove (Lloyd-Hughes i Saunders, 2002). Formulacija procedure računanja indeksa PDSI prikazana je u nastavku, a detaljno je objašnjena u radovima (Lloyd-Hughes i Saunders, 2002; Alley, 1984; Wells i sar., 2004).

Indeks predstavlja sumu trenutne anomalije vlage i deo prethodne vrednosti indeksa. Anomalija vlage je definisana kao:

$$d = P - \hat{P} \quad (1)$$

gde P predstavlja ukupne mesečne padavine, \hat{P} su količine padavina koje su "klimatološko odgovarajuće za date uslove" (Palmer, 1965) i koji se dobija iz jednačine vodnog bilansa:

$$\hat{P} = \overline{ET} + \overline{R} + \overline{RO} - \overline{L} \quad (2)$$

gde je \overline{ET} evapotranspiracija, \overline{R} je dotok vode ili dopunjavanje vlage u zemljištu, \overline{RO} je oticaj, a \overline{L} su gubici vlage iz zemljišta. Gornje crtice označavaju da se radi o srednjim vrednostima u posmatranom mesecu za

određeni period kalibracije. \hat{P} je hidrološki faktor koji zahteva lokalnu parametrizaciju. Palmerov indeks anomalije vlage (Z indeks) je definisan:

$$Z = K \cdot d \quad (3)$$

Indeks PDSI za posmatrani mesec i se definiše:

$$PDSI_i = 0,897PDSI_{i-1} + \frac{Z_i}{3} \quad (4)$$

K predstavlja klimatski težinski faktor kojim se karakterišu lokalni klimatski uslovi.

Vrednosti indeksa PDSI su podeljene u 11 kategorija od ekstremne suše do ekstremno vlažnih uslova, dati u Tabeli 7.

Tabela 7. Klasifikacija uslova vlažnosti prema indeksu PDSI

PDSI	Klase
4,00 < PDSI	Ekstremno vlažno
3,00 – 4,99	Veoma vlažno
2,00 – 2,99	Umereno vlažno
1,00 – 1,99	Vlažno
0,50 – 0,99	Početak vlažnog perioda
0,49 – (-0,49)	Blisko normalni uslovi
-0,50 – (-0,99)	Početak sušnog perioda
-1,00 – (-1,99)	Sušno
-2,00 – (-2,99)	Umerena suša
-3,00 – (-3,99)	Veoma sušno
-4,00 > PDSI	Ekstremna suša

Da bi se poboljšala prostorna uporedivost indeksa PDSI, Wells i sar. (2004) su razvili samo-kalibrišući PDSI (SC-PDSI), gde se umesto fiksnih vrednosti koeficijenata za proračun stavki vodnog bilansa vrši kalibracija tih koeficijenata prema lokalnim uslovima (Draginčić i sar., 2017). U procesu samo-kalibracije indeksa SC-PDSI empirijski klimatski faktor K i vremenski faktori (0,897 i 1/3) zamenjuju se vrednostima koje se automatski kalkulišu iz vremenskog niza klimatskih podataka posmatrane lokacije, a sam složen postupak kalibracije detaljno je prikazan u radu Wells i sar. (2004).

5.2.2. SPI - Standardized Precipitation Index

Standardizovani indeks padavina (SPI) razvijen je od strane autora McKee i sar. (1993) u cilju poboljšanja osmatranja sušnih i vlažnih perioda u odnosu na PDSI indeks (Guttman, 1999). Guttman (1999) dalje navodi da se SPI bazira na verovatnoćama pojave i kreiran je da bude prostorno invarijantan indikator suše koji uzima u obzir važnost vremenskih skala u analizama raspoloživosti vodnih resursa i korišćenja vode.

SPI se računa sumiranjem padavina u određenom periodu akumulacije i pronalaženjem teorijske distribucije koja se najbolje slaže sa empirijskim podacima padavina koja se transformiše u standardnu normalnu distribuciju čija je srednja vrednost jednaka 0, a standardna devijacija iznosi 1 i time je SPI normalizovan u prostoru i vremenu (Stagge i sar., 2015, McKee i sar., 1993; Guttman, 1999; Lloyd-Hughes i Saunders, 2002). Kratkoročni periodi akumulacije padavina mogu biti važni za poljoprivredu, a dugoročni periodi akumulacije padavina mogu biti od značaja za vodne resurse, odnosno imati uticaj na protoke u rekama, nivoima vode u jezerima i bunarima podzemnih voda (Guttman, 1999).

Prethodna istraživanja (Lloyd-Hughes i Saunders, 2002; Stagge i sar. 2015) su pokazala da padavine u Evropi podležu zakonu 2-parametarske gama distribucije i da je ona pogodna za računanje SPI, a McKee i sar. (1993) su pokazali da je ova distribucija pogodna za korišćenje prilikom računanja SPI u SAD. Funkcija verovatnoća gama distribucije je definisana za $X > 0$ i data je formulom:

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad (5)$$

gde je α parametar oblika ($\alpha > 0$), β je parametar razmere ($\beta > 0$) i x je količina padavina.

$\Gamma(\alpha)$ je gama funkcija i definisana je izrazom:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (6)$$

Edwards i McKee (1997) su dali preporuku da se parametri oblika i razmere procenjuju aproksimacijom prema Thom (1958) metodom maksimalne verodostojnosti iz višegodišnjih nizova podataka o količinama padavina. Parametri α i β se procenjuju sledećim formulama:

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad (7)$$

$$A = \ln(x_{sr}) - \frac{\sum \ln(x_i)}{n} \quad (8)$$

$$\hat{\beta} = \frac{x_{sr}}{\hat{\alpha}} \quad (9)$$

gde je x_{sr} srednja vrednost količina padavina, n je broj merenja, x_i je količina padavina u nizu podataka ($i=1, 2, 3...n$).

Nakon proračuna parametara gama raspodele sledi proračun kumulativne verovatnoće gama raspodele za izmerenu vrednost količine padavina (x). Kumulativna verovatnoća se računa pomoću izraza (Lloyd-Hughes i Saunders, 2002):

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx \quad (10)$$

Funkcija verovatnoća gama raspodele nije definisana za $x = 0$. Zato se mogućnost da je količina padavina jednaka 0 mm, tj. da nije bilo padavina, uključuje u proračun pomoću izraza (Lloyd-Hughes i Saunders, 2002):

$$H(x) = q + (1-q)G(x) \quad (11)$$

gde je q verovatnoća da je količina padavina jednaka nuli.

Nakon određivanja kumulativne verovatnoće $H(x)$, sledi transformacija vrednosti $H(x)$ u vrednost SPI. Transformacija u SPI se izvodi upotrebom aproksimacije (Abramowitz i Stegun, 1965):

$$SPI = - \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad \text{za } 0 < H(x) \leq 0,5 \quad (12)$$

$$SPI = + \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad \text{za } 0,5 < H(x) \leq 1,0 \quad (13)$$

gde se t računa sledećim relacijama:

$$t = \sqrt{\ln \left(\frac{1}{(H(x))^2} \right)} \quad \text{za } 0 < H(x) \leq 0,5 \quad (14)$$

$$t = \sqrt{\ln\left(\frac{I}{(1-H(x))^2}\right)} \quad \text{za } 0,5 < H(x) \leq 1,0 \quad (15)$$

$c_0, c_1, c_2, d_1, d_2, d_3$ su koeficijenti i njihove vrednosti su: $c_0 = 2,515517$;
 $c_1 = 0,802853$; $c_2 = 0,010328$; $d_1 = 1,432788$; $d_2 = 0,189269$; $d_3 = 0,001308$.

McKee i sar. (1993) su predložili skalu za kategorizaciju uslova vlažnosti na osnovu SPI, Tabela 8.

Tabela 8. Kategorizacija uslova vlažnosti na osnovu SPI, McKee i sar. (1993)

SPI	Klase	Verovatnoća pojave %
$2,0 \leq \text{SPI}$	ekstremno kišno	2,3
$1,5 \leq \text{SPI} \leq 1,99$	vrlo kišno	4,4
$1,0 \leq \text{SPI} \leq 1,49$	umereno kišno	9,2
$-0,99 \leq \text{SPI} \leq 0,99$	u granicama normale	68,2
$-1,0 \leq \text{SPI} \leq -1,49$	umereno sušno	9,2
$-1,5 \leq \text{SPI} \leq -1,99$	vrlo sušno	4,4
$\text{SPI} \leq -2,0$	ekstremno sušno	2,3

5.2.3. SPEI - Standardized Precipitation Evapotranspiration Index

Standardizovani indeks padavina i evapotranspiracije (SPEI) razvili su autori Vicente-Serrano i sar. (2010) za potrebe kvantifikovanja stanja suše, koji se računa na osnovu padavina i evapotranspiracije. SPEI se bazira na proceduri računanja indeksa SPI. Originalna formulacija indeksa SPEI koristila je Thornthwaite metodu za računanje ET_0 (Vicente-Serrano i sar. ,2010), a kasnije autori Begueria i sar. (2014) daju preporuku korišćenja Penman-Monteith i Hargreaves metode umesto Thornthwaite metode za računanje ET_0 . Formulacija ovog indeksa detaljno je predstavljena u radu Vicente-Serrano i sar. (2010) i prikazana je u nastavku.

SPEI se u suštini bazira na vrednostima klimatskog vodnog bilansa (D) koji predstavlja jednostavnu ocenu viška ili manjka vode na posmatranom području u posmatranom periodu i računa se kao razlika padavina (P) i referentne evapotranspiracije (ET_0) (Vicente-Serrano i sar. ,2010). Formulacija ovog proračuna po mesecima i data je sledećom jednačinom :

$$D_i = P_i - ET_{0i} \quad (16)$$

Vrednosti klimatskog vodnog bilansa posmatraju se za određene periode akumulacije, odnosno vrednosti D_i se agregiraju po različitim vremenskim

skalama (Vicente-Serrano i sar. ,2010). Vodni bilans $D_{i,j}^k$ u posmatranom mesecu j i godini i zavisi od odabrane vremenske skale k . Na primer, akumulirane razlike padavina i evapotranspiracije za posmatrani mesec j u godini i sa odabranom vremenskom skalom od 12 meseci (razlika P i ET_0 od proteklih 12 meseci) se računa na sledeći način (Vicente-Serrano i sar. ,2010):

$$X_{i,j}^k = \sum_{l=13-k+j}^{12} D_{i-1,l} + \sum_{l=1}^j D_{i,l}, \text{ ako je } j < k \quad (17)$$

$$X_{i,j}^k = \sum_{l=j-k+1}^j D_{i,l}, \text{ ako je } j \geq k \quad (18)$$

Gde je $D_{i,l}$ jednaka razlici $P - ET_0$ u prvom mesecu godine i u milimetrima.

U nastavku procedure računanja SPEI odabrana teorijska distribucija se prilagođava empirijskim vrednostima klimatskog vodnog bilansa. Kako vrednosti klimatskog vodnog bilansa mogu biti negativne neophodno je koristiti tro-parametarsku distribuciju za proračun SPEI. Prethodna istraživanja (Vicente-Serrano i sar., 2010) su pokazala da vrednosti klimatskog vodnog bilansa podležu zakonu 3-parametarske log-logističke raspodele.

Raspodela verovatnoća promenljive D prema log-logističkom zakonu raspodele glasi (Vicente-Serrano i sar., 2010):

$$F(D) = \left[1 + \left(\frac{\alpha}{D - \gamma} \right)^\beta \right]^{-1} \quad (19)$$

Gde α , β i γ predstavljaju parametre razmere, oblika i lokacije procenjene iz uzorka D , a domen funkcije je $\gamma > D < \infty$.

Parametri razmere, oblika i lokacije se procenjuju metodom L-momenata. Kako navode autori (Vicente-Serrano i sar., 2010) L-momenti se prema Singh i sar. (1993) za Pearson III distribuciju računaju prema sledećim jednačinama koje su Vicente-Serrano i sar. (2010) primenili i za računanje L-momenata za log-logističku distribuciju:

$$\beta = \frac{2w_1 - w_0}{6w_1 - w_0 - 6w_2} \quad (20)$$

$$\alpha = \frac{(w_0 - 2w_1)\beta}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)\Gamma\left(1 - \frac{1}{\beta}\right)} \quad (21)$$

$$\gamma = w_0 - \alpha\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)\Gamma\left(1 - \frac{1}{\beta}\right) \quad (22)$$

gde je $\Gamma(\beta)$ gama funkcija β .

Verovatnosni težinski momenti w_s reda s se kako navode Beguería i sar. (2014) računaju prema (Hosking, 1986):

$$w_s = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{\binom{N-i}{s} D_i}{\binom{N-i}{s}} \quad (23)$$

gde je i redni broj opservacije, odnosno posmatrani mesec a N je ukupan broj podataka.

Nakon određivanja $F(D)$ vrednosti SPEI se dobijaju transformacijom u standardnu normalnu raspodelu. Autori Vicente-Serrano i sar. (2010) navode proceduru transformacije koja se bazira na aproksimaciji (Abramowitz i Stegun, 1965):

$$SPEI = W - \frac{C_0 + C_1W + C_2W^2}{1 + d_1W + d_2W^2 + d_3W^3}, \quad (24)$$

gde je:

$$W = \sqrt{-2 \ln(P)} \quad \text{za } P \leq 0,5, \quad (25)$$

a P je verovatnoća prevazilaženja vrednosti klimatskog vodnog bilansa D , $P = 1 - F(D)$. Ako je $P > 0,5$ tada se P zamenjuje sa $1 - P$ i znak rezultujuće vrednosti SPEI se menja. Vrednosti koeficijenata su $c_0 = 2,515517$; $c_1 = 0,802853$; $c_2 = 0,010328$; $d_1 = 1,432788$; $d_2 = 0,189269$ i $d_3 = 0,001308$.

Srednja vrednost SPEI je 0, a standardna devijacija iznosi 1. SPEI je standardizovana promenljiva što omogućava njeno poređenje u prostoru i vremenu. Vrednost SPEI od 0 odgovara vrednosti klimatskog vodnog bilansa sa verovatnoćom pojave od 50% prema log-logističkoj distribuciji.

Proračun ovog indeksa autori su implementirali u okviru R paketa SPEI (<http://cran.r-project.org/web/packages/SPEI>). Isti R paket je korišćen i za potrebe izračunavanja SPEI u ovoj disertaciji.

5.3. Metodi izračunavanja evapotranspiracije

5.3.1. Bioklimatski metod

Kako je primena Bioklimatskog metoda za utvrđivanje vodnog bilansa pomoću Hidrofitotermičkih indeksa potvrđena u praksi navodnjavanja, ovaj metod se preporučuje za određivanje zalivnog režima različitih poljoprivrednih useva u Vojvodini od strane eksperata i stručnjaka iz prakse (Pejić i Gajić, 2006).

Pejić i sar. (2008) objašnjavaju Bioklimatski metod na dalje opisan način. Bioklimatski metod se bazira na korelaciji između evapotranspiracije sa jedne strane i fizičkih faktora isparavanja i bioloških karakteristika biljaka sa druge strane. Bioklimatski koeficijenti se dobijaju kao količnik ukupno utrošene vode od strane biljke u posmatranom periodu i sume određenog meteorološkog elementa na primer temperature vazduha, vlažnosti vazduha, solarne radijacije, napona vodene pare itd. (Pejić i sar., 2008). Ako se koristi srednja dnevna temperatura za izračunavanje potencijalne evapotranspiracije, Bioklimatski koeficijent se naziva Hidrofitotermički indeks (Bošnjak, 1999). Kada se odrede Bioklimatski koeficijenti (Hidrofitotermički indeksi) za određenu kulturu na određenom reonu oni imaju veliku praktičnu vrednost i pomoću njih se može brzo i lako izračunati evapotranspiracija (Bošnjak, 1999). Detaljnije objašnjenje razvoja Bioklimatskog metoda i definisanja metoda za naše uslove može se videti u literaturi (Vučić, 1976; Bošnjak, 1999; Pejić i Gajić, 2006). Autori ovog metoda dalje navode da Hidrofitotermički indeksi pokazuju koliko milimetara vode (m³/ha) troše biljke na evapotranspiraciju za svaki stepen srednje dnevne temperature vazduha.

Maksimalna evapotranspiracija kulture u posmatranom periodu (potencijalna evapotranspiracija kulture) računa se na bazi Hidrofitotermičkog indeksa kulture i srednje dnevne temperature vazduha, odnosno na osnovu sledeće formule (Pejić i Gajić, 2006; Pejić i sar., 2009b; Pejić i sar., 2011a; Pejić i sar., 2011b; Pejić i sar., 2011d):

$$ET_m = \sum_{i=1}^n (K * T_i) \quad (26)$$

gde su ET_m maksimalna evapotranspiracija kulture u posmatranom periodu, odnosno potencijalna evapotranspiracija kulture ET_c (mm); T_i - srednja dnevna

temperatura vazduha (°C); K - Hidrofitotermički indeks za određenu kulturu (mm/°C); n broj dana u posmatranom periodu.

Ako se izračunava evapotranspiracija na mesečnom nivou koristi se srednja mesečna temperatura, a dobija se tako što se Hidrofitotermički indeks kulture pomnoži sa srednjom mesečnom temperaturom i brojem dana u tom mesecu.

Za područje Vojvodine, stručnjaci su utvrdili Hidrofitotermičke koeficijente za razne ratarske i povrtarske kulture na osnovu višegodišnjih eksperimentalnih istraživanja u poljskim uslovima i proverama u praksi navodnjavanja. Hidrofitotermički indeksi po mesecima odnosno njihove prosečne vrednosti indeksa (srednje vrednosti za period vegetacije) prikazane su u Tabeli 9.

Tabela 9. Vrednosti Hidrofitotermičkih indeksa kultura

Kultura	Referenca	Mesec							
		II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Kukuruz	(Bošnjak, 1982; Bošnjak, 1999)				0.11	0.18	0.18	0.18	0.11
Lucerka	(Bošnjak, 1991)			0.17	0.25	0.25	0.25	0.22	0.15
Hmelj	(Kišgeci, 1974)			0.12	0.15	0.18	0.21	0.18	
Soja	(Bošnjak, 1983a; Vučić i Bošnjak, 1980)				0.11	0.17	0.18	0.17	0.11
Šećerna repa	(Dragović, 1973)				0.15	0.20	0.21	0.20	0.12
Suncokret*	(Bošnjak, 1993)				0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Sudanska trava	(Pejić i sar., 2006)			0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
Boranija	(Kolaković, 2006)					0.22	0.24		
Crni luk	(Pejić i sar., 2008)			0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	
Plavi Patlidžan	(Kolaković, 2006)				0.18	0.22	0.21	0.21	0.15
Krompir	(Bošnjak, 1994)				0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
Duvan	(Aksić i sar., 2008)				0.13	0.20	0.21	0.19	0.14
Pšenica	Izračunato prema radu Jaćimović, 2012								
Kupus	(Makismović i sar., 2006)						0.20	0.20	0.20
Vigna	(Pejić i sar., 2013b)				0.11	0.17	0.18	0.17	

5.3.2. FAO 56 Penman-Monteith

Proračun ET_0 prema FAO-56 PM odnosi se na referentnu kulturu visine od 12 cm, stalnog površinskog otpora od 70 s/m, i sa albedom od 0,23 koja je bliska evapotranspiraciji sa velike površine pokrivene zelenom travom u fenofazi aktivnog rasta i u uslovima bez nedostatka lakopristupačne vlage (Allen i sar., 1998; Trajković 2009a; Shahidian i sar., 2012; Stričević, 2007).

ET_0 se izračunava prema formuli (Allen i sar., 1998; Trajković, 2009a; Stričević, 2007):

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (27)$$

gde su: ET_0 – referentna evapotranspiracija (mm/dan); Δ - pad napona zasićene vodene pare (kPa/°C), R_n - neto radijacija (MJ/m²/dan); G - zemljišni fluks

toplote (MJ/m²/dan); Y - psihrometrijska konstanta; T - srednja temperatura vazduha na 2 m visine (°C); u_2 - brzina vetra na 2 m visine (m/s); $(e_s - e_a)$ - deficit napona vodene pare na 2 m visine (kPa).

5.3.3. Turc metod

Turc-ov metod (Turc, 1961) razvijen je u Francuskoj. ET_0 se računa ovim metodom na sledeći način (Turc, 1961; Trajković, 2009a):

$$ET_0 = 0,4 \cdot \left(I_g + 50 \cdot \frac{T}{T+15} \right); \quad T = \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2}; \quad I_g = I_{gA} \cdot \left(0,18 + 0,62 \frac{h}{H} \right) \quad (28)$$

gde su: ET_0 - referentna evapotranspiracija (mm/mesec); T , T_{\max} i T_{\min} – srednja, maksimalna i minimalna temperatura vazduha (°C); I_g – globalna radijacija (cal/cm²/dan); I_{gA} – maksimalna radijacija prema Angtovim tablicama uz providnost atmosfere od 1; h – efektivno trajanje osunčanosti u toku meseca; H – maksimalno mesečno trajanje osunčanosti.

Trajković (2009a) navodi da je u Jensen i sar. (1990) ovaj metod predstavljen izrazima:

$$ET_0 = 0,013 \cdot (23,88 \cdot R_s + 50) \cdot T \cdot (T + 15)^{-1} \text{ za } RH > 50\% \quad (29)$$

$$ET_0 = 0,013 \cdot (23,88 \cdot R_s + 50) \cdot T \cdot (T + 15)^{-1} \left(1 + \frac{50 - RH}{70} \right) \text{ za } RH < 50\% \quad (30)$$

gde je: ET_0 referentna evapotranspiracija (mm/dan); R_s - solarna radijacija (MJ/m²/dan)

Osnovni cilj studije (Trajkovic i Kolakovic, 2009c) je bio da se razvije nova prilagođena Turc jednačina kroz uvođenje faktora uticaja vetra, pri čemu je definisana vrednost korekcionog faktora za humidne evropske uslove (Trajkovic i Kolakovic, 2009c; Trajkovic, 2009a):

$$C_u = -0,0211 \cdot \bar{U}_2^2 + 0,1109 \cdot \bar{U}_2 + 0,9004 \quad (31)$$

gde je: \bar{U}_2 višegodišnja prosečna brzina vetra na dva metra visine (m/s), tako da je referentna evapotranspiracija predstavljena izrazom:

$$ET_0 = C_u \cdot 0,013 \cdot (23,88 \cdot R_s + 50) \cdot T \cdot (T + 15)^{-1} \quad (32)$$

Trajković i Stojnić (2007) navode da je Turc metod jedan od najjednostavnijih i najpouzdanijih metoda za proračun ET_0 , ali da pouzdanost metoda zavisi od

brzine vetra. Autori dalje navode da prilagođena Turc metoda daje bolju saglasnost sa FAO-56 PM nego običan Turc metod.

5.3.4. Thornthwaite metod

Thornthwaite (1948) je razvio metod za proračun ET_0 na osnovu istraživanja sprovedenih u SAD. Ovaj metod računa ET_0 sledećim formulama (Thornthwaite, 1948; Trajković, 2009a):

$$ET_0 = 16 \cdot \left[\frac{10 \cdot T}{I} \right]^a \cdot k; \quad I = \sum_{i=1}^{12} i; \quad i = \left[\frac{T}{5} \right]^{1,514}; \quad a = 0,016 I + 0,5 \quad (33)$$

gde su: ET_0 - referentna evapotranspiracija (mm/mesec); T - srednja dnevna temperatura vazduha ($^{\circ}C$); I - godišnji termički indeks koji se obračunava sumom mesečnih termičkih indeksa (i); a - eksponencijalni koeficijent koji je u funkciji godišnjeg termičkog indeksa; k - korekcionni faktor za geografsku širinu.

5.3.5. Hargreaves metod

Osnovna verzija Hargreaves metoda je nastala 1975. godine i kasnije modifikovana. Samani (2000) objašnjava da kombinacijom jednačine za procenu solarne radijacije (Hargreaves i Samani, 1982) i originalne Hargreaves jednačine (Hansen i sar., 1979) rezultira pojednostavljenom jednačinom koja zahteva samo temperaturu i geografsku širinu (Hargreaves i Samani, 1982; Hargreaves i Samani, 1985) i koja glasi:

$$ET_0 = 0.0135 (KT)(R_a)(TD)^{\frac{1}{2}}(TC + 17.8) \quad (34)$$

gde su: $TD = T_{max} - T_{min}$ ($^{\circ}C$); TC je srednja dnevna temperatura ($^{\circ}C$); R_a je ekstraterestrijalna radijacija (mm/dan); KT je empirijski koeficijent.

Hargreaves jednačina je jedna od najjednostavnijih jednačina za izračunavanje ET_0 i može se prikazati na sledeći način (Hargreaves i sar., 1985; Trajković i Kolaković, 2009a):

$$ET_0 = 0,0023 \cdot 0,408 \cdot R_a \left(\frac{T_{max} + T_{min}}{2} + 17,8 \right) \sqrt{T_{max} - T_{min}} \quad (35)$$

gde su: ET_0 - referentna evapotranspiracija (mm/dan); T_{max} i T_{min} - maksimalna i minimalna temperatura vazduha ($^{\circ}C$); R_a - ekstraterestrijalna radijacija ($MJ/m^2/dan$).

Trajković (2007) je modifikovao Hargreaves jednačinu izmenom Hargreaves eksponenta i predložio vrednost 0,424 umesto originalne 0,5 koja bi trebalo da se koristi na području zapadnog Balkana (Trajković 2009a; Trajković, 2007):

$$ET_0 = 0,0023 \cdot 0,408 \cdot R_a \cdot (T_{\max} - T_{\min})^{0,424} \cdot \left(\frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} + 17,8 \right) \quad (36)$$

gde su: ET_0 - referentna evapotranspiracija (mm/dan); T_{\max} i T_{\min} – maksimalna i minimalna temperatura vazduha (°C); R_a – ekstraterestrijalna radijacija (MJ/m²/dan).

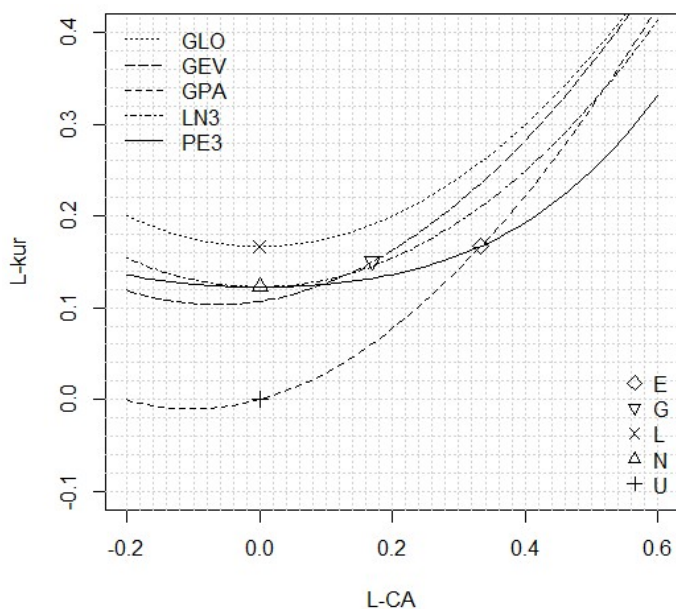
5.4. Testiranje saglasnosti empirijskih i teorijskih distribucija verovatnoća

Pronalaženje odgovarajuće distribucije koja odgovara empirijskim podacima je uobičajen statistički postupak koji se sastoji od izbora distribucije verovatnoća kao i ocene parametara odabrane distribucije (Delignette-Muller i Dutang, 2015). Testovi slaganja distribucija (goodness of fit tests) koji imaju za cilj utvrđivanje koliko se dobro model slaže sa podacima dugo su predmet statističkih istraživanja, a odabir adekvatne distribucije verovatnoća se generalno bazira na „goodnes of fit“ testovima (Heo i sar., 2013). Autori Heo i sar. (2013) dalje navode da su ovakvi testovi efektivna sredstva za ispitivanje koliko dobro se skup podataka slaže sa odabranom distribucijom verovatnoća i da se mogu podeliti na grafičke i analitičke testove slaganja distribucija.

Delignette-Muller i Dutang (2015) ukazuju da je uobičajeno da se pre početka procedure izbora odgovarajuće distribucije prvo izvrši selekcija određenog broja distribucija koje bi mogle odgovarati podacima iz šireg skupa definisanih distribucija, a da ova selekcija može biti zasnovana na poznavanju stohastičke prirode modelovane promenljive ili u odsustvu toga da se selekcija može izvršiti posmatranjem grafičkog prikaza empirijske distribucije. U svakom slučaju, pronalaženje odgovarajuće distribucije koja odgovara empirijskim podacima zahteva odgovarajuću stručnost i poznavanje oblasti primene, a takođe podrazumeva i iterativni proces izbora distribucije, ocene parametara distribucije i testiranje slaganja odabrane distribucije sa podacima (Delignette-Muller i Dutang, 2015). U daljem tekstu su prikazani testovi slaganja distribucija koji su korišćeni u ovoj disertaciji i predstavljaju neke od najčešće korišćenih metoda.

Dijagrami odnosa L-momenata (Slika 11) se sve češće koriste u literaturi pri odabiru funkcije distribucije verovatnoća (Peel i sar., 2001). Autori Lee i Maeng (2003) navode da je Hosking (1986, 1990) predložio korišćenje dijagrama L-

momenata za određivanje distribucija verovatnoća hidroloških podataka. Na njima su predstavljene veze između $L-Cv$ (koeficijent L -varijacije) i $L-Cs$ (koeficijent asimetrije) za dvoparametarske, odnosno $L-Ck$ (koeficijent spljoštenosti) i $L-Cs$ za troparametarske distribucije (Radić i Mihailović, 2010). L -moment dijagrami omogućavaju inspekciju saglasnosti podataka iz uzorka i teorijskih vrednosti (Stedinger i sar., 1993; Radić i Mihailović, 2010; Kroll i Vogel, 2002). Eksplicitni izrazi za konstrukciju dijagrama L -momenata mogu se naći u literaturi (Hosking i Wallis, 1995; Kroll i Vogel, 2002, Radić i Mihailović, 2010).



Slika 11. Dijagrami odnosa L -momenata

Anderson-Darling (A-D) test (Anderson i Darling 1952, Anderson i Darling, 1954) je veoma često korišćen test slaganja distribucija (Giles, 2001) i zasniva se na poređenju empirijske funkcije raspodele datog uzorka sa teorijskom distribucijom koja se testira, tj. spada u grupu EDF (Empirical Distribution Function) testova (Stephens, 1979).

Anderson-Darling test je definisan statistikom A^2 i kako navodi Laio (2004) u praksi se izračunava preko sledećeg izraza (Stephens, 1986):

$$A^2 = -n - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [[(2i-1)\ln F(x_i, \theta)] + (2n+1-2i)\ln[1-F(x_i, \theta)]] \quad (37)$$

gde je F kumulativna verovatnoća posmatrane distribucije, θ je vektor parametara, a podaci x_i su sortirani.

A-D test daje veću težinu opservacijama na krajevima testirane distribucije (Stephens, 1979) što može biti od značaja u hidrološkim istraživanjima jer jedan od najvažnijih problema u hidrologiji je procena kvantila za određeni povratni period, i u takvim slučajevima je stepen slaganja teorijske distribucije sa empirijskim podacima na krajevima distribucija važnija od stepena slaganja cele distribucije (Heo i sar., 2013). Rezultati testiranja performansi A-D testa na ekstremnim vrednostima distribucija gde su parametri distribucija ocenjeni metodom maksimalne verodostojnosti, su pokazali da je A-D test pouzdan i jednostavan za korišćenje i da se može koristiti za davanje važnih indikacija za potrebe verifikacija i izbora hidroloških modela (Laio, 2004). Anderson-Darling test je sličan Kolmogorov-Smirnov testu, ali je robusniji jer uzima u obzir sve vrednosti podataka, a ne samo najveću apsolutnu razliku između teorijske i empirijske distribucije i generalno ovaj test bi trebalo koristiti umesto Kolmogorov-Smirnov testa (<http://www.real-statistics.com>). Kako navode Razali i Wah (2011) A-D test je prema Arshad i sar. (2003) najpouzdaniji test iz grupe EDF testova i korišćen je u ovoj disertaciji. Nedostatak A-D testa je u zavisnosti kritičnih vrednosti od pretpostavljene distribucije, dok su kod K-S testa kritične vrednosti nezavisne od distribucije.

Shapiro–Wilk (S-W) test (Shapiro i Wilk, 1965) je u praksi potvrđen i pouzdan test odstupanja od normalnosti (Royston, 1992). S-W test je definisan statistikom W i kako navode Royston (1992) i Razali i Wah (2011) određuje se preko sledećeg izraza:

$$W = \frac{\left(\sum_{i=1}^n a_i y_i \right)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (38)$$

Gde je $y_1 < y_2 < \dots < y_n$ uređen slučajni uzorak koji se testira, y_i je i -ta najmanja vrednost u uzorku, \bar{y} je srednja vrednost uzorka, a_i su koeficijenti koji se izračunavaju:

$$(a_1, \dots, a_n) = \frac{m^T V^{-1}}{(m^T V^{-1} V^{-1} m)^{1/2}} \quad (39)$$

gde je $m = (m_1, \dots, m_n)^T$ vektor očekivanih vrednosti nezavisnih i identično raspoređenih slučajnih promenljivih uzorkovanih iz standardne normalne raspodele, a V je matrica kovarijansi.

Vrednost W je između 0 i 1, gde vrednosti bliske 0 ukazuju na odbacivanje hipoteze o postojanju normalnosti, a vrednosti bliske 1 ukazuju na normalnu raspodelu podataka.

Akaike-ov informacijski kriterijum (AIC) (Akaike, 1974) je zasnovan na negativnoj vrednosti logaritma maksimuma funkcije verodostojnosti, sa dodatkom 'kazne' koja raste sa brojem parametara da bi se napravio balans između stepena slaganja modela i kompleksnosti modela (Stagge i sar., 2015). AIC se izračunava sledećom formulom (Akaike, 1974; Burnham i Anderson, 2002):

$$AIC = 2k - 2\ln(\hat{L}) \quad (40)$$

Gde je k broj parametara modela, a \hat{L} je maksimalna vrednost funkcije verodostojnosti.

Poželjno je da model bude što jednostavniji, a da je što bolje prilagođen originalnim podacima, odnosno da je AIC što manje. Izbor najboljeg od poređenih modela vrši se na bazi najmanje vrednosti AIC (Mohammed i sar., 2015).

5.5. Analitički Hijerarhijski Proces (AHP)

Prema Saaty (1980) numeričke vrednosti poređenja u parovima smeštaju se u kvadratnu matricu A :

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{1m} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{m1} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{mm} \end{bmatrix} \quad (41)$$

gde je m broj vrsta odnosno kolona matrice A . Za elemente matrice važe sledeća svojstva:

$$a_{ii} = 1, \quad i \in \{1, \dots, m\} \quad (42)$$

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}, \quad i \neq j, \quad i, j \in \{1, \dots, m\} \quad (43)$$

Za traženi vektor prioriteta za matricu A uzima se njen vektor sopstvenih vrednosti, odnosno nalaženje vektora prioriteta w svodi se na izračunavanje sopstvenog vektora matrice A , za koji važi:

$$Aw = \lambda w, \quad e^T w = 1 \quad (44)$$

gde je λ sopstvena vrednost matrice A , dok e predstavlja jedinični vektor koji je istog reda kao i matrica A (Saaty, 1977; Saaty, 1980).

Kao proveru konzistentnosti, kod EV metoda, Saaty (1980) je predložio *CR* (consistency ratio) koji predstavlja količnik indeksa konzistentnosti *CI* i slučajnog indeksa *RI*:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (45)$$

gde *RI* zavisi od reda *m* matrice, a preuzima se iz Tabele 10.

Tabela 10. Vrednosti slučajnog indeksa *RI*

<i>m</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<i>RI</i>	0,0	0,0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56

u kojoj prvi red predstavlja red matrice, a drugi slučajne indekse (Saaty, 1980).

Indeks konzistentnosti *CI* se računa po formuli:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - m}{m - 1} \quad (46)$$

gde je λ_{max} predstavlja maksimalnu sopstvenu vrednost matrice poređenja.

Ukoliko je vrednost *CR* manja od 0,10 smatra se da su vrednovanja dovoljno konzistentna. U suprotnom bi postupak trebalo ponoviti kako bi se modifikovala vrednovanja i postigla bolja konzistentnost.

Iz svake matrice poređenja dobijaju se lokalne težine elemenata. Kako bi se dobile konačne težine alternative na najnižem nivou hijerarhije u odnosu na cilj problema odlučivanja upotrebljava se aditivna sinteza. Aditivna sinteza je prikazana relacijom (Blagojević, 2015):

$$g_i = \sum_j w_j d_{ij} \quad (47)$$

gde je g_i konačni (globalni) prioritet alternative *i*; w_j težina kriterijuma *j*; d_{ij} je lokalna težina alternative *i* u odnosu na kriterijum *j*. Kao konačni rezultat dobija se vektor.

Kako bi se dobila grupna odluka individualni vektori prioriteta su zatim objedinjeni u grupni vektor prioriteta korišćenjem metoda *Aggregation of Individual Priorities* (AIP) (Ramanathan i Ganesh, 1994; Forman i Peniwati, 1998) i *Weighted Arithmetic Mean metod* (Ramanathan i Ganesh, 1994). Ovaj metod je u ovoj disertaciji izabran zbog svoje jednostavnosti, ali ne isključuje se mogućnost primene nekog drugom poznatog metoda i konsenzus modela. Preporuka da se *Weighted Arithmetic Mean metod* koristi može se pronaći u brojnim radovima (npr. Ishizaka i Labib, 2011; Condon i sar., 2003 itd.). Finalni grupni prioritet

bilo koje alternative A_j se dobija korišćenjem sledeće formule (Ramanathan i Ganesh, 1994) :

$$P_g(A_j) = \sum_{i=1}^n w_i P_i(A_j) \quad (48)$$

gde je $P_g(A_j)$ grupni prioritet alternative A_j ; $P_i(A_j)$ je prioritet alternative A_j dat od strane donosioca odluka E_i ; W_i je težina koja se dodaje preferenciji donosioca odluka E_i ; n je broj donosioca odluka.

5.6. Metodi prostornih interpolacija u Geografskom Informacionom Sistemu (GIS)

Interpolacija je metoda ili matematička funkcija kojom se procenjuje vrednost na poziciji na kojoj izmerene vrednosti nisu dostupne (Azpurua i Ramos., 2010, Akkala i sar., 2010). Medved i sar. (2010) citiraju De Smith i sar. (2009) koji navode da se interpolacija može definisati i kao postupak kojim se određuju nove nepoznate vrednosti između dve ili više poznatih vrednosti funkcije. Metode interpolacije sa uglavnom baziraju na Prvom zakonu geografije koje glasi „sve je povezano sa svime, međutim bliski objekti su povezani od udaljenih objekata“ (Tobler, 1970). Metode prostorne interpolacije omogućavaju procenjivanje vrednosti u bilo kojoj tački u prostoru na osnovu ograničenog broja tačaka sa poznatim vrednostima (De Smith i sar., 2018) sa ciljem kreiranja površine koja će najbolje reprezentovati empirijske vrednosti (Azpurua i Ramos., 2010) i često su primenjivani alati GIS aplikacija (Benka i sar., 2011). Erdogan (2009) ističe da se metode interpolacije mogu klasifikovati na lokalne i globalne, egzaktno i aproksimativno i na determinističke i geostatističke.

Kod primene globalnih metoda interpolacije sve interpolisane vrednosti zavise od svih podataka na osnovu kojih se vrši interpolacija (Amidor, 2002), odnosno globalne metode interpolacije koriste jednu funkciju kojom se mapira ceo region (Erdogan 2009). Kod lokalnih metoda interpolacije interpolisane vrednosti se dobijaju samo na osnovu vrednosti susednih tačaka početnog seta podataka (Amidor, 2002). U radu Vicente-Serrano i sar. (2003) autori navode da u istraživanjima klimatskih fenomena globalne metode interpolacije koriste podatke sa svih meteoroloških stanica da bi dobili klimatološke mape posmatranog područja, i u neke od ovih metoda spadaju „trend surface“ interpolacija različitih redova kao i empirijski regresioni modeli koji koriste topografske i geografske varijable kao prediktore. Takođe, autori (Vicente-Serrano i sar., 2003) dalje navode da lokalne metode interpolacije koriste samo susedne meteorološke stanice za potrebe kreiranja klimatoloških mapa i u ovu

grupu spadaju metode kao što su Tisenovi poligoni, metod inverzne udaljenosti (inverse distance weighting – IDW) i „spline“ interpolacija.

Egzaktne metode interpolacija vrednuju i zadržavaju vrednosti tačaka na kojima se bazira interpolacija (Erdogan 2009), odnosno interpolisane vrednosti koincidiraju sa vrednostima meteoroloških stanica ako su na primer u pitanju klimatološka istraživanja i u ove metode spadaju lokalne metode nabrojane u prethodnom pasusu (Vicente-Serrano i sar., 2003). Aproksimativne metode koriste se u slučajevima gde postoji određena neizvesnost u polaznim vrednostima (Erdogan 2009).

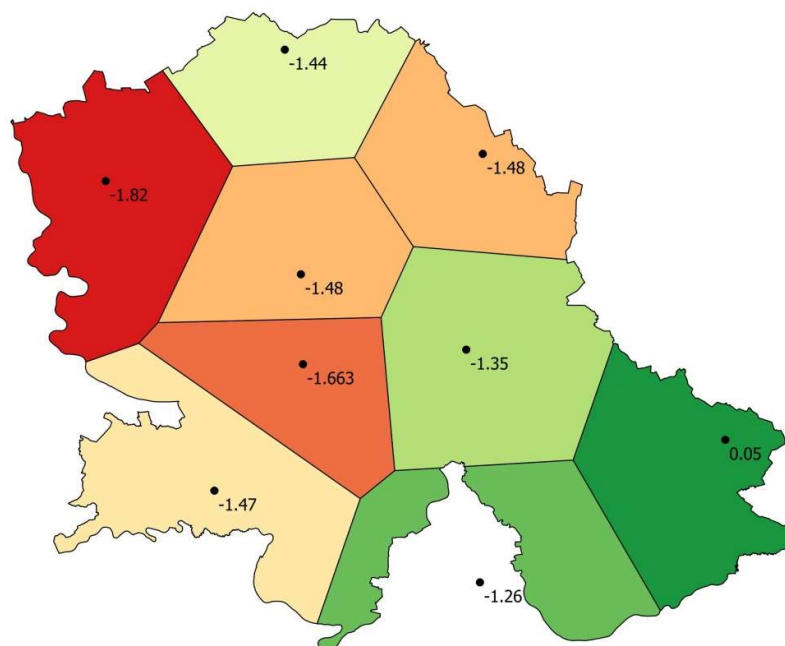
Determinističke metode interpolacija kreiraju površine na osnovu vrednosti poznatih tačaka ili korišćenjem matematičkih funkcija (Childs, 2004). Geostatističke metode interpolacija zasnovane su na statističkim metodama i namenjene su naprednijem modeliranju površina koja uzimaju u obzir i pojavu greške i neizvesnosti u statističkom predviđanju (Childs, 2004; Erdogan 2009; Gong i sar., 2000). Ly i sar. (2013) navode da u determinističke metode, na primer, spadaju IDW i Tisenovi poligoni, dok Tao i sar. (2009) navode da je i spline deterministički metod interpolacije. U geostatističke metode spada metoda kao što je Kriging (Childs, 2004; Tao i sar. 2009).

Tisenovi poligoni spadaju u egzaktne metode interpolacije gde se tačkama sa nepoznatim vrednostima dodeljuju vrednosti najbližih poznatih tačaka i ova metoda se često koristi u analizama klimatskih podataka kada na lokalnom nivou ne postoje mereni meteorološki podaci pa se moraju koristiti podaci sa najbliže meteorološke stanice (Tatalovich i sar., 2006). Rezultat ove interpolacije je najčešće poligonska mreža kreirana u zavisnosti od prostornog rasporeda meteoroloških stanica (Vicente-Serrano i sar., 2003). Tatalovich i sar. (2006) citiraju Heywood i sar. (1998) koji navode da Tisenovi poligoni predstavljaju “dejstvo“ meteorološke stanice.

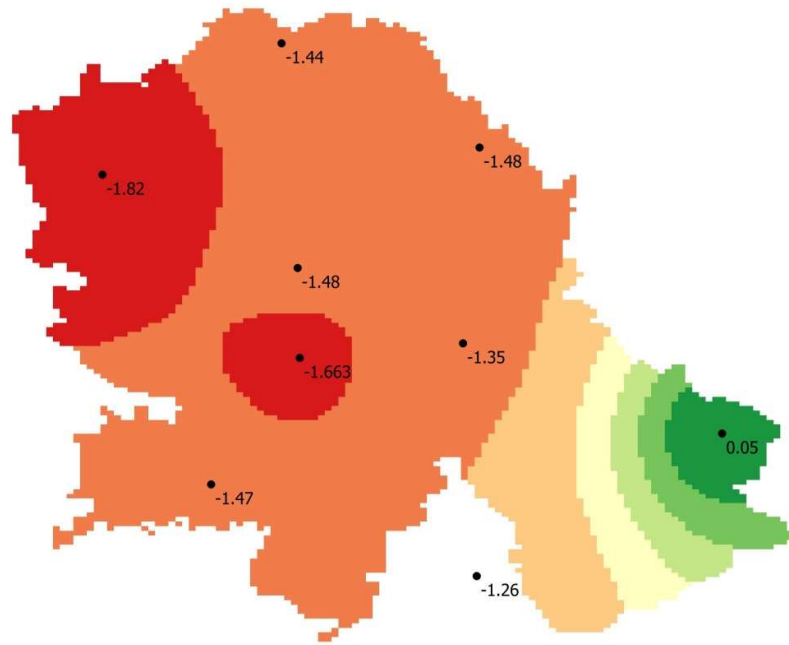
Metoda inverzne udaljenosti (inverse distance weighting – IDW) se bazira na pretpostavci da obližnje tačke više utiču na interpolisanu vrednost nego udaljenije tačke (Azpurua i Ramos, 2010), odnosno težinska vrednost kojom je iskazan uticaj vrednosti poznate tačke na interpolisanu vrednost zavisi od njihove udaljenosti, što je veća udaljenost težinska vrednost je manja i manji je uticaj (Childs, 2004). Eksponent udaljenosti je težinski parametar koji kontroliše zavisnost težine od udaljenosti (Medved i sar 2010). Broj tačaka uključenih u procenu interpolisane vrednosti definisana je radijusom oko tačke na kojoj se procenjuje vrednost (Erdogan, 2009 prema Burrough i McDonell, 1988).

Kriging je moćan geostatistički metod intepolacije koji je svoju primenu našao u različitim naučnim granama kao što su geologija, nauke o zemljištu, geochemija, modelovanje zagađenja, nauke koje proučavaju zdravstvenu zaštitu i dr. (Childs, 2004). Interpolacija, odnosno procena vrednosti na određenoj lokaciji se vrši na osnovu poznatih vrednosti na drugim lokacijama i na osnovu semivariograma gde je semivariansa mera stepena prostorne međuzavisnosti između poznatih tačaka i tačaka na kojoj se vrši procena vrednosti, a magnituda semivariansa između posmatranih tačaka zavisi od njihove udaljenosti (Tatalovich i sar., 2006). Postoji više tipova Kriging metode, kao što je Ordinary Kriging, inače najčešće primenjivana, koja pretpostavlja nepostojanje trenda u podacima, i Universal Kriging metoda koja uzima u obzir postojanja trenda u podacima (Childs, 2004).

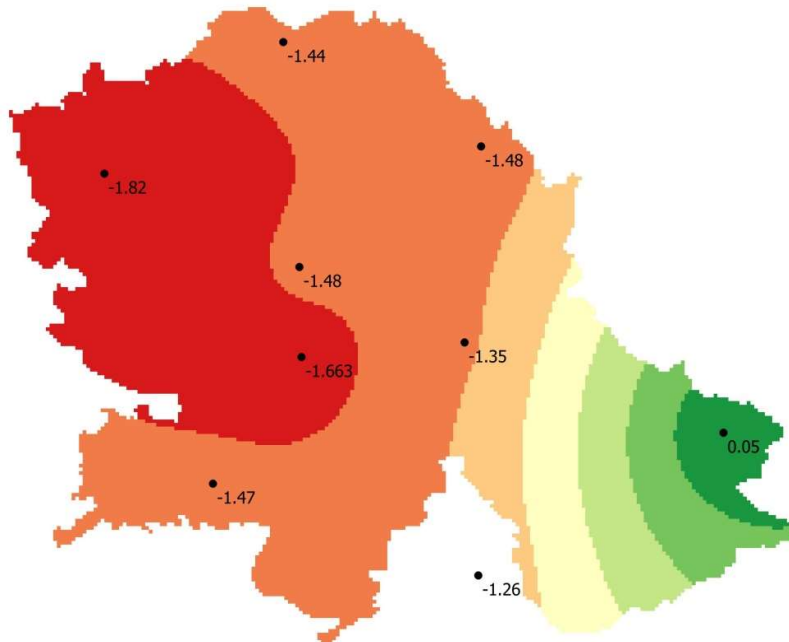
U nastavku dat je primer tri metoda interpolacije : Tisenovi poligoni (Slika 12), Metoda inverzne udaljenosti (Slika 13), Ordinary Kriging (Slika 14) koji su primenjeni za potrebe kreiranja karte SPEI3 za jul mesec 2012. godine.



Slika 12. Tisenovi poligoni, SPEI3jul 2012.



Slika 13. IDW, SPEI3jul 2012.



Slika 14. Ordinary Kriging, SPEI3jul 2012.

6. REZULTATI RADA

6.1. Uticaj ET_0 na rezultate SPEI

Imajući u vidu zavisnost rezultata SPEI indeksa od korišćenog metoda za izračunavanje ET_0 , u ovom poglavlju je izvršeno poređenje rezultata SPEI koji koristi FAO-56 Penman-Monteith (PM), Thornthwaite (TH), Turc (TU) i Hargreaves (HG) tj. modifikovanu Hargreaves jednačinu za naše uslove (Trajković, 2007; Trajković, 2009a). Poređenje je izvršeno na osnovu Pearson-ovog koeficijenta korelacije i srednje apsolutne razlike (mean absolute difference - MAD). Korišćeni su podaci sa devet meteoroloških stanica na posmatranom području (Rimski Šančevi, Palić, Sombor, Bečej, Kikinda, Zrenjanin, Vršac, Sremska Mitrovica i Beograd) od 1971 do 2016. godine. SPEI indeksi su računati za vremenske intervale odnosno za periode akumulacije od jednog, tri i šest meseci, odnosno SPEI1, SPEI3 i SPEI6. Brojni drugi autori su se bavili pitanjem zavisnosti rezultata SPEI indeksa od korišćenog metoda za izračunavanje ET_0 , a neki od primera mogu se videti u pregledu literature u poglavlju 5.2.3.

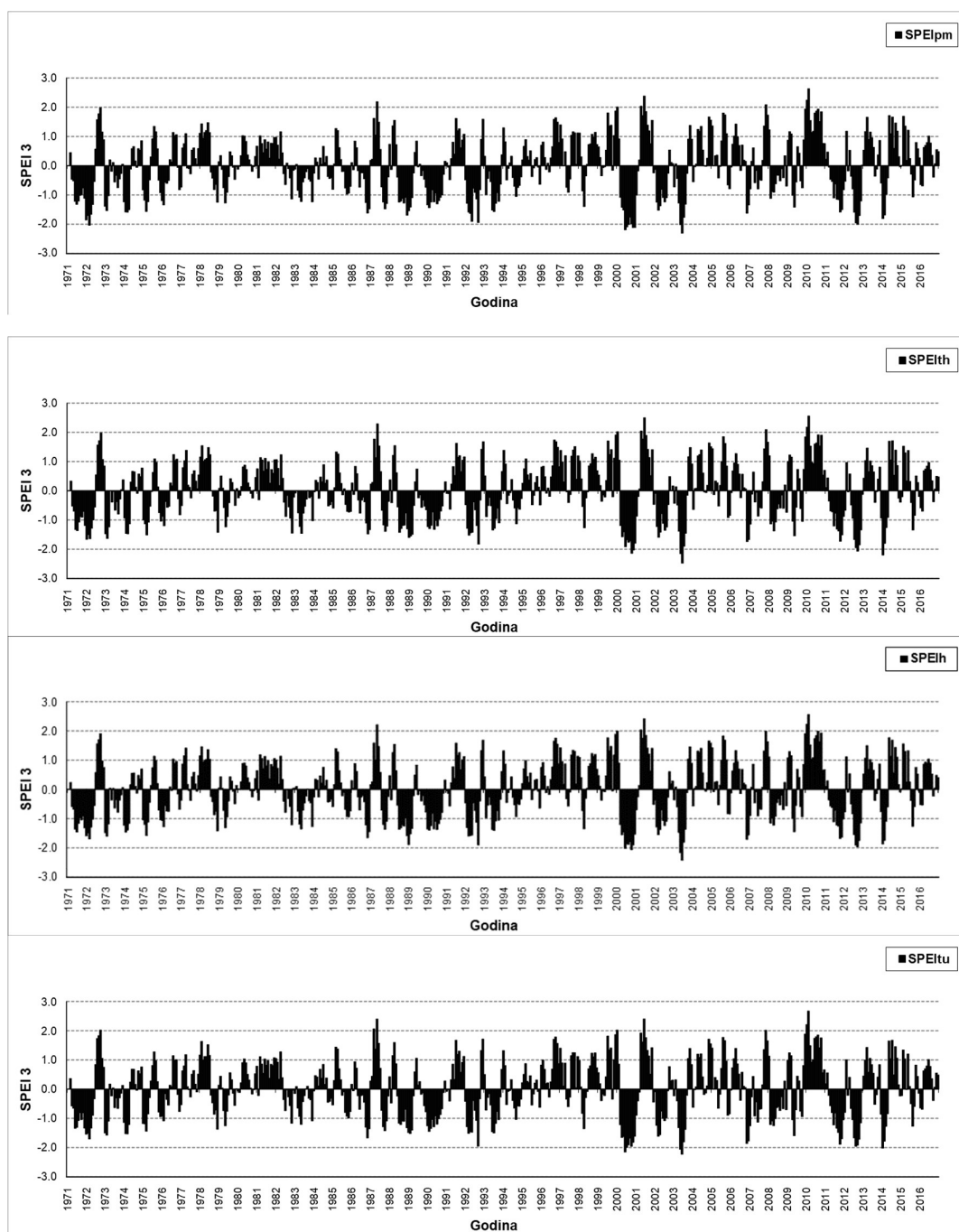
Kako bi se ilustrovao uticaj metoda za izračunavanje ET_0 na rezultate SPEI, izabrano je da se vremenske serije SPEI3 računane korišćenjem četiri analizirana metoda izračunavanja ET_0 , kao i međusobne razlike između izračunatih SPEI3 prikažu samo za meteorološku stanicu Rimski Šančevi.

Korelacije između vrednosti SPEI proračunatih korišćenjem četiri analizirana metoda izračunavanja ET_0 , kao i srednje apsolutne razlike između SPEI(PM) i ostalih načina proračuna SPEI su prikazane za svih devet meteoroloških stanica na posmatranom području i za periode akumulacije od jednog, tri i šest meseci.

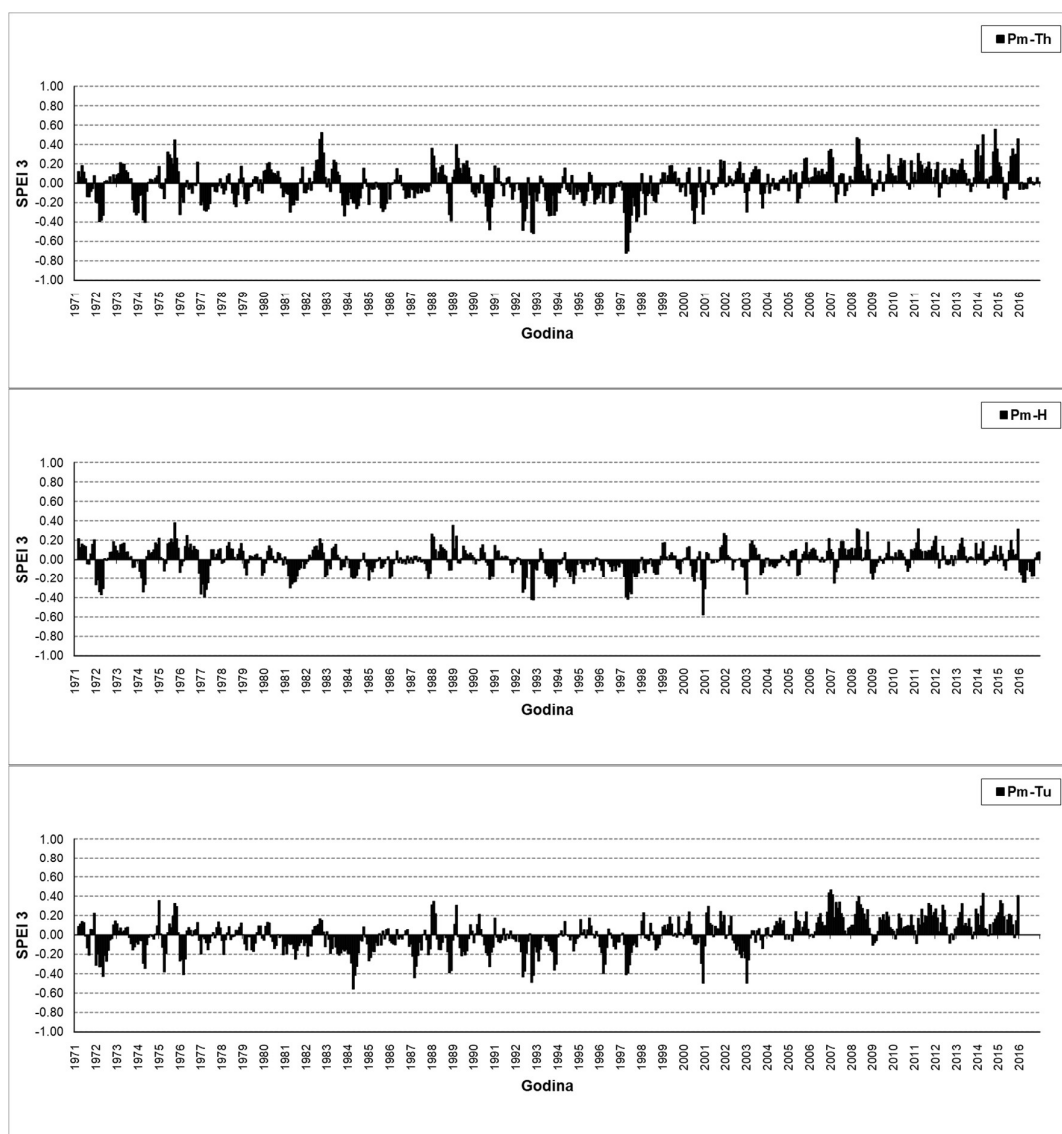
Na Slici 15. prikazane su vremenske serije SPEI3 za meteorološku stanicu Rimski Šančevi proračunate korišćenjem četiri analizirana metoda procene ET_0 . Međusobne razlike između SPEI3 računane korišćenjem različitih metoda procene ET_0 prikazane su na Slikama 16 i 17. Razlike između SPEI3(PM) i SPEI3(TH) retko su prelazile vrednost 0,4, a zabeleženi su pikovi (1982, 1997 i 2014. god.) kada su razlike značajnije prelazile vrednost od 0,4 i iznosile su 0,52; 0,72 i 0,55. Razlike između SPEI3(PM) i SPEI3(HG) su nešto manje u odnosu na prethodni slučaj i one uglavnom ne prelaze vrednost od 0,2 sa izuzetkom manjeg broja pikova oko vrednosti razlike 0,4 na dijagramu i jednim zabeleženim slučajem pojave veće razlike koja se javila 2000. godine i iznosila je 0,58. Razlike između SPEI(PM) i SPEI(TU) više puta u posmatranom periodu dostižu vrednost od oko 0,4, a u tri navrata (1984, 2000 i 2003. god) te razlike su

i nešto značajnije i iznosile su 0,56; 0,5 i 0,5. Razlike između SPEI(TH) i SPEI(HG) su samo u jednom navratu dostizale vrednost od 0,41 u toku 2014. godine, a u ostalim slučajevima su uglavnom ispod 0,2. Razlike između SPEI(TH) i SPEI(TU) kao i između SPEI(HG) i SPEI(TU) su uglavnom ispod vrednosti od 0,4.

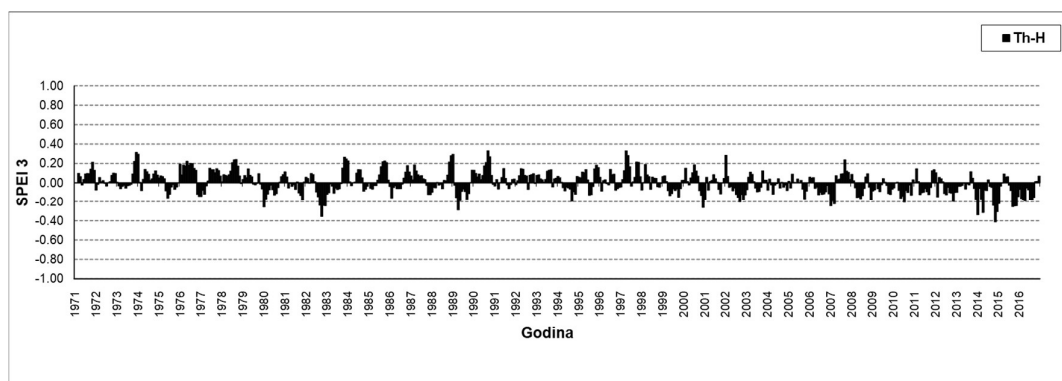
Na Slici 18. grafički je prikazana korelacija između vrednosti SPEI proračunatih korišćenjem četiri analizirana metoda procene ET_0 za devet meteoroloških stanica na posmatranom području i za periode akumulacije od jednog, tri i šest meseci. Uzimajući u obzir pretpostavku da metod FAO-56 Penman-Monteith daje najrealnije vrednosti ET_0 , iako je ovaj metod najzahtevniji u pogledu ulaznih podataka, veća korelacija sa SPEI(PM) ukazuje na bolju procenu, odnosno tačnije određivanje vrednosti indeksa SPEI. Gledajući uopšteno, rezultati pokazuju da postoji visoka korelacija između svih metoda proračuna SPEI i za sve posmatrane periode akumulacije. Vrednosti Pearson-ovog koeficijenta korelacije su u svim slučajevima bile iznad 0,94. Najveći stepen korelacije sa SPEI(PM) je postignut sa SPEI(HG), zatim sa SPEI(TU), a najmanji sa SPEI(TH). Stepem korelacije blago opada sa povećanjem intervala za koji se računa SPEI, odnosno sa povećanjem perioda akumulacije. Korelacije između SPEI(TH), SPEI(HG) i SPEI(TU) su nešto veće u odnosu na korelacije sa SPEI(PM). Vrednosti srednje apsolutne razlike (MAD) između SPEI(PM) i ostalih načina proračuna SPEI su u nekim slučajevima visoke i blago rastu sa povećanjem perioda akumulacije (Slika 19). U proseku iznose oko 0,21 za akumulacioni period od jednog meseca; 0,23 za akumulacioni period od 3 meseca i 0,25 za akumulacioni period od 6 meseci. Najmanja vrednost MAD je postignuta između SPEI(PM) i SPEI(HG), u odnosu na poređenja SPEI(PM) sa SPEI(TH) i SPEI(TU). MAD između SPEI(PM) i SPEI(HG) za sve posmatrane periode akumulacije u proseku iznosi 0,22. Najveća vrednost MAD je postignuta sa SPEI(TH) i u proseku iznosi 0,25.

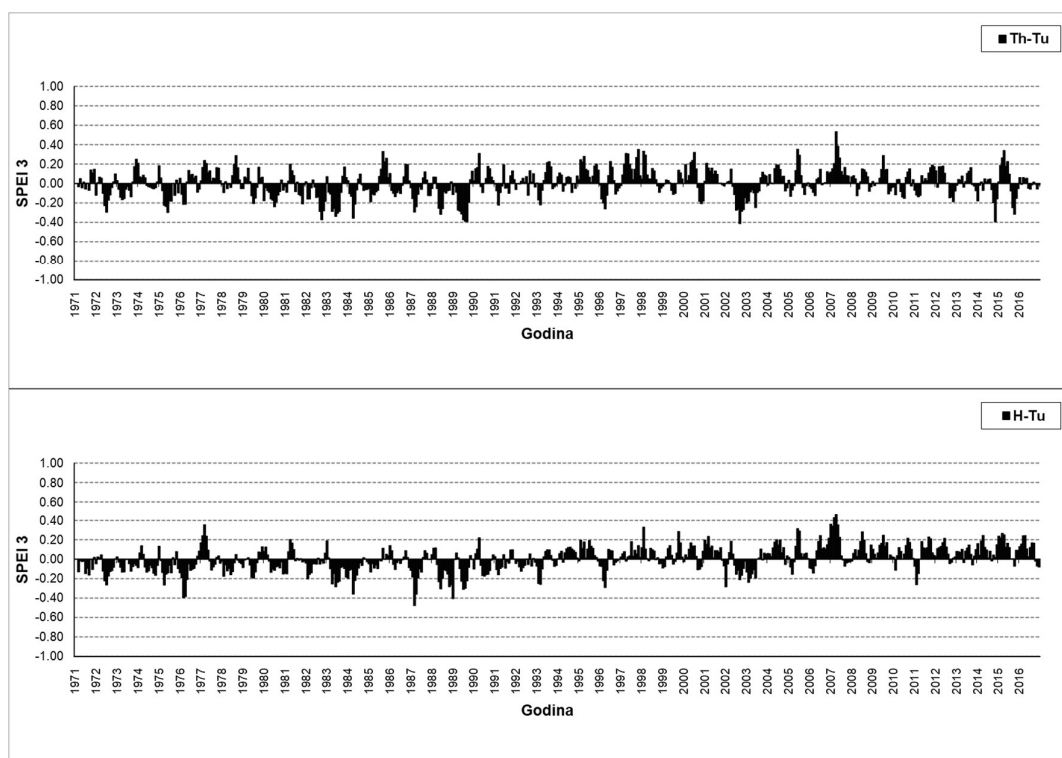


Slika 15. Serije vrednosti SPEI3 za meteorološku stanicu Rimski Šančevi računane korišćenjem FAO-56 Penman-Monteith, Hargreaves, Thornthwaite i Turc jednačina ET_0

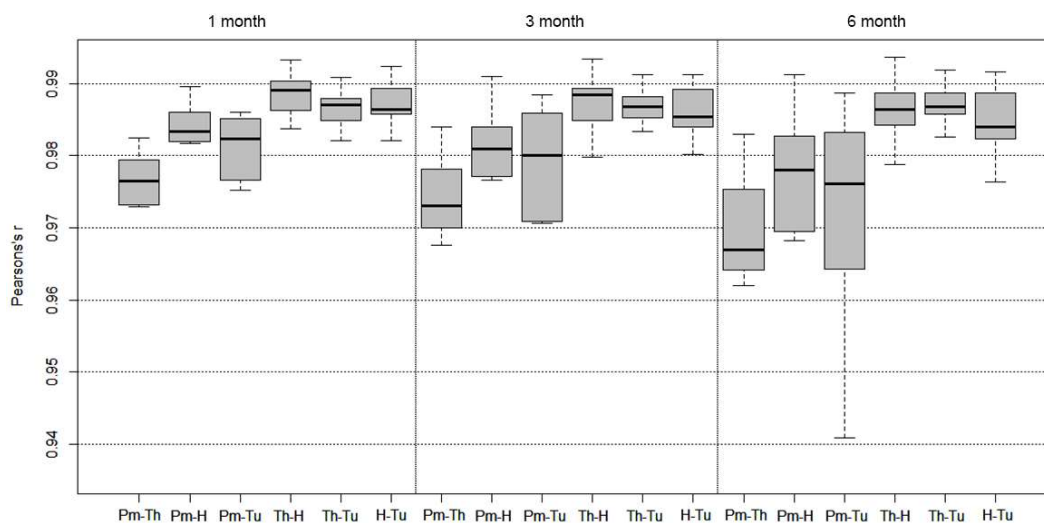


Slika 16. Razlike između SPEI3 računatog korišćenjem FAO-56 Penman-Monteith metoda procene ET_0 i ostala tri metoda (Hargreaves, Thornthwaite i Turc) za meteorološku stanicu Rimski Šančevi

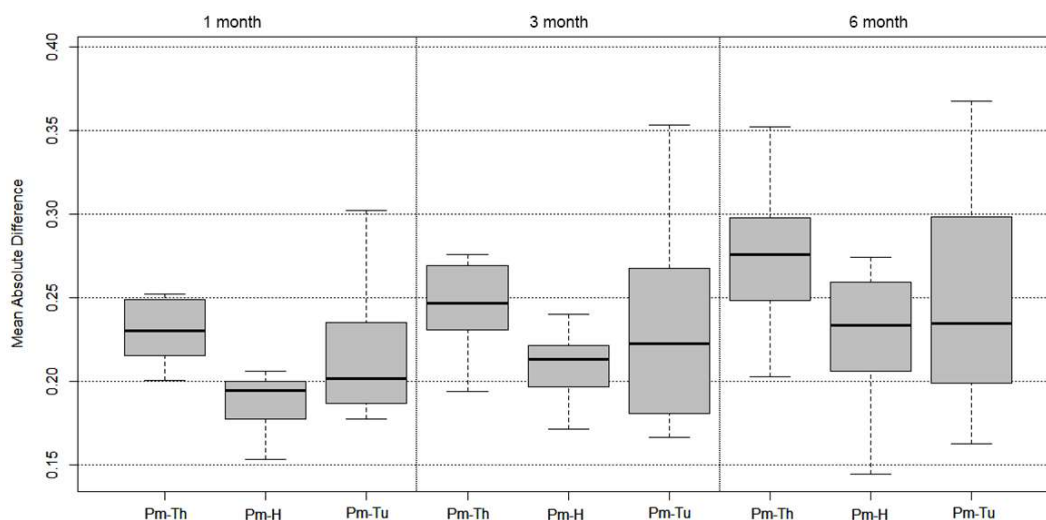




Slika 17. Međusobne razlike između SPEI3 računatih korišćenjem Thornthwaite, Hargreaves i Turc metoda procene ET_0 za meteorološku stanicu Rimski Šančevi

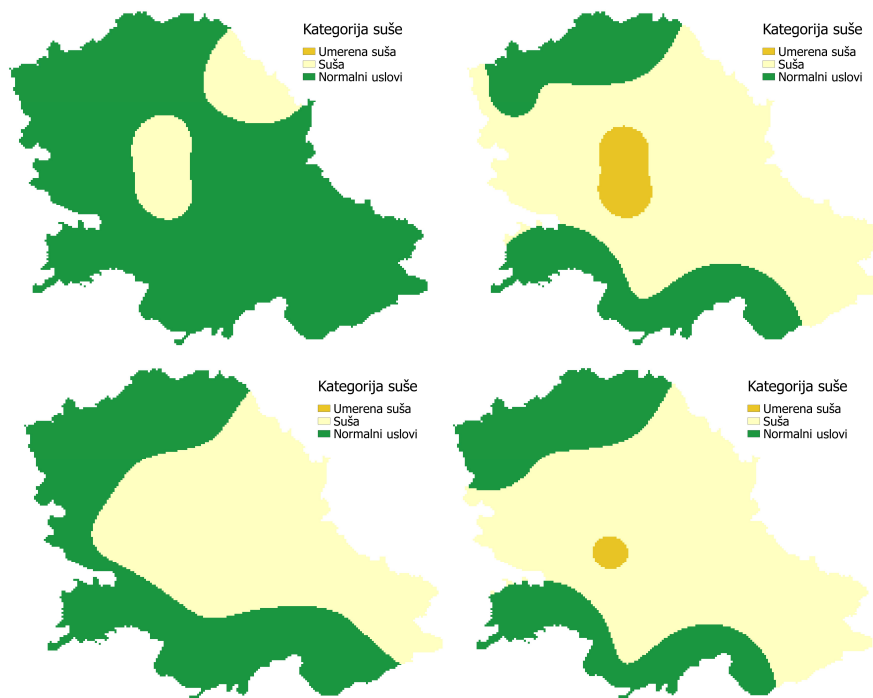


Slika 18. Korelacije između SPEI indeksa dobijenih korišćenjem FAO-56 Penman-Monteith, Hargreaves, Thornthwaite i Turc metoda procene ET_0 na području Vojvodine

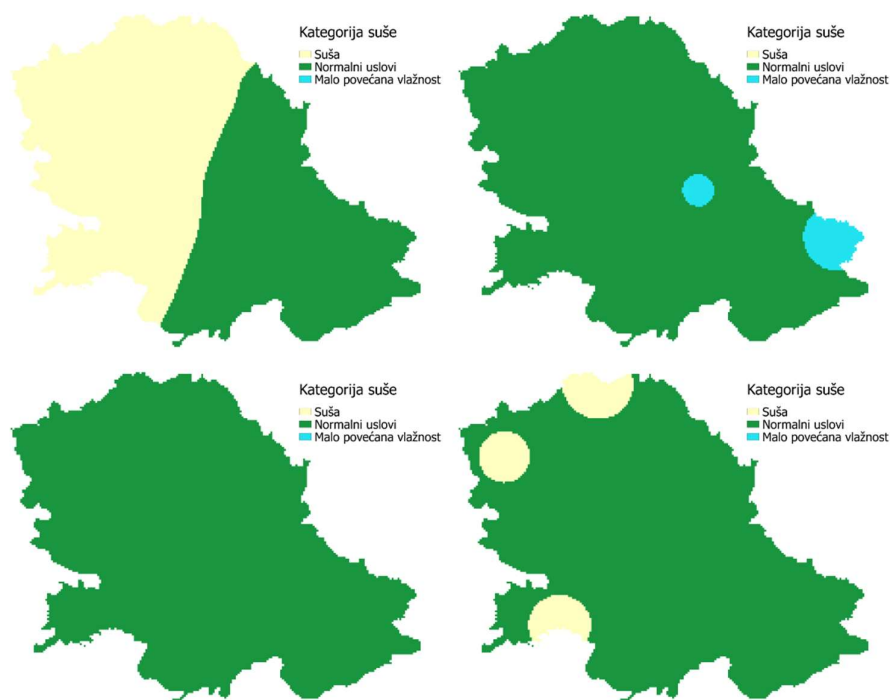


Slika 19. Srednje apsolutne razlike (MAD) između SPEI indeksa dobijenih korišćenjem FAO-56 Penman-Monteith metoda procene ET_0 i SPEI dobijenih korišćenjem Hargreaves, Thornthwaite i Turc metoda procene ET_0 na području Vojvodine

Na kartama (Slika 20 i 21) ilustrovane su razlike između indeksa SPEI računate različitim metodama procene ET_0 . Prikazane su prostorne raspodele indeksa SPEI3 u maju mesecu 1997 i 2008. godine.



Slika 20. Karte indeksa SPEI3 za maj 2008. godine računate korišćenjem a) PM, b) TH, c) H i d) TU metoda procene ET_0



Slika 21. Karte indeksa SPEI3 za maj 1997. godine računane korišćenjem a) PM, b) TH, c) H i d) TU metoda procene ET_0

6.2. Opis procedure definisanja pristupa monitoringu poljoprivredne suše na području Vojvodine baziranog na SPEI

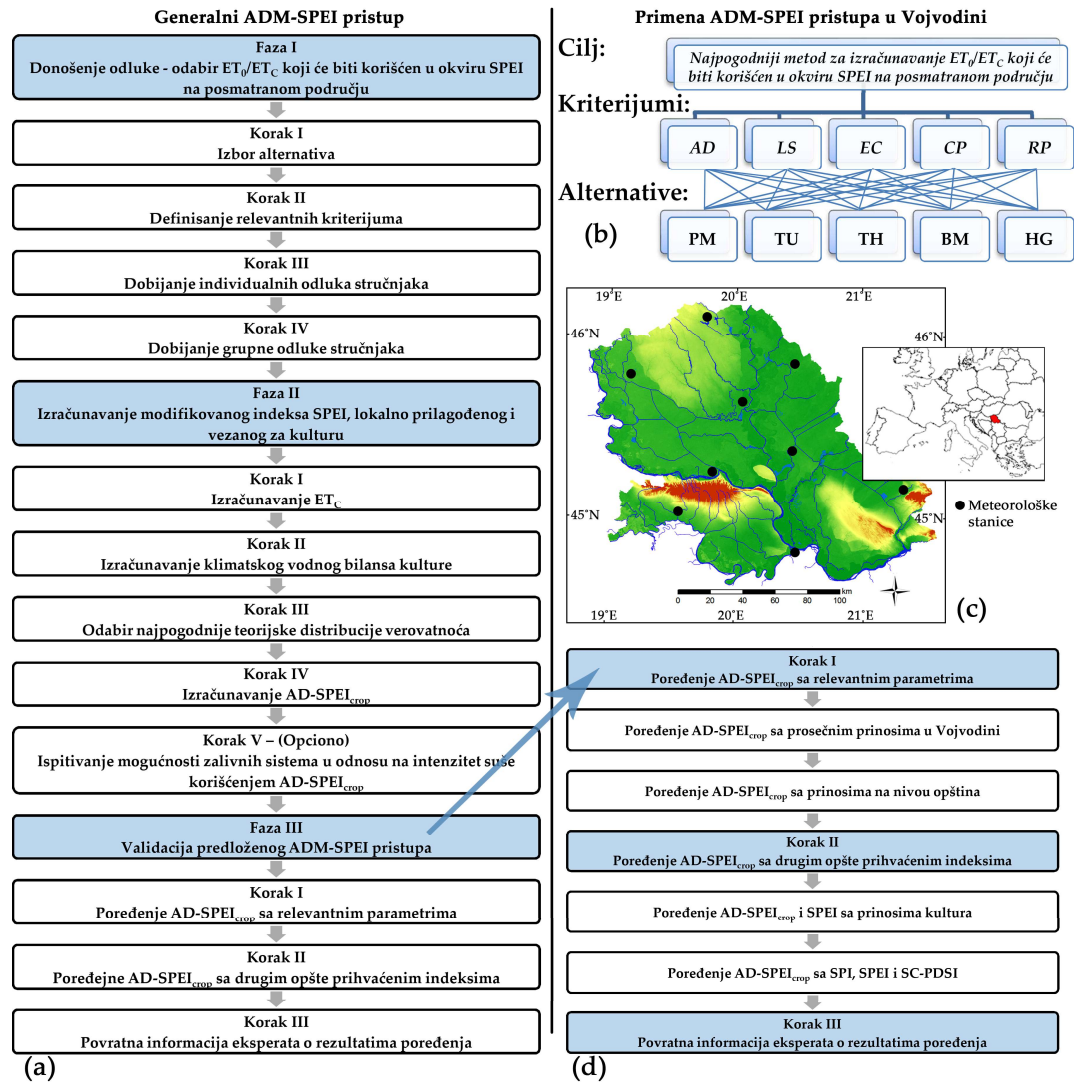
U ovom poglavlju opisana je procedura definisanja pristupa monitoringu poljoprivredne suše na području Vojvodine. Cilj je definisanje pristupa koji je jednostavan i precizan i koji pored standardnih matematičkih procedura koristi i mišljenje eksperata regiona od interesa. Predloženi pristup, koji se može okarakterisati kao intuitivan i sveobuhvatan, sledi logičan tok i upotrebljava poznate i priznate metode i njihove prednosti kako bi se došlo do što efikasnijeg pristupa u monitoringu poljoprivredne suše.

U predloženom pristupu indeks suše SPEI se povezuje sa specifičnom poljoprivrednom kulturom što omogućava da se suša odnosno uslovi vlažnosti analiziraju individualno za specifičnu ratarsku ili povrtarsku kulturu u agroklimatskim uslovima Vojvodine.

Kako bi se omogućilo da se predloženi pristup modifikuje i prilagodi bilo kojim drugim agroklimatskim uslovima i primeni u nekom drugom regionu, on će prvo biti opisan generalno po koracima pa će zatim u narednom poglavlju biti primenjen na području Vojvodine i detaljno objašnjen. Predloženi pristup

nazvan je ADM-SPEI pristup (Agricultural Drought Monitoring – SPEI) i u narednim poglavljima objašnjen i primenjen na području Vojvodine. Kao rezultat primene predloženog pristupa dobijen je modifikovani SPEI indeks nazvan AD-SPEI_{crop} (Agricultural Drought – SPEI_{crop}).

Generalni prikaz pristupa monitoringu poljoprivredne suše baziranog na SPEI indeksu i vezanog za određenu kulturu prikazan je šematski na Slici 22a i sastoji se iz tri faze, a svaka od njih sadrži određene korake.



Slika 22. Generalni ADM-SPEI pristup (a) i primena ADM-SPEI pristupa u Vojvodini: Hijerarhija (b), područje od interesa (c) i koraci validacije (d)

Faza I - Donošenje odluke o najpogodnijem metodu za izračunavanje ET_0 (odnosno ET_c) koji će biti korišćen u okviru SPEI na posmatranom području

Korak I - Izbor alternativa - pogodnih metoda za izračunavanje ET_0 (odnosno ET_c) u okviru SPEI

Brojni autori su koristili različite metode za izračunavanje ET_0 kao komponentu SPEI indeksa. Sam izbor ne može da se zasniva samo na opšte priznatim i prihvaćenim metodima u svetskoj praksi već treba da postoji i provera tih metoda na određenom specifičnom području. Takođe, pri izboru metoda postoje i drugi brojni ograničavajući faktori kao što su na primer: dostupnost i pouzdanost ulaznih podataka, važnost određenog parametra za specifičan region od interesa i brojni drugi.

U ovom koraku vrši se izbor alternativa - pogodnih metoda za izračunavanje ET_0 , odnosno ET_c koji će biti korišćen u okviru SPEI indeksa. Imajući u vidu složenost problema odlučivanja i kako bi se izbegla pristrasnost i objektivno pristupilo problemu upotrebljen je poznati metod višekriterijumske analize Analitički hijerarhijski proces (AHP). U skladu sa procedurom koju nalaže AHP metodologija prvo se definišu alternative (odabrani alternativni metodi za izračunavanje ET_0 , odnosno ET_c), između kojih se bira najpogodniji metod za specifične agroklimatske uslove posmatranog područja koji će biti korišćen u okviru SPEI indeksa. Izbor se vrši konsultacijom stručnjaka specifičnog područja i relevantne literature, imajući u vidu potrebu što veće lokalizacije istraživanja odnosno dobijanja rezultata koji će što bolje oslikavati uslove posmatranog područja. U slučaju primene ovog pristupa na nekom drugom lokalitetu potrebno je konsultovati eksperte koji poznaju uslove određenog posmatranog područja, kao i relevantnu literaturu specifičnog lokaliteta.

Korak II - Definisanje relevantnih kriterijuma značajnih za problem odlučivanja - izbor najpogodnijeg metoda za izračunavanje ET_0 (odnosno ET_c) koji će biti korišćen u okviru SPEI na posmatranom području

Nakon izbora alternativa, u narednom koraku definišu se kriterijumi na osnovu kojih se vrši izbor najpogodnijeg metoda za izračunavanje evapotranspiracije koji će biti korišćen u okviru SPEI indeksa na posmatranom području odnosno kriterijumi koji su značajni za konkretni problem odlučivanja. Ovi kriterijumi se mogu razlikovati u zavisnosti od područja primene predloženog pristupa i iz tog razloga ih je važno definisati individualno za konkretno specifično područje od interesa.

Korak III – Dobijanje individualnih odluka stručnjaka

Svaki donosilac odluka se intervjuiše posebno i prvo se u AHP matrici porede kriterijumi u odnosu na cilj problema odlučivanja (odabrati najpogodniji metod za izračunavanje ET_0 , odnosno ET_c). Nakon toga, alternative se porede u

odnosu na svaki kriterijum. Na kraju se dobija konačna odluka za svakog od intervjuisanih stručnjaka (individualna odluka svakog stručnjaka).

Korak IV – Dobijanje grupe odluke stručnjaka

U poslednjem koraku prve faze se od individualnih odluka dobija jedna grupna odluka odnosno rang alternativa. Prvorangirani metod dobijen grupnom odlukom stručnjaka uzima se kao najpogodniji metod za izračunavanje evapotranspiracije u okviru SPEI indeksa koji će se koristiti na području od interesa i povezati sa određenim kulturama u cilju praćenja pojave suše.

Faza II - Izračunavanje modifikovanog indeksa SPEI (AD-SPEI_{crop}) prilagođenog za određeno područje od interesa i vezanog za određenu kulturu

Korak I – Izračunavanje potencijalne evapotranspiracije kultura (ET_c)

Nakon odabira najpogodnijeg metoda za određeno područje od interesa na osnovu grupne odluke stručnjaka sledi izračunavanje ET_c. Kod originalnog SPEI koristi se ET₀, a u cilju boljeg monitoringa poljoprivredne suše u ovom pristupu ET₀ zamenjena je sa ET_c. Imajući u vidu da je ET_c količina vode potrebna kulturi za optimalni rast i razvoj (Brouwer i Heibloem, 1986), pretpostavljeno je da ET_c umesto ET₀ može služiti kao bolji indikator poljoprivredne suše, kao što je i preporučeno u prethodnim istraživanjima drugih autora ((Moorhead (2012); Moorhead i sar. (2013); Pei i sar. (2019)). Kod brojnih metoda ET_c se izračunava množenjem ET₀ sa odgovarajućim koeficijentima kulture, dok postoje metodi kod kojih nije neophodno prvo izračunavati ET₀. Drugim rečima ovaj korak zavisi od izabranog metoda za izračunavanje ET_c.

Korak II – Izračunavanje klimatskog vodnog bilansa

U ovom koraku sledi izračunavanje klimatskog vodnog bilansa kao razlike padavina i ET_c odabranih kultura gajenih na posmatranom području. Klimatski vodni bilans računa se na isti način kao i kod originalnog SPEI indeksa, sa tom razlikom da se za potrebe ovog pristupa, ET₀ zamenjuje potencijalnom evapotranspiracijom kulture (ET_c).

Vrednosti vodnog bilansa mogu se agregirati za određene vremenske periode, odnosno može se posmatrati akumulacija vodnog bilansa u određenom periodu. Za potrebe posmatranja poljoprivredne suše smatra se da su adekvatni vremenski periodi agregacije – akumulacioni periodi od 1 do 3 meseca.

Korak III - Odabir najpogodnije teorijske distribucije verovatnoća

U nastavku procedure računanja modifikovanog indeksa SPEI empirijske vrednosti klimatskog vodnog bilansa je potrebno prilagoditi teorijskoj distribuciji. Zbog toga što vrednosti klimatskog vodnog bilansa mogu biti negativne neophodno je koristiti tro-parametarsku distribuciju. Odabir najpogodnije teorijske distribucije koja se najbolje slaže sa empirijskim vrednostima klimatskog vodnog bilansa, odnosno razlikama padavina i ET_c pojedinih kultura na posmatranom području, vrši se odgovarajućim statističkim testovima. U originalnoj formulaciji SPEI indeksa koristi se log-logistička distribucija verovatnoća. Kako odabir prave distribucije može u velikoj meri da utiče na tačnost dobijenih rezultata potrebno je ponovo ispitati koja distribucija najbolje odgovara posmatranim empirijskim podacima modifikovanog klimatskog vodnog bilansa. Metode odabira odgovarajuće teorijske distribucije detaljno su opisane u poglavlju 5.4.

Korak IV - Izračunavanje modifikovanog indeksa SPEI ($AD-SPEI_{crop}$)

Na osnovu izabrane distribucije u prethodnom koraku, vrednosti modifikovanog indeksa SPEI dobijaju se na isti način kao i vrednosti originalnog SPEI indeksa transformacijom teorijske distribucije verovatnoća u standardizovanu normalnu distribuciju koja je simetrična, sa srednjom vrednošću 0 i standardnom devijacijom 1. Negativne vrednosti ukazuju na pojavu deficita vlage u klimatskom vodnom bilansu odnosno na sušne uslove, a pozitivne na povećanu vlagu. Detaljno objašnjenje može se videti u poglavlju 5.2.3. U predloženom pristupu ovaj korak zavisi od izabrane teorijske distribucije za konkretne podatke koji se analiziraju.

Korak V - (Opciono) Ispitivanje mogućnosti zalivnih sistema u odnosu na intenzitet suše korišćenjem $AD-SPEI_{crop}$

Potrebne količine vode za navodnjavanje dobijaju se računanjem vodnog bilansa kultura. Glavne komponente vodnog bilansa kultura u kritičnim periodima su ET_c i efektivne padavine. Efektivne padavine su deo bruto padavina koje su dostupne biljkama. Zbog teškoće tačnog određivanja efektivnih padavina u našem regionu, stručnjaci u praksi usvajaju da su efektivne padavine jednake bruto padavinama (Kolaković, 2006). Modifikovani indeks SPEI, odnosno $AD-SPEI_{crop}$ bazira se upravo na vodnom bilansu kultura koji se dobija kao razlika padavina i ET_c , što omogućava da se ovaj indeks suše koristi i za određivanje potreba useva za navodnjavanjem. Uporedo sa ovim indeksom može se pratiti suša i potrebe useva za navodnjavanjem i prikazati veze između stanja suše i potreba za navodnjavanjem posmatranih kultura. Jedna od praktičnih primena predloženog indeksa je određivanje zahtevanih karakteristika zalivnih sistema, u cilju sprečavanja nastanka negativnih

posledica suša određenih intenziteta, ili analiza mogućnosti postojećih zalivnih sistema u borbi protiv suše. Drugim rečima, primenom predloženog indeksa mogu se analizirati mogućnosti zalivnih sistema u odnosu na intenzitet suše odnosno mogućnost sistema da odbrani posmatranu kulturu od pojave suše određenog intenziteta.

Faza III – Validacija predloženog pristupa

Korak I – Poređenje indeksa AD-SPEI_{crop} sa relevantnim parametrima u cilju validacije

U predloženom pristupu definisana je i faza validacije u kojoj je prvi korak poređenje indeksa AD-SPEI_{crop} sa relevantnim podacima. Cilj ovog koraka je da se dobiju jasne naznake o tome u kojoj meri rezultati modifikovanog indeksa oslikavaju stanje suše i da se na taj način potvrdi njegova primena u praksi, kao i primena predloženog pristupa.

Kako bi se izvršila validacija modifikovanog indeksa neophodno je rezultate porediti sa relevantnim podacima kroz koje se mogu videti efekti pojave suše različitog intenziteta na posmatranom području. Kada su u pitanju vrste podataka sa kojim će se vršiti poređenje važno je obratiti pažnju na to da podaci budu relevantni, kvalitetni i da su dostupni dovoljno dugi nizovi podataka za potrebe statističkih analiza.

Nakon dobijanja rezultata AD-SPEI_{crop} indeksa koji je prilagođen određenom području od interesa i vezan za određenu kulturu, potrebno je statističkim metodama izvršiti poređenje vrednosti indeksa sa dostupnim relevantnim podacima kao što su: prinosi kultura, potrebe biljaka za vodom, istorijski zabeležene suše, povratne informacije od eksperata itd. Na različitim područjima dostupne su različite vrste podataka, odnosno ne raspolažu svi sa navedenim bazama, iz tog razloga je ovaj korak fleksibilan u smislu izbora relevantnih podataka za poređenje modifikovanog indeksa.

Korak II – Poređenje indeksa sa drugim opšte prihvaćenim indeksima

U ovom koraku je definisano u okviru predloženog pristupa da se dobijeni rezultati indeksa AD-SPEI_{crop} porede sa vrednostima drugih indeksa koji su već korišćeni na posmatranoj teritoriji i čija upotreba je potvrđena u praksi. Cilj ovog poređenja je da se uoče sličnosti i razlike u detektovanju sušnih događaja i njihovih intenziteta i na taj način izvrši validacija modifikovanog indeksa i potvrde njegove performanse u detektovanju sušnih događaja. Najčešće se u literaturi koriste tehnike vremenske i prostorne komparacije sa indeksima koji su široko poznati i priznati, kao što su PDSI, SPI, SPEI itd. Poređenje se može

vršiti vizuelno korišćenjem odgovarajućih dijagrama, grafika i karata ili korišćenjem odgovarajućih statističkih metoda.

Korak III – Povratna informacija od strane eksperata o dobijenim rezultatima poređenja

U poslednjem koraku predloženog pristupa u fazi validacije, pored statističkih i računskih procedura, od velike važnosti je i povratna informacija od strane eksperata bazirana na njihovom znanju i iskustvu na posmatranom području. Obzirom na to da se predloženi pristup odnosi na poljoprivrednu sušu preporučuje se da se u ovoj fazi validacije uključe stručnjaci različitih ekspertiza iz oblasti poljoprivrede kako bi se rezultati poređenja iz prethodna dva koraka kritički ocenili. Cilj u ovom predloženom pristupu je da se dobijeni rezultati poređenja sagledaju sa više aspekata i od strane stručnjaka koji poznaju lokalne uslove i iz tog razloga su potrebne povratne informacije od eksperta iz oblasti biljne proizvodnje (ratarstva i povrtarstva), navodnjavanja poljoprivrednih kultura i eksperata iz oblasti upravljanja sušom u poljoprivredi. Povratne informacije su od velikog značaja za konačnu ocenu performansi modifikovanog indeksa dobijenog u okviru predloženog pristupa monitoringu poljoprivredne suše jer pored ustaljenih matematičkih i računskih procedura uključuju i ekspertske mišljenje.

6.3. Pristup monitoringu poljoprivredne suše na području Vojvodine baziran na SPEI indeksu i njegova primena

U daljem tekstu dat je prikaz primene predloženog pristupa monitoringu poljoprivredne suše (ADM-SPEI pristupa) na području Vojvodine. Detaljan opis dat je kroz tri faze i pripadajuće korake svake faze (Slika 22). Analizirani su mesečni nizovi podataka od 1971 do 2016. godine sa 9 meteoroloških stanica pri čemu je posmatrano 11 poljoprivrednih kultura i računati su indeksi za tri perioda akumulacije (1, 2, 3 meseca). Zbog velike količine analiziranih podataka i izlaznih rezultata svake faze i koraka, nije moguće sistematizovano i sažeto prikazati sve rezultate. Iz tog razloga u okviru pojedinih koraka predloženog pristupa prikazane su ilustracije rezultata za različite vremenske periode i odabrane stanice.

6.3.1. Faza I - Donošenje odluke o najpogodnijem metodu za izračunavanje ET_0 (odnosno ET_c) koji će biti korišćen u okviru SPEI na posmatranom području

6.3.1.1. Korak I - Izbor alternativa - pogodnih metoda za izračunavanje ET_0 (odnosno ET_c) u okviru SPEI

U okviru ove disertacije, na osnovu preporuke stručnjaka između brojnih metoda odabrani su pet koji su često korišćeni u naučnim istraživanjima i domaćoj praksi na području Vojvodine. Kao alteranative odabrani su sledeći metodi: FAO-56 PM (PM), Turc (TU), Thornthwaite (TH), Bioklimatski (BM) baziran na Hidrofitotermičkim indeksima i Hargreaves (HG), između kojih će se birati najpogodniji. Ako bi se ovaj pristup primenjivao na nekom drugom području potrebno je ponovo izabrati pogodne metode konsultacijom relevantne literature i lokalnih stručnjaka.

6.3.1.2. Korak II - Definisane relevantnih kriterijuma značajnih za problem odlučivanja - izbor najpogodnijeg metoda za izračunavanje ET_0 (odnosno ET_c) koji će biti korišćen u okviru SPEI na posmatranom području

Nakon izbora alteranativa, u ovom koraku definišu se kriterijumi (C) koji su važni za problem odlučivanja - izbor najpogodnijeg metoda za izračunavanje evapotranspiracije koji će biti korišćen u okviru SPEI indeksa na posmatranom području. Osvrtom na relevantnu literaturu i stavove stručnjaka definisani su sledećih pet kriterijuma koji se posmatraju kao relevantni za konkretan problem odlučivanja.

1) Dostupnost pouzdanih ulaznih podataka - Availability of reliable input data (AD)

Metodi za izračunavanje evapotranspiracije baziraju se na različitim parametrima odnosno zahtevaju različite ulazne podatke. Mnoge meteorološke stanice širom sveta mere samo ograničen broj meteoroloških podataka, a često je i problem javna dostupnost tih podataka. Ne retko je pod znakom pitanja i kvalitet izmerenih podataka i zato je važno da meteorološki podaci budu pouzdani. Ovaj kriterijum je važan preduslov tačnosti krajnjih rezultata korišćenog metoda.

2) Preporuke od strane relevantne literature - Literature suggestion (LS)

Metodi za izračunavanje evapotranspiracije su često predmet izučavanja naučne javnosti širom sveta. U literaturi su predloženi brojni metodi za procenu evapotranspiracije koji se zasnivaju na različitim principima. Takođe, brojna su

i istraživanja i analize u različitim klimatskim uslovima o mogućnosti primene ovih metoda. Autori imaju različite stavove po pitanju toga koji metod se preporučuje za određeno područje. Poznavanje relevantne literature i istraživanja koji se odnose na određeno konkretno područje u značajnoj meri može da doprinese pravilnom izboru najpogodnijeg metoda za izračunavanje evapotranspiracije.

3) Jednostavnost metoda – Ease of calculation or simplicity (EC)

Širok dijapazon metoda za izračunavanje evapotranspiracije varira od empirijskih do kombinovanih metoda. Pored metoda koji su jednostavni za izračunavanje, postoje i brojni čija procedura zahteva kompleksne proračune. Često se daje prednost metodima koji omogućavaju jednostavan i brzi proračun. Sama kompleksnost metoda ne garantuje i kvalitet rezultata.

4) Uobičajena praksa u lokalnim specifičnim uslovima - Common practice (CP)

Brojni autori navode da je preporučljivo dobijene rezultate različitih metoda porediti sa rezultatima izračunatim nekim od sofisticiranih metoda na istraživanom području, kao što su lizimetri. Pošto su ova istraživanja zahtevna i skupa i iz tog razloga ova vrsta podataka često nije dostupna na brojnim lokacijama, polazi se od toga da je dugogodišnja primena metoda za izračunavanje evapotranspiracije i iskustvo stručnjaka u praksi dovelo do izbora najpogodnijih metoda za lokalne agroklimatske uslove određenog područja. Iz navedenih razloga uobičajena praksa odnosno pozitivno iskustvo u lokalnim specifičnim uslovima je uzeto u analizu kao relevantni kriterijum.

5) Relevantnost ulaznih parametara metoda za lokalne klimatske uslove - Relevance of the input parameters (RP)

Evapotranspiracija zavisi od brojnih klimatskih parametara. Međutim, u zavisnosti od posmatrane lokacije, pojedini parametri mogu imati dominantniji uticaj od drugih i iz tog razloga potrebno je poznavati klimatske uslove područja od interesa kako bi se odabrao adekvatan metod za izračunavanje evapotranspiracije. Metod koji će omogućiti najpreciznije izračunavanje mora sadržati najznačajnije klimatske parametre određenog područja koji utiču na intenzitet evapotranspiracije. Važno je da li metod koristi kao ulazne podatke parametre relevantne za klimatski region od interesa.

6.3.1.3. Korak III – Dobijanje individualnih odluka stručnjaka

U definisanju ovog pristupa pored specifičnosti agro-klimatskih uslova u obzir su uzeta i mišljenja eksperata sa područja Vojvodine različitih ekspertiza iz

domena poljoprivrede i korišćenja i upravljanja vodama u poljoprivredi. U istraživanju su učestvovali stručnjaci sa Poljoprivrednog fakulteta u Novom Sadu, Instituta za ratarstvo i povrtarstvo, Javnog vodoprivrednog preduzeća, kao i eksperti u projektovanju i upravljanju sistema za navodnjavanje zaposleni u vodećim poljoprivrednim kompanijama na ovim prostorima, koji su intervjuisani u cilju izbora najpogodnijeg metoda za izračunavanje evapotranspiracije u okviru SPEI indeksa za teritoriju Vojvodine. Hijerarhija problema odlučivanja grafički je prikazana na Slici 22b.

U istraživanju je učestvovalo 9 stručnjaka (donosilaca odluke - DO). Svaki stručnjak pojedinačno je u AHP matrici poredio kriterijume u odnosu na cilj problema odlučivanja (odabrati najpogodniji metod za izračunavanje ET_0 , odnosno ET_c koji će se koristiti u okviru SPEI indeksa). Intervjuisanje svakog stručnjaka izvršeno je individualno korišćenjem Satty-jeve skale relativnog značaja (Tabela 6). Nakon toga, svaki od stručnjaka je poredio alternative u odnosu na svaki kriterijum posebno i njihove ocene su smeštene u AHP matrice odlučivanja. Primeri matrica poređenja za Stručnjaka I prikazane su u tabeli na Slici 23. Za svakog stručnjaka dobijeno je ukupno 6 matrica poređenja (po jedna za poređenje kriterijuma u odnosu na cilj i po 5 za poređenje alternativa u odnosu na svaki kriterijum).

(C)	AD	LS	EC	CP	RP	(AD)	PM	TU	TH	BM	HG
AD		4	8	6	3	PM		1/3	1/8	1/9	1/5
LS			2	2	1/2	TU			1/6	1/8	1/4
EC				1/3	1/6	TH				1/2	4
CP					1/3	BM					4
RP						HG					
(LS)	PM	TU	TH	BM	HG	(EC)	PM	TU	TH	BM	HG
PM		4	1/5	1/5	1/4	PM		1/4	1/7	1/9	1/4
TU			1/8	1/8	1/6	TU			1/5	1/7	1/2
TH				1	3	TH				1/3	4
BM					3	BM					5
HG						HG					
(CP)	PM	TU	TH	BM	HG	(RP)	PM	TU	TH	BM	HG
PM		4	1/7	1/8	1/6	PM		2	4	4	3
TU			1/8	1/9	1/6	TU			2	2	2
TH				1/2	3	TH				1	1/2
BM					4	BM					1/2
HG						HG					

Slika 23. Primer matrica poređenja za Stručnjaka I

Zatim je klasičnom AHP sintezom dobijena konačna odluka za svakog od intervjuisanih stručnjaka (individualna odluka svakog stručnjaka) o tome koji od poređenih metoda za izračunavanje ET_0 , odnosno ET_c je najpogodniji da se koristi u okviru SPEI indeksa na posmatranom području Vojvodine. Individualni vektori prioriteta prikazani su u Tabeli 11. Provera konzistentnosti vršena je za svakog stručnjaka, pri čemu kad bi se utvrdilo da se pojavljuju

nekonzistentne ocene postupak je ponovljen i za svakog stručnjaka je izračunata vrednost CR manja od 0,10 na osnovu čega se smatra da su vrednovanja dovoljno konzistentna.

6.3.1.4. Korak IV – Dobijanje grupne odluke stručnjaka

U ovom koraku je od individualnih odluka stručnjaka dobijena jedna grupna odluka odnosno rang alternativa primenom AIP metoda (Aggregating individual priorities) i Weighted arithmetic mean metoda (Ramanathan i Ganesh, 1994). Svi donosioci odluka imaju istu težinu u grupnoj odluci. Dobijena grupna odluka je prikazana u Tabeli 11 gde se može videti sledeći rang metoda: na prvom mestu je rangiran Bioklimatski metod (BM), zatim Thornthwaite (TH), Hargreaves (HG), FAO-56 PM (PM) i na poslednjem mestu Turc (TU). Bioklimatski metod baziran na Hidrofitotermičkim indeksima, kao prvo rangirani metod dobijen grupnom odlukom stručnjaka, uzima se kao najpogodniji metod za izračunavanje evapotranspiracije u okviru SPEI indeksa za područje Vojvodine koji će se u daljem radu povezati sa specifičnim kulturama.

Tabela 11. Individualne i grupna odluka stručnjaka

Donosioci odluka (Eksperti)	Individualne odluke				
	PM	TU	TH	BM	HG
DM1	0,134	0,092	0,270	0,356	0,148
DM2	0,103	0,073	0,290	0,429	0,105
DM3	0,131	0,164	0,288	0,250	0,167
DM4	0,130	0,075	0,211	0,382	0,202
DM5	0,075	0,094	0,242	0,494	0,096
DM6	0,182	0,063	0,211	0,359	0,185
DM7	0,074	0,062	0,409	0,386	0,069
DM8	0,169	0,082	0,210	0,354	0,185
DM9	0,082	0,106	0,327	0,337	0,147
Grupna odluka	0,120	0,090	0,273	0,372	0,145

6.3.2. Faza II - Izračunavanje modifikovanog indeksa SPEI (AD-SPEI_{crop})

6.3.2.1. Korak I - Izračunavanje potencijalne evapotranspiracije kultura (ET_c)

Nakon odabira najpogodnijeg metoda za izračunavanje ET_c koji će biti korišćen u okviru SPEI metoda na posmatranom području Vojvodine u ovom koraku se pristupa njegovom izračunavanju. Analizom obuhvaćene kulture su: kukuruz,

soja, šećerna repa, lucerka, krompir, crni luk, kupus, pasulj, hmelj, duvan i ozima pšenica. Izbor kultura izvršen je na osnovu toga da li je kultura osetljiva na pojavu suše, da li postoji Bioklimatski koeficijent i podaci o prinosima u javno dostupnim statističkim publikacijama.

U ovom koraku izračunate su vrednosti ET_c primenom Bioklimatskog metoda uz korišćenje Hidrofitotermičkih indeksa kulture (K). Hidrofitotermički indeksi kultura (kukuruz, soja, šećerna repa, lucerka, krompir, crni luk, kupus, hmelj, duvan) su preuzeti iz literature, a dobijeni su višegodišnjim terenskim istraživanjima brojnih autora. Za pasulj nisu konkretno definisani Hidrofitotermički indeksi u literaturi, ali po savetu stručnjaka usvojeni su koeficijenti boranije kao validni za pasulj. Ovi koeficijenti se koriste u lokalnoj praksi za obračun vodnog bilansa i potreba za navodnjavanjem pasulja i pokazali su se kao odgovarajući. Vrednosti koeficijenata za ozimu pšenicu dobijeni su računskim putem konverzijom FAO koeficijenata kulture (Allen i sar.,1998), a ovaj predloženi postupak će detaljno biti opisan u daljem tekstu.

Vrednosti ET_c računata su na mesečnom nivou množenjem odgovarajućih Hidrofitotermičkih indeksa sa sumom srednje dnevne temperatura vazduha u posmatranom mesecu:

$$ET_c = K \cdot \sum_{i=1}^n T_i \quad (49)$$

gde je n broj dana u mesecu, a T je srednja dnevna temperatura u posmatranom mesecu. Ova jednačina se može pojednostaviti:

$$ET_c = K \cdot T \cdot n \quad (50)$$

Vrednosti Hidrofitotermičkih indeksa korišćenih za izračunavanje ET_0 dati su u Tabeli 12. Bioklimatski metod može biti korišćen u bilo kojem drugom regionu utvrđivanjem novih Hidrofitotermičkih koeficijenata (indeksa) jer je područje njihove primene ograničeno samo za reon za koji su eksperimentalno određeni.

Tabela 12. Hidrofitotermički indeksi kultura

Kultura	Hidrofitotermički indeks (K)
Kukuruz	0,11 – maj; 0,18 – jun; 0,18 – jul; 0,18 – avgust; 0,11 – septembar
Šećerna repa	0,15 – maj; 0,20 – jun; 0,21 – jul; 0,20 – avgust; 0,12 – septembar
Lucerka	0,17 – april; 0,25 – maj; 0,25 – jun; 0,25 – jul; 0,22 – avgust; 0,15 – septembar
Soja	0,11 – maj; 0,17 – jun; 0,18 – jul; 0,17 – avgust; 0,11 – septembar
Krompir	0,19 – maj; 0,19 – jun; 0,19 – jul; 0,19 – avgust; 0,19 – septembar
Kupus	0,20 – jul; 0,20 – avgust; 0,20 – septembar
Pasulj	0,22 – jun; 0,24 – jul
Hmelj	0,12 – april; 0,15 – maj; 0,18 – jun; 0,21 – jul; 0,18 – avgust
Crni luk	0,19 – april; 0,19 – maj; 0,19 – jun; 0,19 – jul; 0,19 – avgust
Duvan	0,13 – maj; 0,20 – jun; 0,21 – jul; 0,19 – avgust; 0,14 – septembar
Ozima pšenica	0,32 – februar; 0,22 – mart; 0,24 – april; 0,26 – maj; 0,21 – jun

Kao što je već napomenuto Hidrofitotermički indeksi kultura su preuzeti iz literature, a rezultat su višegodišnjih terenskih istraživanja od strane brojnih autora, osim koeficijenata za ozimu pšenicu. U literaturi nisu pronađene pouzdane vrednosti Hidrofitotermičkih indeksa za ovu kulturu. Imajući u vidu da je pšenica ekonomski značajna kultura na području Vojvodine potrebno je da se uključi u analizu. U literaturi se mogu pronaći istraživanja (Jaćimović, 2012) u kojima su određene vrednosti FAO koeficijenta (Allen i sar.,1998) za ozimu pšenicu na poljskim ogledima na prostoru Vojvodine. Koristeći ova istraživanja izvršena je konverzija FAO koeficijenata računskim putem u Bioklimatske koeficijente i na taj način su dobijeni Bioklimatski koeficijenti ozime pšenice. Ovaj vid konverzije koeficijenata otvara mogućnosti daljih istraživanja ove problematike. Alternativni metod određivanja Bioklimatskih koeficijenata (Hidrofitotermičkih indeksa) koji je predložen i primenjen na ozimu pšenicu je detaljno opisan u daljem tekstu.

U radu Jaćimović (2012) u istraživanjima sprovedenim na Institutu za ratarstvo i povrtarstvo na Rimskim Šančevima, određene su vrednosti FAO koeficijenta kulture za ozimu pšenicu. Vrednosti koeficijenata kulture su određene detaljno za svaku fazu razvoja ozime pšenice. Prema FAO publikaciji (Doorenbos i Pruitt, 1977) potencijalna evapotranspiracija kulture (ET_c) određuje se na osnovu referentne evapotranspiracije (ET_0) i koeficijenata kultura (k_c). Izračunava se sledećom formulom:

$$ET_c = k_c \cdot ET_0 \quad (51)$$

Vrednost koeficijenta kulture nije konstantna tokom vegetacionog perioda i menja se u zavisnosti od faze razvoja kulture (Trajković, 2009a). U FAO publikaciji Allen i sar. (1998) date su tipične vrednosti koeficijenata kultura po fazama razvoja koje važe za subhumidne klimatske uslove sa prosečnom

minimalnom relativnom vlažnošću od 45% i sa umerenom brzinom vetra od oko 2 m/s, koji odgovaraju našim klimatskim uslovima (Trajković, 2009a).

Bioklimatski metod se bazira na visokom stepenu slaganja odabranog klimatskog parametra sa ET_c . Ako se posmatra Hidrofitotermički indeks potrebno je da postoji visoka korelacija između temperatura vazduha i ET_c na posmatranom području. Utvrđeno je da postoji visok stepen korelacije između mesečnih temperatura vazduha i ET_c ozime pšenice, koja je računata na osnovu podataka o mesečnim vrednostima ET_c ozime pšenice na meteorološkoj stanici Rimski Šančevi za period od 1966 do 2010. godine korišćenjem koeficijenta ozime pšenice dobijenih u istraživanjima Jaćimović (2012). Vrednost Pearson-ovog koeficijenta korelacije r iznosi 0,93 što ukazuje da se temperatura vazduha može koristiti za određivanje ET_c ozime pšenice na području Vojvodine. Hidrofitotermički indeks (K) predstavlja odnos ET_c i temperature vazduha (T) i ako se koriste podaci na mesečnom nivou može se izračunati sledećom formulom:

$$K = \frac{ET_c^{month}}{T^{month}} \quad (52)$$

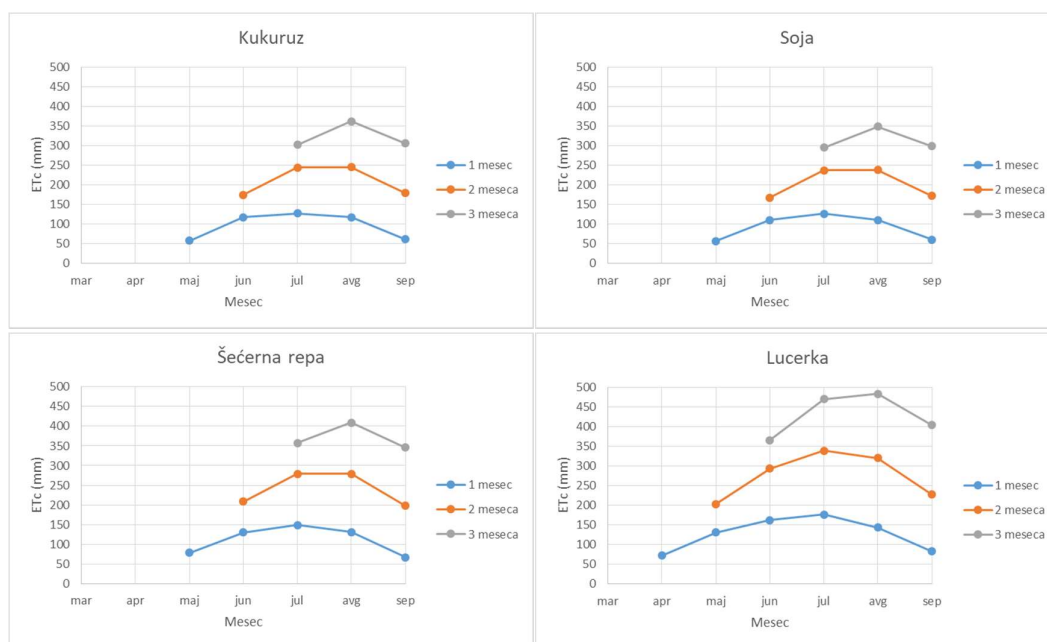
U Tabeli 13 prikazani su rezultati proračuna Hidrofitotermičkih indeksa ozime pšenice. Vrednosti Hidrofitotermičkih indeksa ozime pšenice iznose: 0,11 – oktobar; 0,10 – novembar; 0,21 – decembar; 0,32 – februar; 0,22 – mart; 0,24 – april; 0,26 – maj i 0,21 – jun.

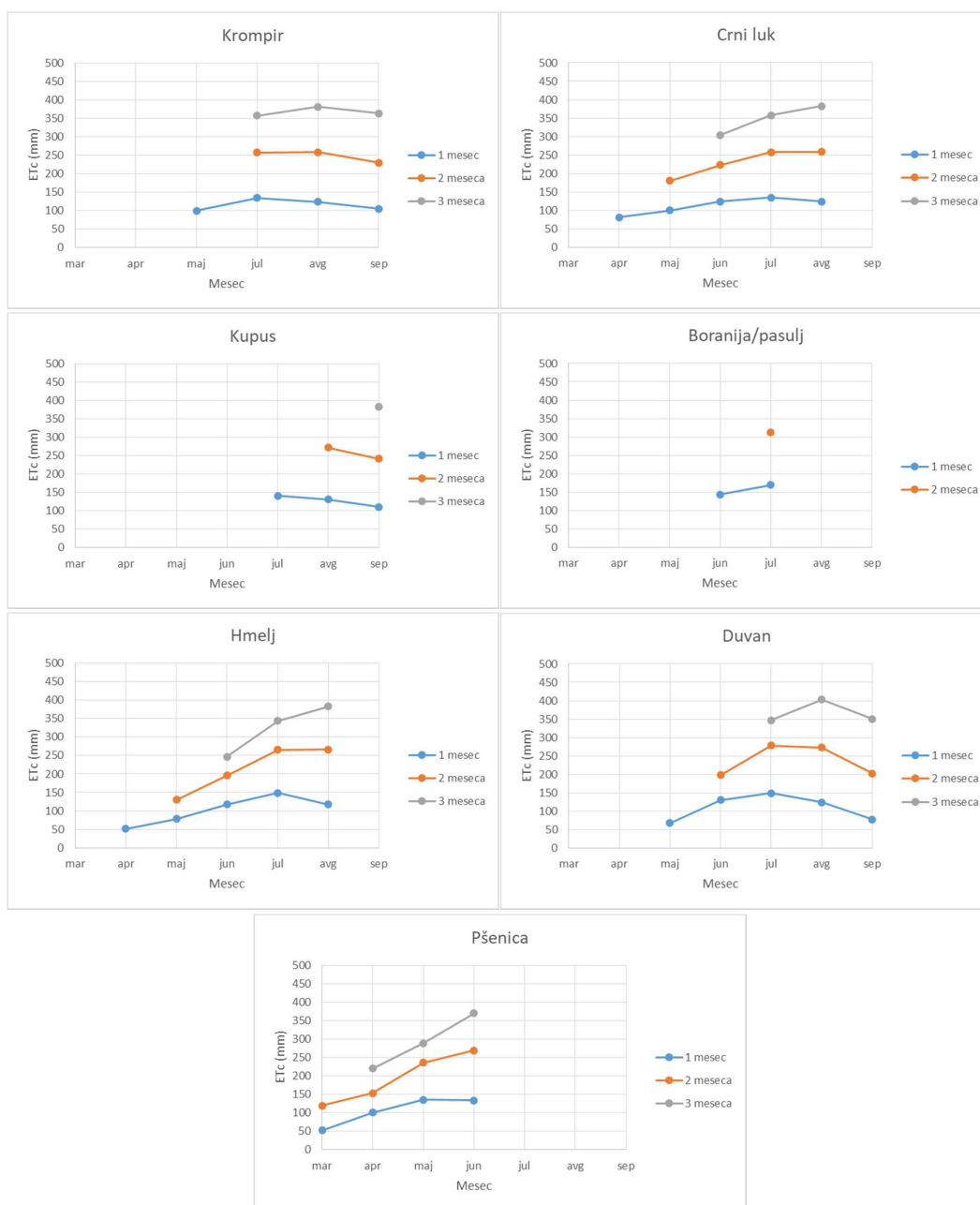
Tabela 13. Određivanje Hidrofitotermičkih indeksa ozime pšenice, meteorološka stanica Rimski Šančevi, 1966 – 2010. godina

Mesec	Koeficijent kulture k_c	Srednje mesečne sume ET_c (mm)	Srednje mesečne sume T(C°)	Hidrofitotermički indeks K
Oktobar	0,75	38,6	358,1	0,11
Novembar	0,75	17,3	178,3	0,10
Decembar	0,70	9,8	46,6	0,21
Januar	0,40	6,0	-4,8	-
Februar	0,70	17,9	56,6	0,32
Mart	0,78	43,3	198,9	0,22
April	0,97	82,1	346,8	0,24
Maj	1,12	136,1	527,1	0,26
Jun	0,92	122,2	594,9	0,21

Prikazan postupak za određivanje Hidrofitotermičkog indeksa ozime pšenice moguće je koristiti i za određivanje Bioklimatskih indeksa drugih kultura za koje ne postoje prethodno određene vrednosti terenskim istraživanjima na posmatranom području.

Nakon definisanja korišćenih koeficijenata za izračunavanje ET_c pomoću Bioklimatskog metoda u nastavku su prikazani dobijeni rezultati ovog koraka. Zbog velike količine rezultata dobijenih u ovom koraku nije ih moguće sistematizovano prikazati, tako da je izdvojeno nekoliko karakterističnih godina u cilju ilustracije rezultata. Na dijagramima (Slika 24) su prikazane vrednosti ET_c računane Bioklimatskim metodom za sve posmatrane kulture, a za meteorološke podatke sa stanice Rimski Šančevi 2016. godine. Najveće vrednosti ET_c na jednomesečnom nivou zabeležene su kod lucerke (177 mm) u julu mesecu i kod pasulja (170 mm) takođe u julu, a najmanje vrednosti su zabeležene u aprilu mesecu za hmelj (51 mm) i u martu mesecu za ozimu pšenicu (53 mm). Najveće vrednosti ET_c na dvomesečnom nivou zabeležene su takođe kod lucerke (339 mm) u julu mesecu i kod pasulja (313 mm) u istom mesecu, a najmanje vrednosti su zabeležene u maju mesecu za hmelj (130 mm) i u martu (120 mm) i aprilu (153) mesecu za ozimu pšenicu. Najveće vrednosti ET_c na tromesečnom nivou zabeležene su takođe kod lucerke (483 mm) u avgustu mesecu i kod šećerne repe (409 mm) u istom mesecu, a najmanje vrednosti su zabeležene u aprilu (221 mm) i maju (289) mesecu za ozimu pšenicu.

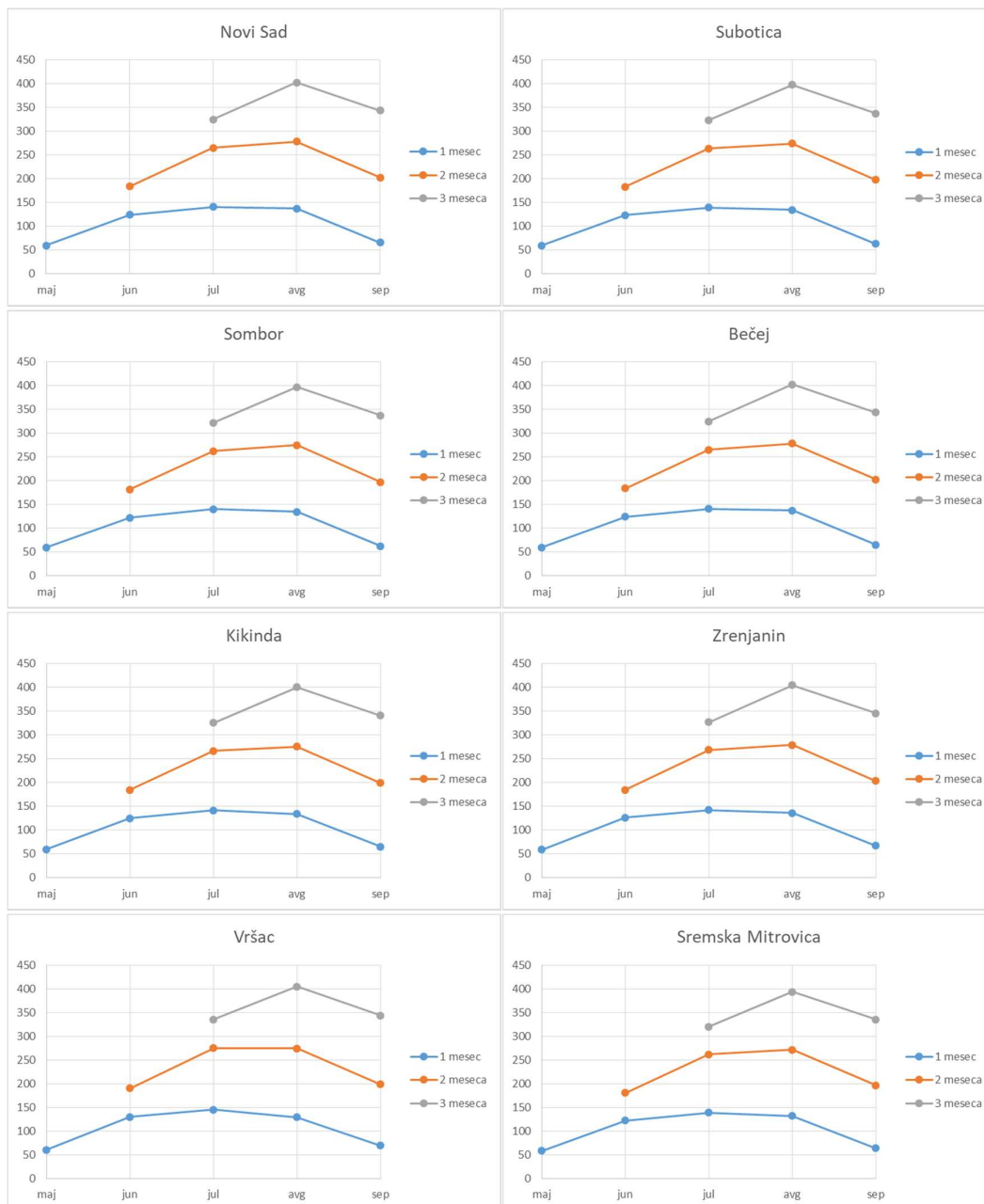


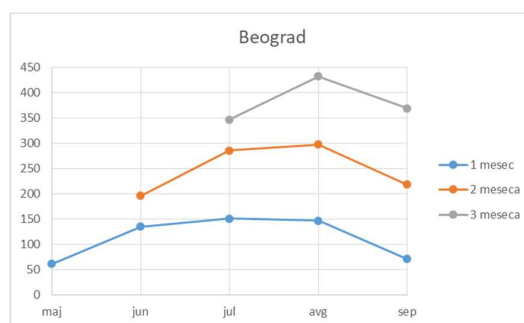


Slika 24. Dijagrami ET_c, meteorološka stanica Rimski Šančevi 2016. godina, periodi akumulacije od 1 do 3 meseca

Na dijagramima (Slika 25) prikazane su vrednosti ET_c za kukuruz, za podatke sa svih devet meteoroloških stanica za veoma sušnu 2012. godinu. Prosečna vrednost ET_c kukuruza na svim stanicama za jednomesečni period akumulacije za mesec maj iznosi 60 mm, za jun iznosi 126 mm, za jul iznosi 142 mm, za avgust iznosi 136 mm i za septembar iznosi 66 mm. Prosečna vrednost ET_c kukuruza na svim stanicama za dvomesečni period akumulacije za mesec jun je 185 mm, za jul je 268 mm, za avgust je 278 mm i za septembar je 202 mm.

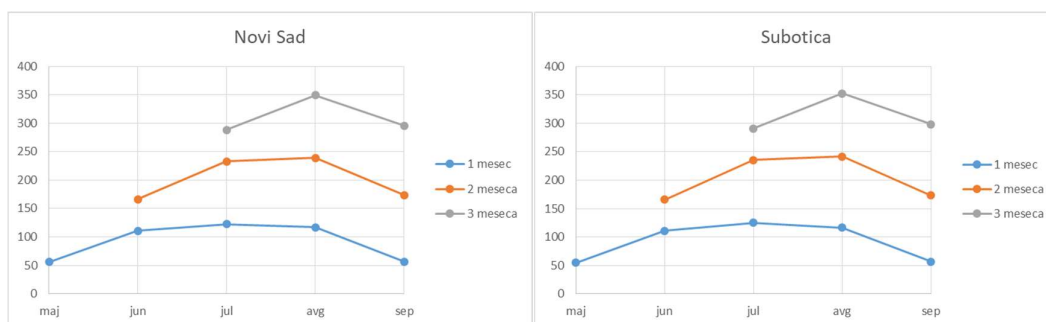
Prosečna vrednost ET_c kukuruza na svim stanicama za tromesečni period akumulacije za mesec jul je 327 mm, za avgust je 404 mm i za septembar je 344 mm. Najveće vrednosti ET_c kukuruza su dobijene na osnovu podataka sa meteorološke stanice Beograd, za jednomesečni period iznosi 151 mm u julu, za dvomesečni period iznosi 297 mm u avgustu i za tromesečni period iznosi 432 mm u avgustu mesecu. Najmanje vrednosti ET_c kukuruza zabeležene su za stanicu Zrenjanin za jednomesečni period i iznosi 59 mm u maju mesecu, za stanicu Sremska Mitrovica za dvomesečni period iznosi 181 mm u junu i za tromesečni period za istu stanicu iznosi 320 mm u julu mesecu.

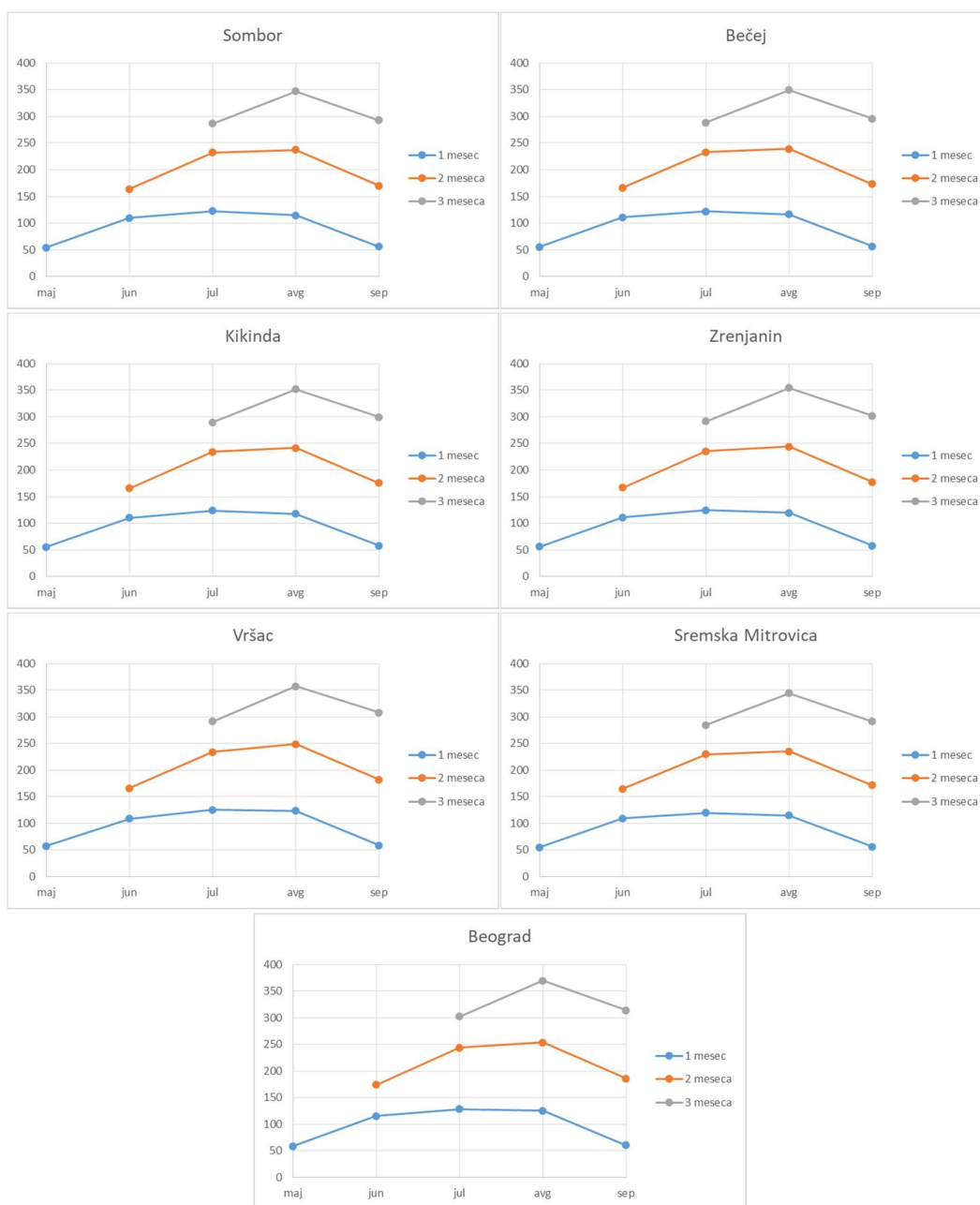




Slika 25. Dijagrami ET_c kukuruza za 2012. godinu, periodi akumulacije od 1 do 3 meseca

Na dijagramima (Slika 26) prikazane su vrednosti ET_c za kukuruz, za podatke sa svih devet meteoroloških stanica za veoma vlažnu 2014. godinu. Prosečna vrednost ET_c kukuruza na svim stanicama za jednomesečni period akumulacije za mesec maj iznosi 56 mm, za jun iznosi 111 mm, za jul iznosi 124 mm, za avgust iznosi 118 mm i za septembar iznosi 57 mm. Prosečna vrednost ET_c kukuruza na svim stanicama za dvomesečni period akumulacije za mesec jun je 167 mm, za jul je 235 mm, za avgust je 242 mm i za septembar je 176 mm. Prosečna vrednost ET_c kukuruza na svim stanicama za tromesečni period akumulacije za mesec jul je 290 mm, za avgust je 353 mm i za septembar je 300 mm. Najveće vrednosti ET_c kukuruza su dobijene na osnovu podataka sa meteorološke stanice Beograd, za jednomesečni period iznosi 128 mm u julu, za dvomesečni period iznosi 254 mm u avgustu i za tromesečni period iznosi 369 mm u avgustu mesecu. Najmanje vrednosti ET_c kukuruza zabeležene su za stanicu Sombor za jednomesečni period i iznosi 54 mm u maju mesecu, za stanicu Sombor za dvomesečni period iznosi 164 mm u junu i za tromesečni period za stanicu Sremska Mitrovica iznosi 284 mm u julu mesecu.





Slika 26. Dijagrami ET_c kukuruza za 2014. godinu, periodi akumulacije od 1 do 3 meseca

6.3.2.2. Korak II - Izračunavanje klimatskog vodnog bilansa

Klimatski vodni bilans (D) računa se kao razlika padavina (P) i referentne evapotranspiracije (ET_0) isto kao kod originalnog SPEI indeksa. Za potrebe modifikacije ovog indeksa, ET_0 je zamenjena sa ET_c i klimatski vodni bilans se računa:

$$D_i = P_i - ETc_i \quad (53)$$

gde i predstavlja posmatrani mesec na koji se odnose D , P i ETc .

Vrednosti vodnog bilansa D_i mogu se agregirati za određene vremenske periode, odnosno može se posmatrati akumulacija vodnog bilansa u određenom periodu. Za potrebe posmatranja poljoprivredne suše smatra se da su adekvatni vremenski periodi agregacije – akumulacioni periodi od 1 do 3 meseca. Agregirane vrednosti vodnog bilansa mogu se izračunavati prema sledećoj formuli:

$$D_i^k = \sum_{j=0}^{k-1} D_{i-j} \quad (54)$$

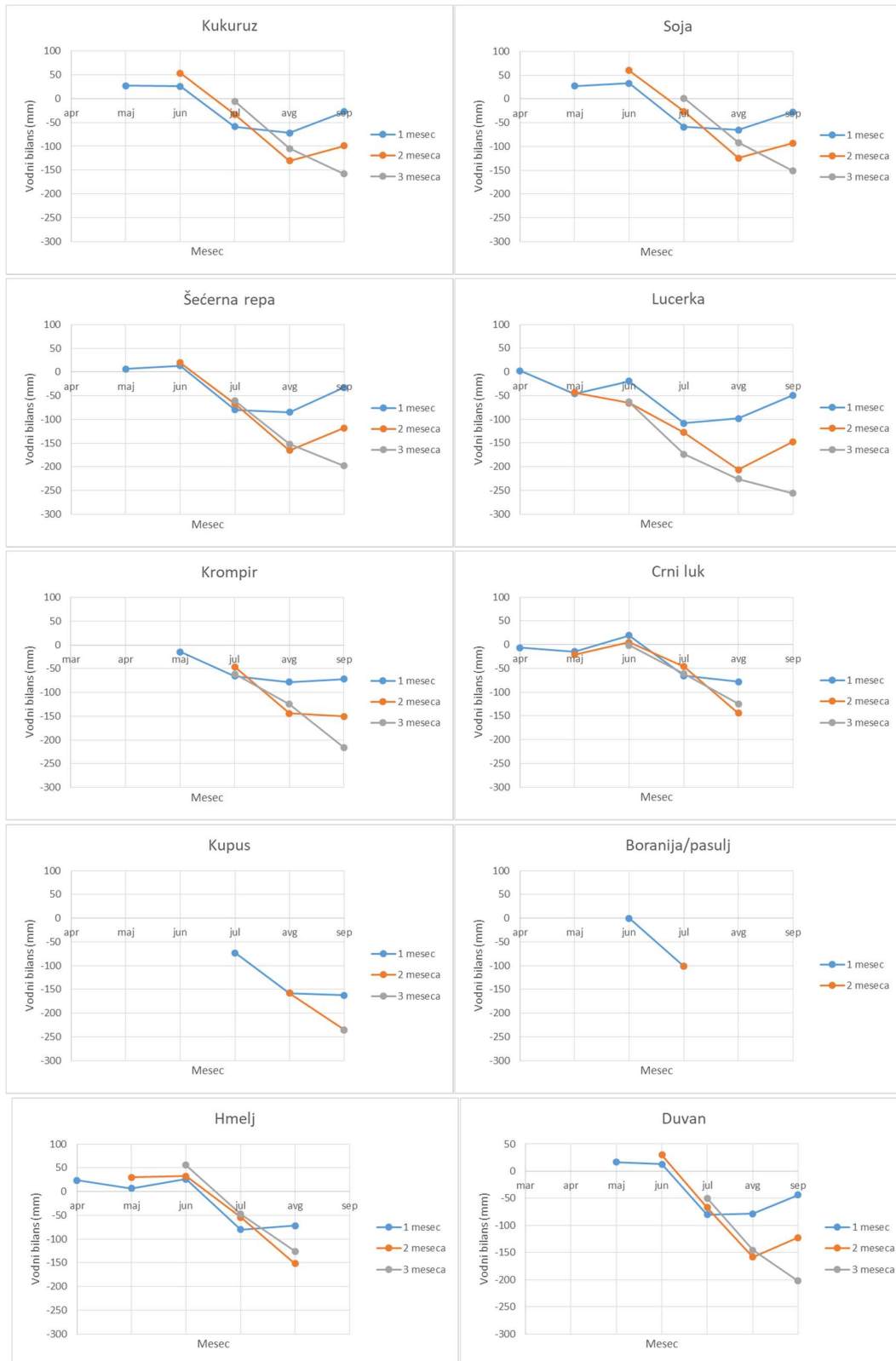
gde k predstavlja period agregacije – akumulacioni period, a i je posmatrani mesec.

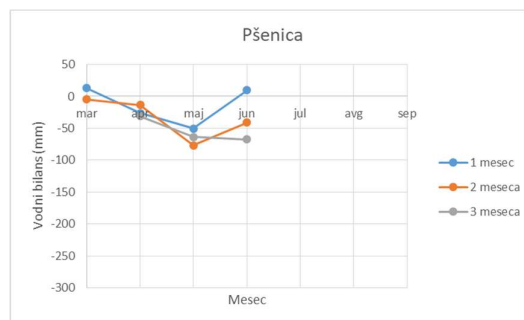
U prethodnom koraku izračunata je ETc korišćenjem Bioklimatskog metoda kako bi se u ovom koraku izračunale vrednosti vodnih bilansa kao razlika između padavina i ETc .

Vrednosti klimatskog vodnog bilansa računata su za odabrane kulture (kukuruz, soja, šećerna repa, lucerka, krompir, crni luk, kupus, pasulj, hmelj, duvan i ozima pšenica) i za podatke o padavinama i temperaturama sa devet meteoroloških stanica na posmatranom području (Rimski Šančevi, Palić, Sombor, Bečej, Kikinda, Zrenjanin, Vršac, Sremska Mitrovica i Beograd), za akumulacione periode od 1 do 3 meseca u zavisnosti od trajanja vegetacije kultura. Zbog velike količine izlaznih rezultata ovog koraka, u nastavku je prikazano nekoliko ilustracija vrednosti vodnog bilansa u pojedinim slučajevima.

Na dijagramima (Slika 27) ilustrovane su vrednosti klimatskog vodnog bilansa za sve posmatrane kulture, a za meteorološke podatke sa stanice Rimski Šančevi 2016. godine. Najveći deficit u vodnom bilansu za period akumulacije od jednog meseca je kod kupusa (-162 mm) u septembru, a najveći suficit je zabeležen kod soje (+33 mm) u junu mesecu. Najveći deficit u vodnom bilansu za period akumulacije od dva meseca je takođe kod kupusa (-235 mm) u septembru, a najveći suficit je takođe zabeležen kod soje (+60 mm) u junu mesecu. Najveći deficit u vodnom bilansu za period akumulacije od tri meseca je kod lucerke (-256 mm) u septembru, a najveći suficit je zabeležen kod hmelja (+56 mm) u junu mesecu.

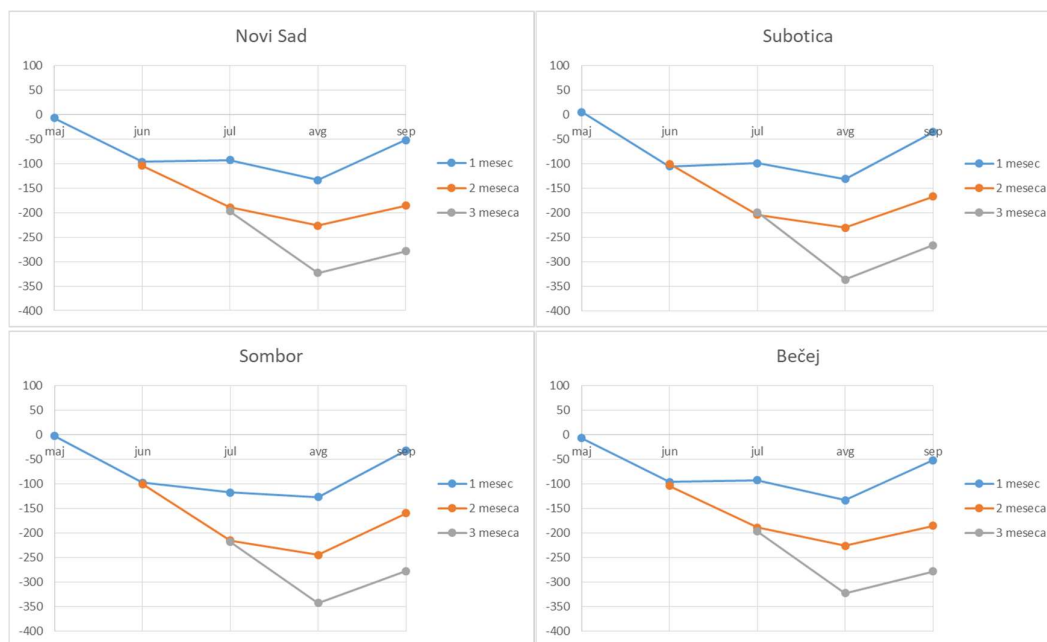
PRISTUP MONITORINGU POLJOPRIVREDNE SUŠE NA PODRUČJU VOJVODINE BAZIRAN NA STANDARDIZOVANOM INDEKSU PADAVINA I EVAPOTRANSPIRACIJE

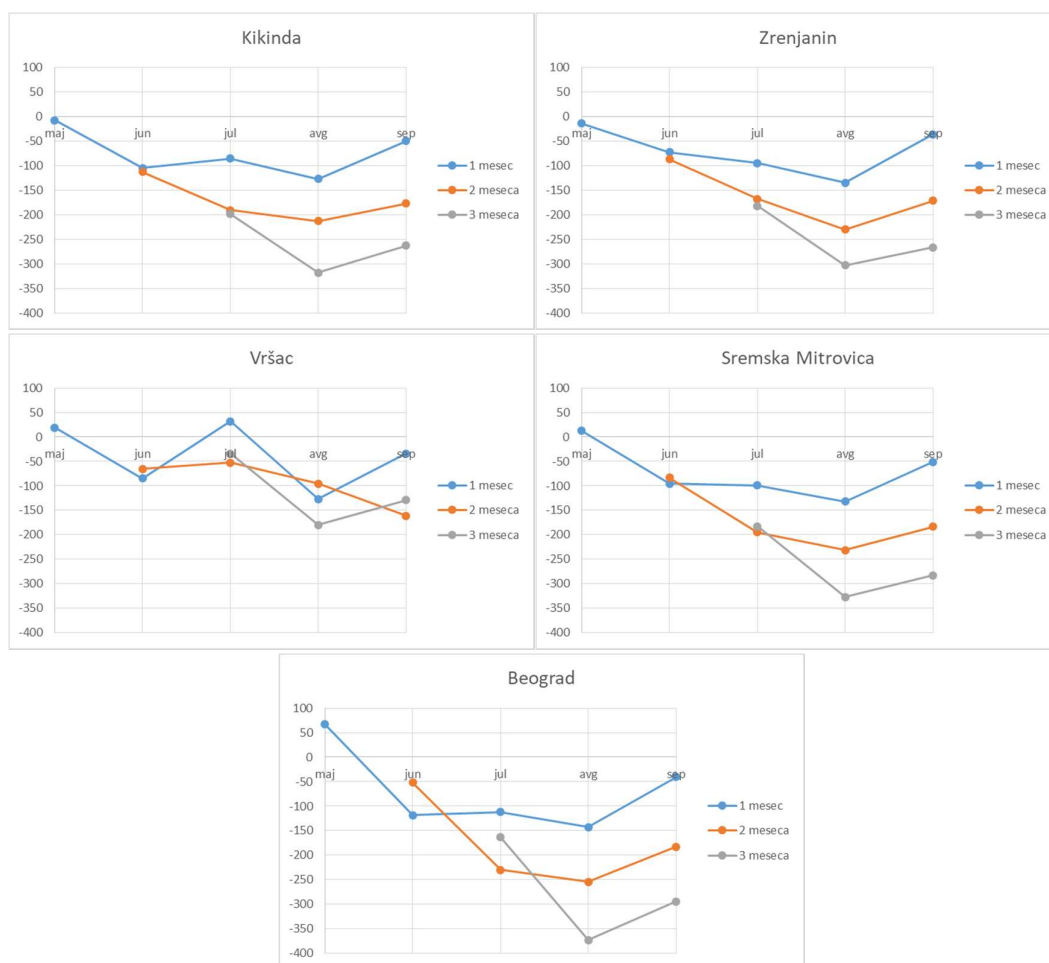




Slika 27. Dijagrami klimatskih vodnih bilansa, meteorološka stanica Rimski Šančevi 2016. godina, periodi akumulacije od 1 do 3 meseca

Na dijagramima (Slika 28) ilustrovane su vrednosti klimatskog vodnog bilansa za kukuruz, a za podatke sa svih devet meteoroloških stanica za veoma sušnu 2012. godinu. Najveći deficiti u vodnom bilansu za period akumulacije od jednog meseca su zabeleženi u avgustu kada su sve stanice zabeležile deficite, od -127 mm u Vršcu i Kikindi do -142 mm u okolini Beograda, a suficiti su zabeleženi u maju mesecu (Palić + 5 mm, Vršac +19 mm, Sremska Mitrovica +13 mm, Beograd +67 mm) i u julu mesecu (Vršac +32 mm). Za period akumulacije od dva meseca, sve stanice su zabeležile deficite, a najveći deficiti su u avgustu mesecu od -95 mm u Vršcu do -254 mm u okolini Beograda. Za period akumulacije od tri meseca takođe su sve stanice zabeležile deficite, a najveći deficiti su takođe u avgustu i kreću se od -180 mm u Vršcu do -373 mm u okolini Beograda.

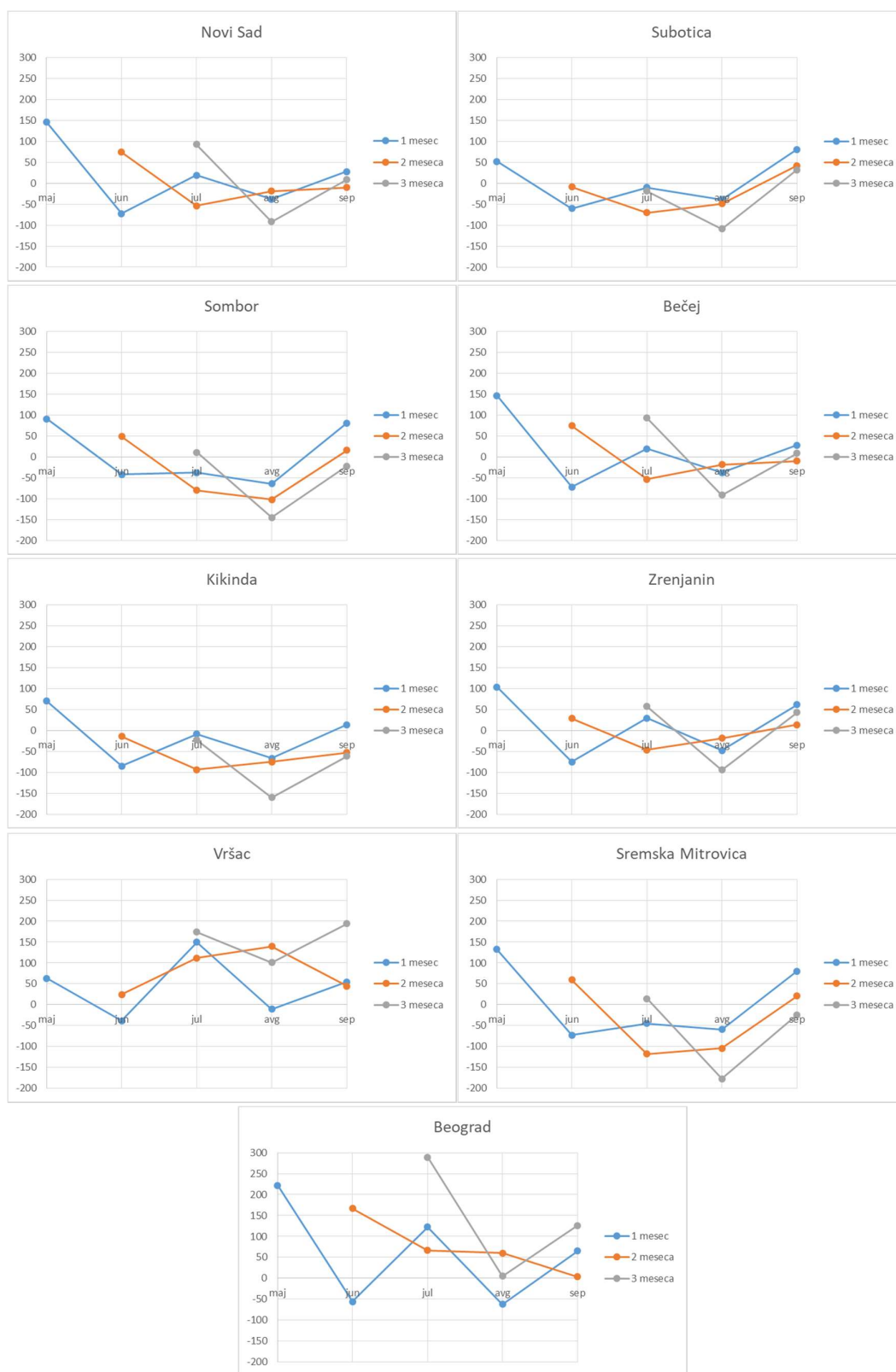




Slika 28. Dijagrami klimatskih vodnih bilansa kukuruza za 2012. godinu, periodi akumulacije od 1 do 3 meseca

Na dijagramima (Slika 29) ilustrovane su vrednosti klimatskog vodnog bilansa za kukuruz, a za podatke sa svih devet meteoroloških stanica za veoma vlažnu 2014. godinu. Za period akumulacije od jednog meseca zabeleženi su deficiti u vodnom bilansu kukuruza na svim stanicama u maju mesecu od +52 mm na Paliću do +222 mm u Beogradu, i u septembru mesecu od +14 mm u Kikindi do +81 mm na Paliću. Za period akumulacije od dva meseca vodni bilans je varirao od -117 mm u Sremskoj Mitrovici u julu mesecu do +166 mm u okolini Beograda u junu mesecu. Za period akumulacije od tri meseca vodni bilans je varirao od -177 mm u Sremskoj Mitrovici u avgustu mesecu do +289 mm u okolini Beograda u julu mesecu.

PRISTUP MONITORINGU POLJOPRIVREDNE SUŠE NA PODRUČJU VOJVODINE BAZIRAN NA STANDARDIZOVANOM INDEKSU PADAVINA I EVAPOTRANSPIRACIJE



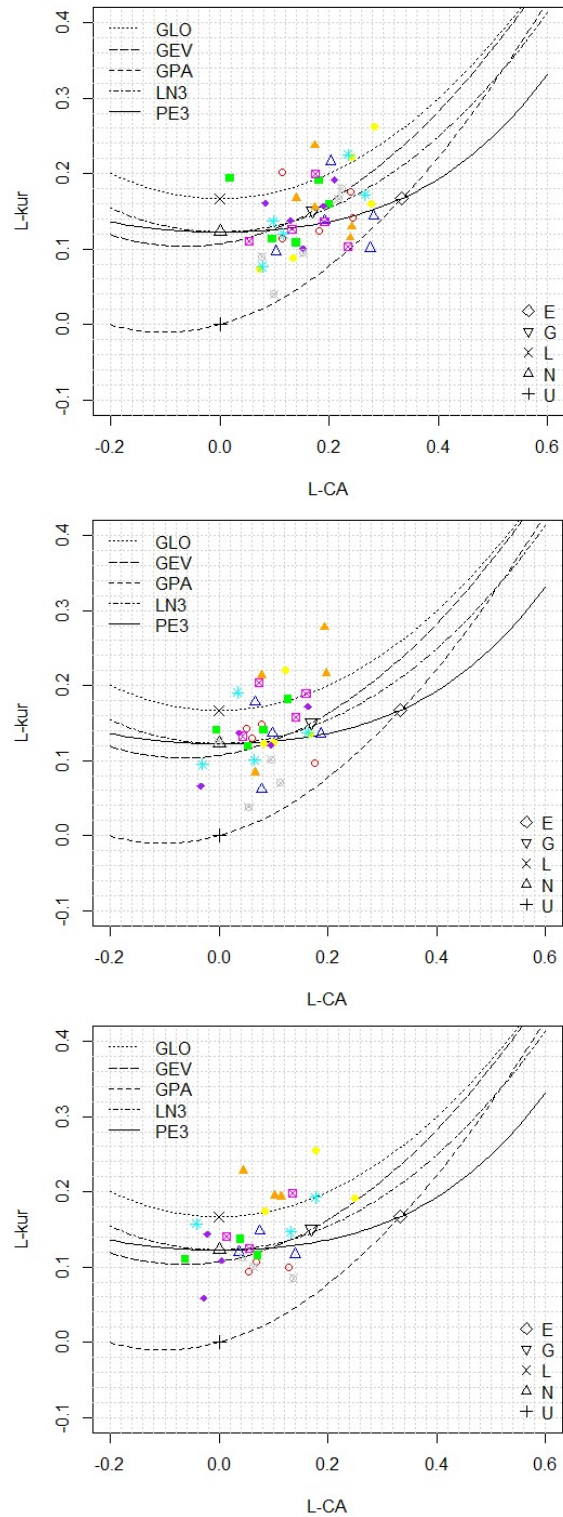
Slika 29. Dijagrami klimatskih vodnih bilansa kukuruza za 2014. godinu, periodi akumulacije od 1 do 3 meseca

6.3.2.3. Korak III - Odabir najpogodnije teorijske distribucije verovatnoća

Za proračun indeksa tipa SPEI, koji se bazira na vremenskim serijama klimatskog vodnog bilansa čije vrednosti mogu biti negativne kada evapotranspiracija prevazilazi padavine, neophodno je koristiti distribucije koje sadrže i parametar lokacije, odnosno neophodno je koristiti troparametarske distribucije.

U ovom radu su testirane najpogodnije distribucije za modeliranje vremenskih serija vodnog bilansa računane za različite vremenske skale, odnosno različite periode akumulacije. Odabir najpogodnijih distribucija izvršen je korišćenjem dijagrama bezdimenzionalnih L-momenata, jer ovi dijagrami omogućuju upoređivanje empirijske raspodele frekvencija sa većim brojem teorijskih distribucija (Hosking, 1990; Vicente-Serrano i sar., 2010). Metod odabira najpogodnije distribucije korišćenjem dijagrama bezdimenzionalnih L-momenata objašnjen je u poglavlju 5.4.

Dijagrami bezdimenzionalnih L-momenata konstruisani su za vremenske serije vodnog bilansa za periode akumulacije od jednog, dva i tri meseca za devet meteoroloških stanica u Vojvodini i za jedanaest poljoprivrednih kultura. Broj prikazanih tačaka na dijagramima za pojedine poljoprivredne kulture, koje predstavljaju empirijske distribucije frekvencija vremenskih serija vodnog bilansa, zavisi od trajanja vegetacione sezone kulture i od perioda akumulacije. Dijagrami ukazuju da se empirijske serije vodnih bilansa mogu modelirati sa više različitih teorijskih distribucija (generalizovana distribucija ekstremnih vrednosti - GEV, generalizovana logistička distribucija - GLO, Pearson tip III – PE3 i normalna distribucija - N) jer empirijske statistike osciliraju oko krivih koje se odnose na pomenute teorijske distribucije. Dakle, distribucije koje su odabrane za primenu u proračunu modifikovanog indeksa SPEI, koje će u nastavku biti dalje testirane analitičkim metodama su 1) generalizovana distribucija ekstremnih vrednosti, 2) generalizovana logistička distribucija, 3) Pearson tip III distribucija i 4) normalna distribucija. Ove četiri distribucije su takođe razmatrane za proračun indeksa SPEI u radu Stagge i sar. (2015). Na Slici 30 prikazani su dijagrami bezdimenzionalnih L-momenata za vremenske serije vodnog bilansa za kukuruz za periode akumulacije od jednog, dva i tri meseca.



Slika 30. Dijagrami bezdimenzionalnih L-momenata za vremenske serije vodnog bilansa za kukuruz za periode akumulacije od jednog, dva i tri meseca

Odabrane distribucije su u nastavku testirane analitičkim metodama kao što su Anderson–Darling (A–D) test i metodom baziranom na Shapiro–Wilk (S–W) testu, sa pragom značajnosti $\alpha = 5\%$, po uzoru na rad Stagge i sar. (2015). Takođe, rangiranje distribucija je izvršeno i pomoću Akaike Information Criterion (AIC), a sva poređenja su izvršena uzimajući u obzir periode akumulacije, lokacije i poljoprivredne kulture. Ove analitičke metode opisane su u poglavlju 5.4. Na osnovu rezultata sva tri testa data je preporuka za odabir distribucije za potrebe računanja modifikovanog indeksa SPEI.

Prilagođavanje teorijskih distribucija empirijskim podacima vršeno je metodom maksimalne verodostojnosti (maximum likelihood estimation - MLE) korišćenjem R paketa „fitdistrplus“ (Delignette-Muller i Dutang, 2015). Kritične vrednosti A-D testa su izračunate Monte Carlo bootstrap simulacijama korišćenjem R paketa „nsRFA“ (Viglione i sar., 2018).

Rezultati testiranja teorijskih distribucija za potrebe proračuna AD-SPEI_{crop} analitičkim metodama ukazuju da GEV distribucija u najvećem broju slučajeva najbolje odgovara empirijskim podacima klimatskog vodnog bilansa. Odabir GEV distribucije kao preferirane za proračun AD-SPEI_{crop} je u skladu sa istraživanjima Stage i sar. (2015) koji su pokazali da je GEV distribucija najadekvatnija distribucija za potrebe proračuna SPEI na području Evrope, ali se rezultati razlikuju od istraživanja Vicente-Serrano i sar. (2010) kao i Pei i sar. (2019) koji daju prednost upotrebi log-logističke distribucije.

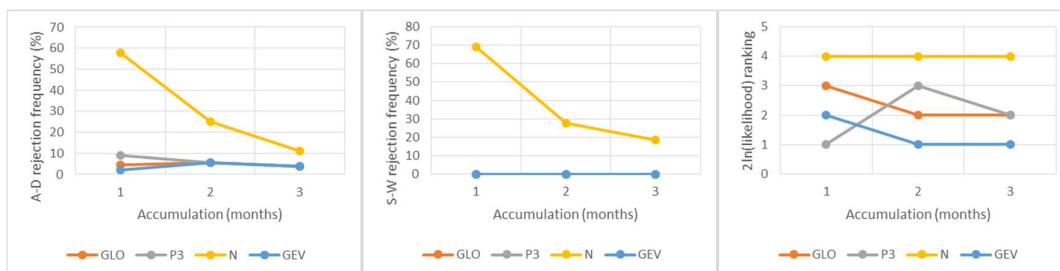
A-D testovi su pokazali da frekvencija odbacivanja GEV distribucije, kada se ne može prihvatiti slaganje modela sa empirijskim podacima, iznosi od 0% do 6,67% za sve analizirane periode akumulacije i sve poljoprivredne kulture osim za duvan za akumulacioni period od dva meseca kada iznosi 8,33% i za pasulj za akumulacioni period od dva meseca (Slika 31, Tabela 14). Zatim sledi Pearson tip III distribucija sa frekvencijom odbacivanja od 0% do 13,33; generalizovana logistička distribucija sa frekvencijom odbacivanja od 0% do 13,89% i na kraju normalna distribucija sa frekvencijom odbacivanja od 3,7% do 57,78%. U najvećem broju slučajeva frekvencija odbacivanja GEV distribucije po A-D testu je ispod 5%. Za pasulj za akumulacioni period od dva meseca frekvencija odbacivanja sve četiri razmatrane distribucije po A-D testu iznosi 22,22%.

U sledećem koraku je korišćen S-W test da bi se utvrdilo da li vrednosti AD-SPEI_{crop} prate normalnu distribuciju. Test se bazira na pretpostavci da proračunate vrednosti indeksa suše treba da budu normalno raspoređene sa srednjom vrednošću $\mu = 0$ i standardnom devijacijom $\sigma = 1$. S-W test je

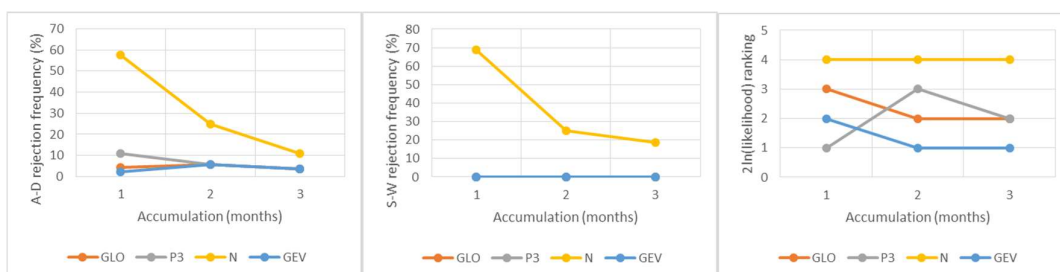
primenjen na konačne vrednosti indeksa za sve četiri testirane distribucije. Za razliku od istraživanja Stagge i sar. (2015) u ovom radu S-W test nije pokazao značajne razlike između GEV, generalizovane logističke i Pearson tip III distribucije u smislu pogodnosti za korišćenje u proračunima AD-SPEI_{crop}. Proračunate vrednosti AD-SPEI_{crop} koristeći sve tri distribucije, za sve kulture i sve akumulacione periode prate normalnu distribuciju (Slika 31, Tabela 15). Kada se koristila normalna distribucija za proračun modifikovanog SPEI, frekvencija odbacivanja prema S-W testu iznosila je od 2,78% do 68,89% izdvajajući je kao jedinu nepogodnu za korišćenje.

Distribucije su dalje međusobno poređene pomoću AIC. Osim normalne distribucije, ostale tri razmatrane distribucije imaju isti broj parametara (tri) tako da se AIC mogao redukovati na meru logaritma funkcije verodostojnosti. Najbolje rangirana distribucija na osnovu log verodostojnosti, za akumulacioni period od jednog meseca za sve kulture je Pearson tip III distribucija, a za njom slede GEV, generalizovana logistička i normalna distribucija (Slika 31, Tabela 16). Za duže periode akumulacije od dva i tri meseca, najbolje rangirana distribucija po ovom kriterijumu je GEV, a zatim slede generalizovana logistička, Pearson tip III i normalna distribucija. Dobre performanse Pearson tip III distribucije pri kratkom periodu akumulacije po ovom kriterijumu je primećena i u radu Stagge i sar. (2015).

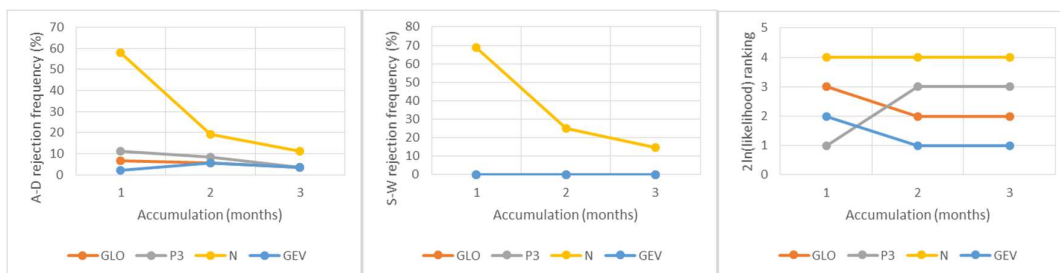
Uzevši u obzir sve prethodne testove može se dati preporuka da se za potrebe proračuna modifikovanog SPEI (AD-SPEI_{crop}) koristi GEV teorijska distribucija jer je potvrđeno najbolje slaganje sa empirijskim nizom podataka klimatskog vodnog bilansa.



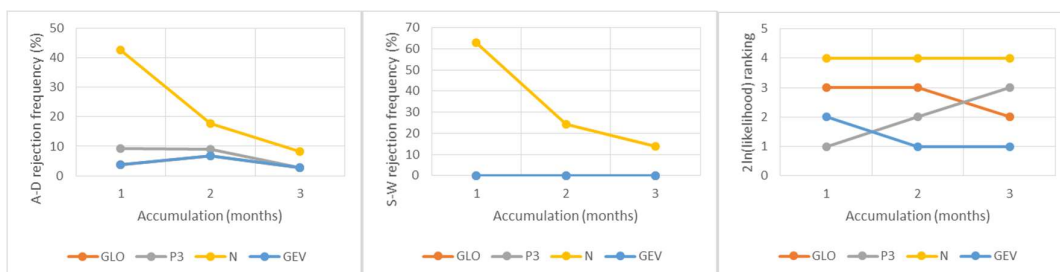
Kukuruz



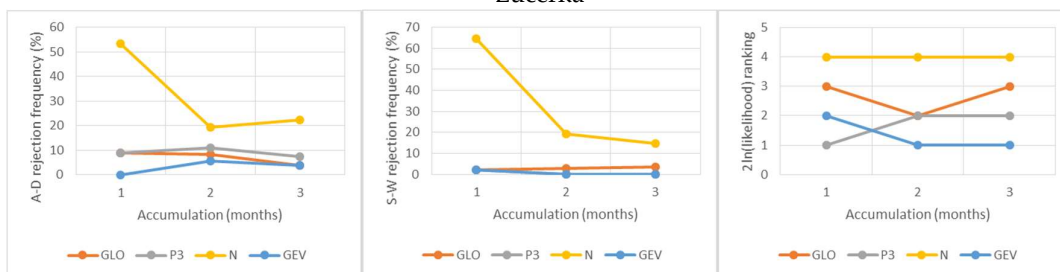
Soja



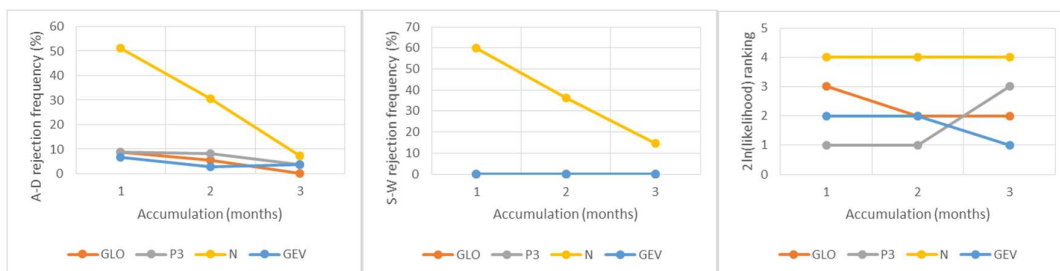
Šećerna repa



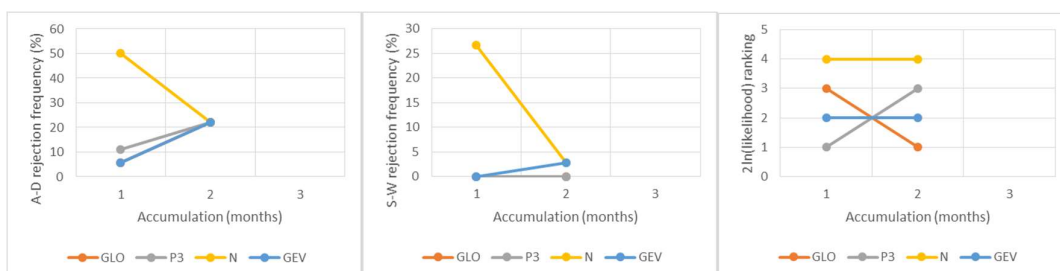
Lucerka



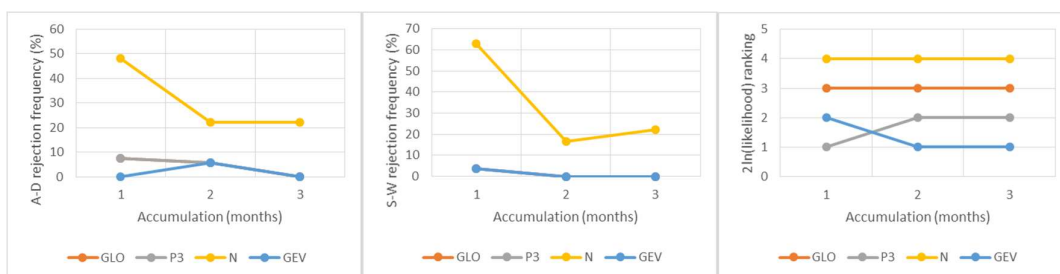
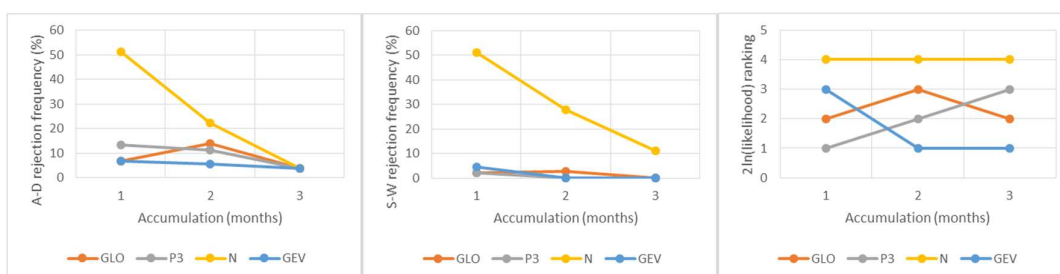
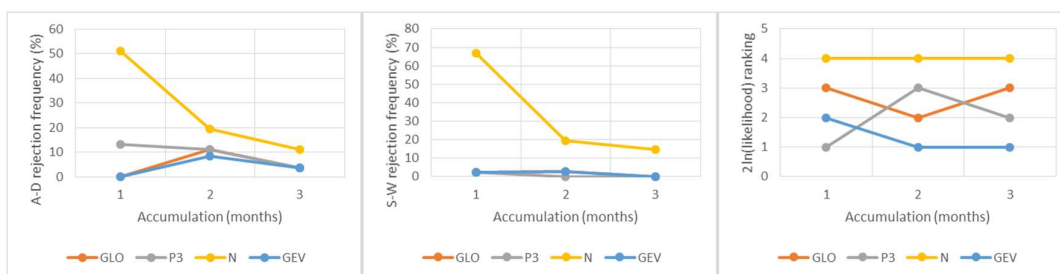
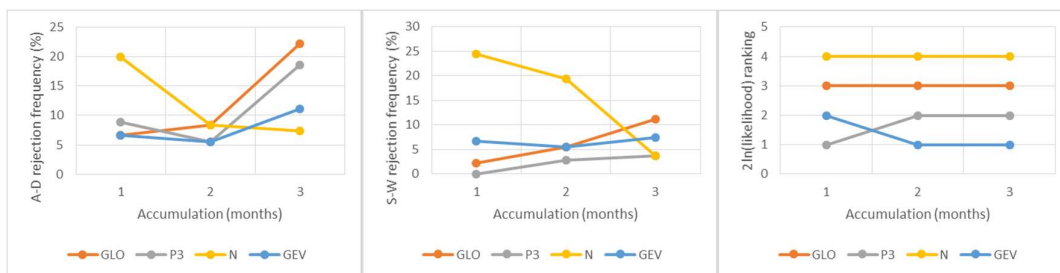
Krompir



Hmelj



Pasulj



Slika 31. Dijagrami frekvencije odbacivanja po A-D testu, frekvencije odbacivanja po S-W testu i rangovi distribucija prema log verodostojnosti

Tabela 14. Frekvencija odbacivanja po A-D testu (%), $\alpha = 5\%$

	1 mesec				2 meseca				3 meseca			
	N	GLO	P3	GEV	N	GLO	P3	GEV	N	GLO	P3	GEV
Kukuruz	57,78	4,44	8,89	2,22	25,00	5,56	5,56	5,56	11,11	3,70	3,70	3,70
Soja	57,78	4,44	11,11	2,22	25,00	5,56	5,56	5,56	11,11	3,70	3,70	3,70
Š. Repa	57,78	6,67	11,11	2,22	19,44	5,56	8,33	5,56	11,11	3,70	3,70	3,70
Lucerka	42,59	3,70	9,26	3,70	17,78	6,67	8,89	6,67	8,33	2,78	2,78	2,78
Krompir	53,33	8,89	8,89	0,00	19,44	8,33	11,11	5,56	22,22	3,70	7,40	3,70
Hmelj	51,11	8,89	8,89	6,67	30,56	5,56	8,33	2,78	7,40	0,00	3,70	3,70
Pasulj	50,00	5,56	11,11	5,56	22,22	22,22	22,22	22,22	-	-	-	-
Ozima Pšenica	20,00	6,67	8,89	6,67	8,33	8,33	5,56	5,56	7,40	22,22	18,52	11,11
Duvan	51,11	0,00	13,33	0,00	19,44	11,11	11,11	8,33	11,11	3,70	3,70	3,70
Crni Luk	51,11	6,67	13,33	6,67	22,22	13,89	11,11	5,56	3,70	3,70	3,70	3,70
Kupus	48,14	7,40	7,40	0,00	22,22	5,56	5,56	5,56	22,22	0,00	0,00	0,00

Tabela 15. Frekvencija odbacivanja po S-W testu (%), $\alpha = 5\%$

	1 mesec				2 meseca				3 meseca			
	N	GLO	P3	GEV	N	GLO	P3	GEV	N	GLO	P3	GEV
Kukuruz	68,89	0,00	0,00	0,00	27,78	0,00	0,00	0,00	18,52	0,00	0,00	0,00
Soja	68,89	0,00	0,00	0,00	25,00	0,00	0,00	0,00	18,52	0,00	0,00	0,00
Š. Repa	68,89	0,00	0,00	0,00	25,00	0,00	0,00	0,00	14,81	0,00	0,00	0,00
Lucerka	62,96	0,00	0,00	0,00	24,44	0,00	0,00	0,00	13,89	0,00	0,00	0,00
Krompir	53,33	2,22	2,22	2,22	19,44	2,78	0,00	0,00	14,81	3,70	0,00	0,00
Hmelj	60,00	0,00	0,00	0,00	36,11	0,00	0,00	0,00	14,81	0,00	0,00	0,00
Pasulj	26,67	0,00	0,00	0,00	2,78	0,00	0,00	2,78	-	-	-	-
Ozima Pšenica	24,44	2,22	0,00	6,67	19,44	5,56	2,78	5,56	3,70	11,11	3,70	7,40
Duvan	66,67	2,22	2,22	2,22	19,44	2,78	0,00	2,78	14,81	0,00	0,00	0,00
Crni Luk	51,11	2,22	2,22	4,44	27,78	2,78	0,00	0,00	11,11	0,00	0,00	0,00
Kupus	62,96	3,70	3,70	3,70	16,67	0,00	0,00	0,00	22,22	0,00	0,00	0,00

Tabela 16. Rangiranje distribucija na osnovu log verodostojnosti

	1 mesec				2 meseca				3 meseca			
	N	GLO	P3	GEV	N	GLO	P3	GEV	N	GLO	P3	GEV
Kukuruz	4	3	1	2	4	2	3	1	4	2	2	1
Soja	4	3	1	2	4	2	3	1	4	2	2	1
Š. Repa	4	3	1	2	4	2	3	1	4	2	3	1
Lucerka	4	3	1	2	4	3	2	1	4	2	3	1
Krompir	4	3	1	2	4	2	2	1	4	3	2	1
Hmelj	4	3	1	2	4	2	1	2	4	2	3	1
Pasulj	4	3	1	2	4	1	3	2	-	-	-	-
Ozima Pšenica	4	3	1	2	4	3	2	1	4	3	2	1
Duvan	4	3	1	2	4	2	3	1	4	3	2	1
Crni Luk	4	2	1	2	4	3	2	1	4	2	3	1
Kupus	4	3	1	2	4	3	2	1	4	3	2	1

6.3.2.4. Korak IV - Izračunavanje modifikovanog indeksa SPEI (AD-SPEI_{crop}) prilagođenog za određeno područje od interesa i vezanog za određenu kulturu

U prethodnom poglavlju utvrđeno je da na području Vojvodine vrednosti klimatskog vodnog bilansa podležu zakonu 3-parametarske generalizovane distribucije ekstremnih vrednosti (GEV).

Raspodela verovatnoća promenljive D prema zakonu raspodele GEV glasi (Stedinger i sar., 1993):

$$F(D) = \exp\left\{-\left[1 - \frac{k(D - \xi)}{\alpha}\right]^{1/k}\right\} \quad (55)$$

gde su ξ , α i k parametri lokacije, razmere i oblika procenjene iz uzorka D .

Parametri lokacije, razmere i oblika se procenjuju metodom L-momenata. L-momenti se mogu odrediti na osnovu verovatnosnih težinskih momenata - Probability Weighted Moments (Stedinger i sar., 1993):

$$\lambda_1 = b_0; \lambda_2 = 2b_1 - b_0; \lambda_3 = 6b_2 - 6b_1 + b_0 \quad (56)$$

gde su b_0 , b_1 i b_2 nepristrasno procenjene vrednosti verovatnosnih težinskih momenata i računaju se (Stedinger i sar., 1993):

$$b_0 = \bar{D}; b_1 = \sum_{j=1}^{n-1} \frac{(n-j)D_j}{n(n-1)}; b_2 = \sum_{j=1}^{n-2} \frac{(n-j)(n-j-1)D_j}{n(n-1)(n-2)} \quad (57)$$

gde je \bar{D} srednja vrednost vodnog bilansa, a n je broj elemenata u nizu.

Parametar oblika k računa se (Stedinger i sar., 1993):

$$k = 7,859c + 2,9554c^2 \quad (58)$$

gde c predstavlja odnos drugog i trećeg L-momenta i može se odrediti na sledeći način (Stedinger i sar., 1993):

$$c = \frac{2\lambda_2}{\lambda_3 + 3\lambda_2} - \frac{\ln(2)}{\ln(3)} \quad (59)$$

Parametar razmere α računa se (Stedinger i sar., 1993):

$$\alpha = \frac{k \lambda_2}{\Gamma(1+k)(1-2^{-k})} \quad (60)$$

gde je $\Gamma(1+k)$ gama funkcija koja se može aproksimirati (Stedinger i sar., 1993):

$$\Gamma(1+k) = 1 + \sum_{i=1}^5 a_i k^i + \varepsilon \quad (61)$$

gde su $a_1 = -0,5748646$; $a_2 = 0,9512363$; $a_3 = -0,6998588$; $a_4 = 0,4245549$;
 $a_5 = -0,1010678$.

Parametar lokacije ξ računa se (Hosking i sar., 1985; Lu i Stedinger, 1992; Ailliot i sar., 2011):

$$\xi = \lambda_1 - \frac{\alpha(1 - \Gamma(1+k))}{k} \quad (62)$$

Nakon određivanja $F(D)$ vrednosti $AD-SPEI_{crop}$ se dobijaju transformacijom u standardnu normalnu raspodelu koristeći proceduru transformacije koja se bazira na aproksimaciji (Abramowitz i Stegun, 1965):

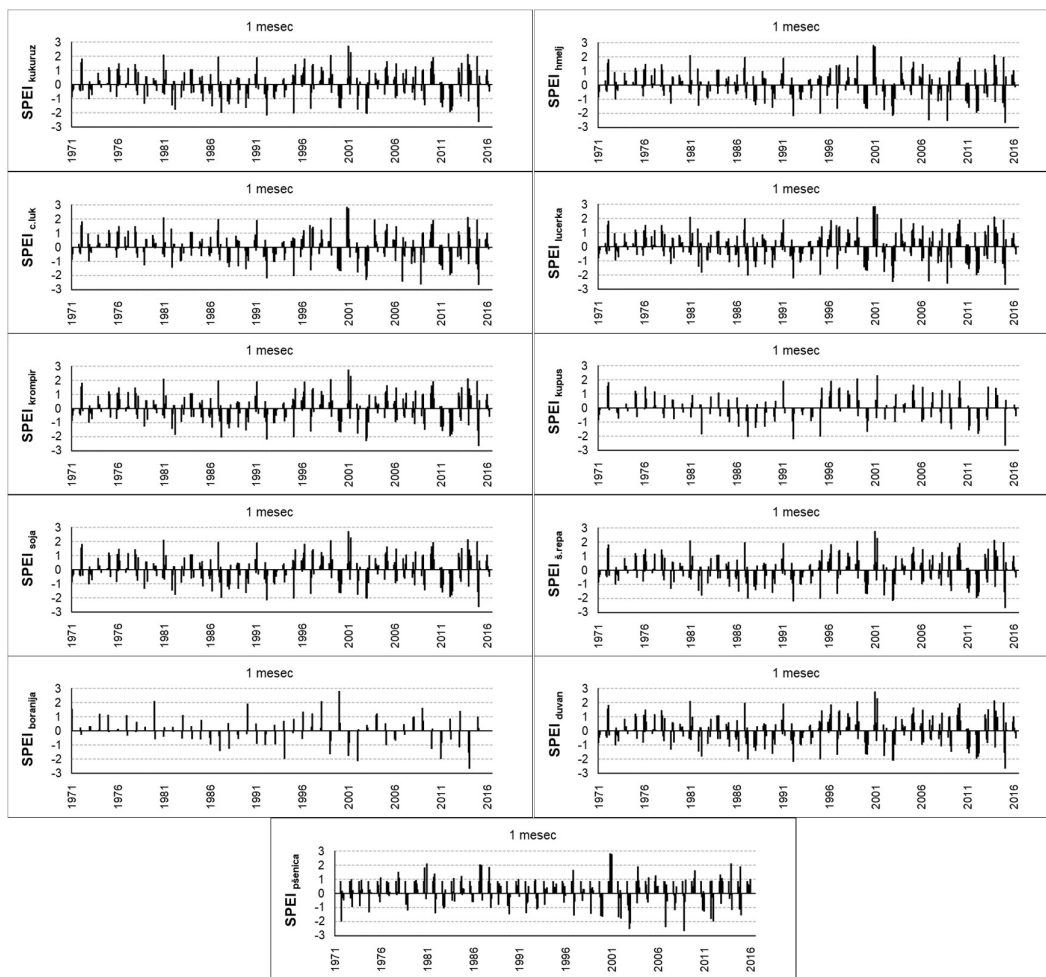
$$AD-SPEI_{crop} = W - \frac{C_0 + C_1W + C_2W^2}{1 + d_1W + d_2W^2 + d_3W^3}, \text{ gde je:} \quad (63)$$

$$W = \sqrt{-2 \ln(P)} \text{ za } P \leq 0,5, \quad (64)$$

a P je verovatnoća prevazilaženja vrednosti klimatskog vodnog bilansa D , $P = 1 - F(D)$. Ako je $P > 0,5$ tada se P zamenjuje sa $1 - P$ i znak rezultujuće vrednosti $AD-SPEI_{crop}$ se menja. Vrednosti koeficijenata su $c_0 = 2,515517$; $c_1 = 0,802853$; $c_2 = 0,010328$; $d_1 = 1,432788$; $d_2 = 0,189269$ i $d_3 = 0,001308$.

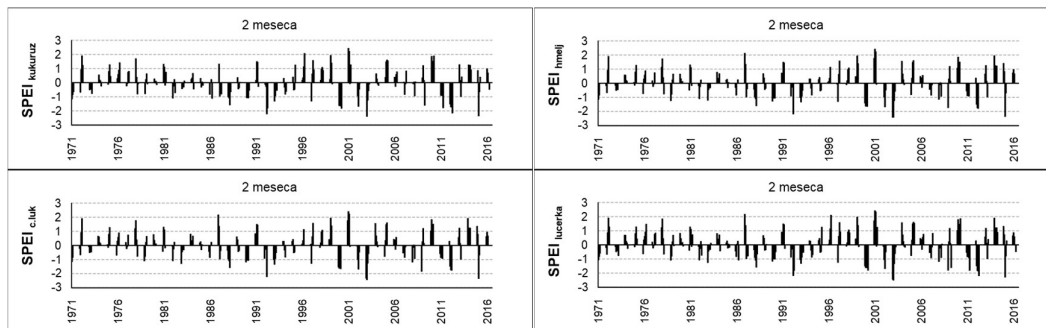
Nakon matematičkog objašnjenja izračunavanja indeksa prikazani su dobijeni rezultati. Prvo su putem dijagrama prikazane promene vrednosti $AD-SPEI_{crop}$ u posmatranom vremenskom periodu od 1971 do 2016. godine po meteorološkim stanicama.

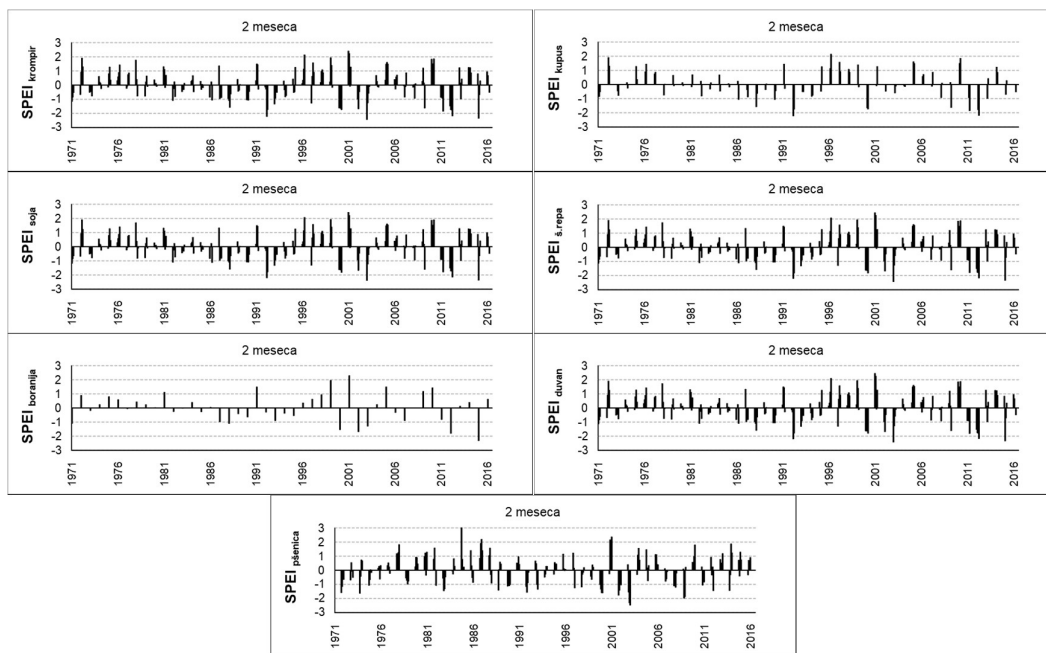
Na Slici 32. prikazane su promene vrednosti indeksa $AD-SPEI_{crop}$ za meteorološku stanicu Rimski Šančevi u periodu od 1971 do 2016. godine, za period akumulacije od jednog meseca. Na dijagramima se može uočiti da su se ekstremne suše, vrednost indeksa manje od -2, javljale 1992, 2007, 2009 i 2015. godine. Ekstremni vlažni periodi, vrednosti indeksa veće od 2, javljali su se 1981, 1999, 2001, i 2014. godine.



Slika 32. Dijagrami AD-SPEI_{crop} za meteorološke podatke sa stanice Rimski Šančevi (1971-2016. godine), akumulacioni period od 1 meseca

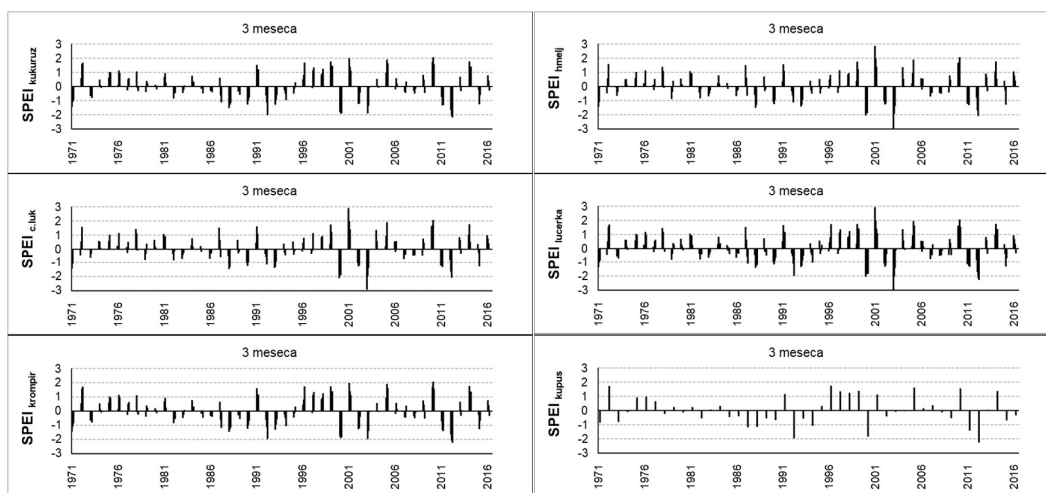
Na Slici 33. prikazane su promene vrednosti indeksa AD-SPEI_{crop} za meteorološku stanicu Rimski Šančevi u periodu od 1971 do 2016. godine, za period akumulacije od dva meseca. Na dijagramima se može uočiti da su se ekstremne suše javljale 1992, 2003, 2012 i 2015. godine. Ekstremni vlažni periodi javljali su se 1987, 1996 i 2001. godine.

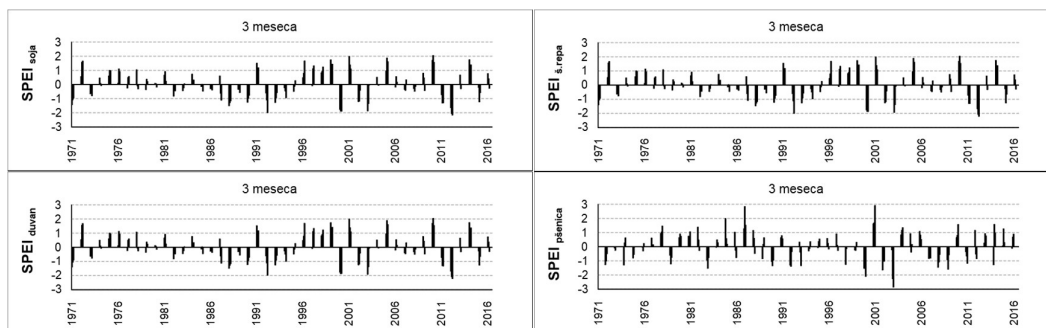




Slika 33. Dijagrami AD-SPEI_{crop} za meteorološke podatke sa stanice Rimski Šančevi (1971-2016. godine), akumulacioni period od 2 meseca

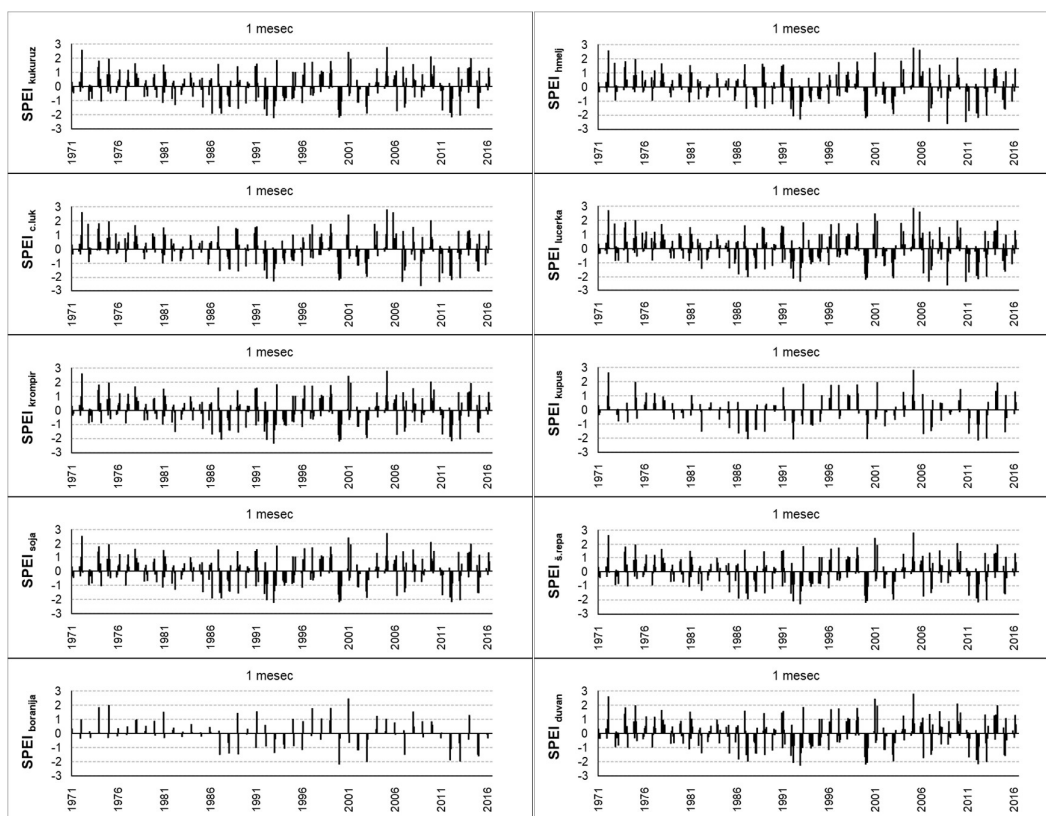
Na Slici 34. prikazane su promene vrednosti indeksa AD-SPEI_{crop} za meteorološku stanicu Rimski Šančevi u periodu od 1971 do 2016. godine, za period akumulacije od tri meseca. Na dijagramima se može uočiti da su se ekstremne suše javljale 2000, 2003 i 2012. godine. Ekstremni vlažni periodi javljali su se 2001 i 2010. godine.

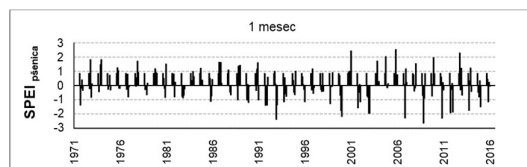




Slika 34. Dijagrami AD-SPEI_{crop} za meteorološke podatke sa stanice Rimski Šančevi (1971-2016. godine), akumulacioni period od 3 meseca

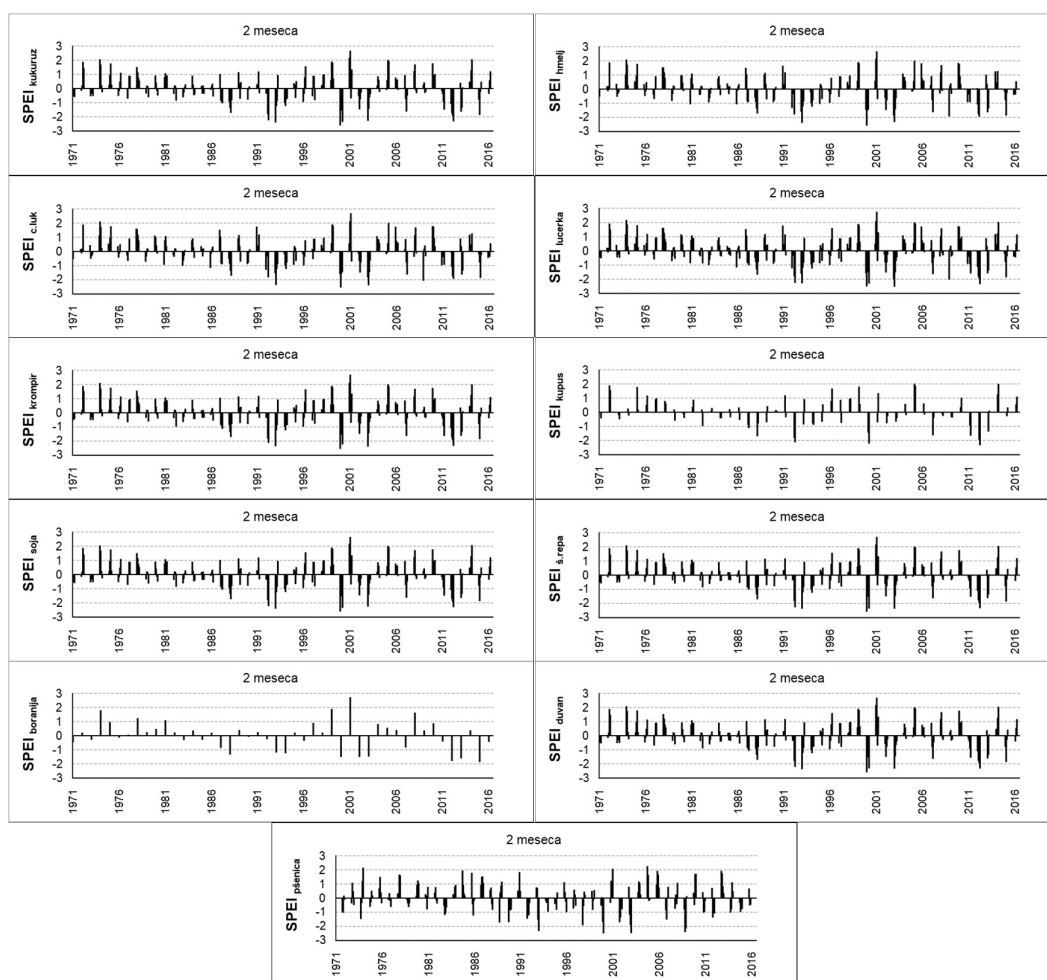
Na Slici 35. prikazane su promene vrednosti indeksa AD-SPEI_{crop} za meteorološku stanicu Palić u periodu od 1971 do 2016. godine, za period akumulacije od jednog meseca. Na dijagramima se može uočiti da su se ekstremne suše javljale 1992, 1993, 2000, 2003, 2007, 2009, 2011, 2012 i 2013. godine. Ekstremni vlažni periodi javljali su se 1972, 2001, 2005, 2006 i 2010. godine.





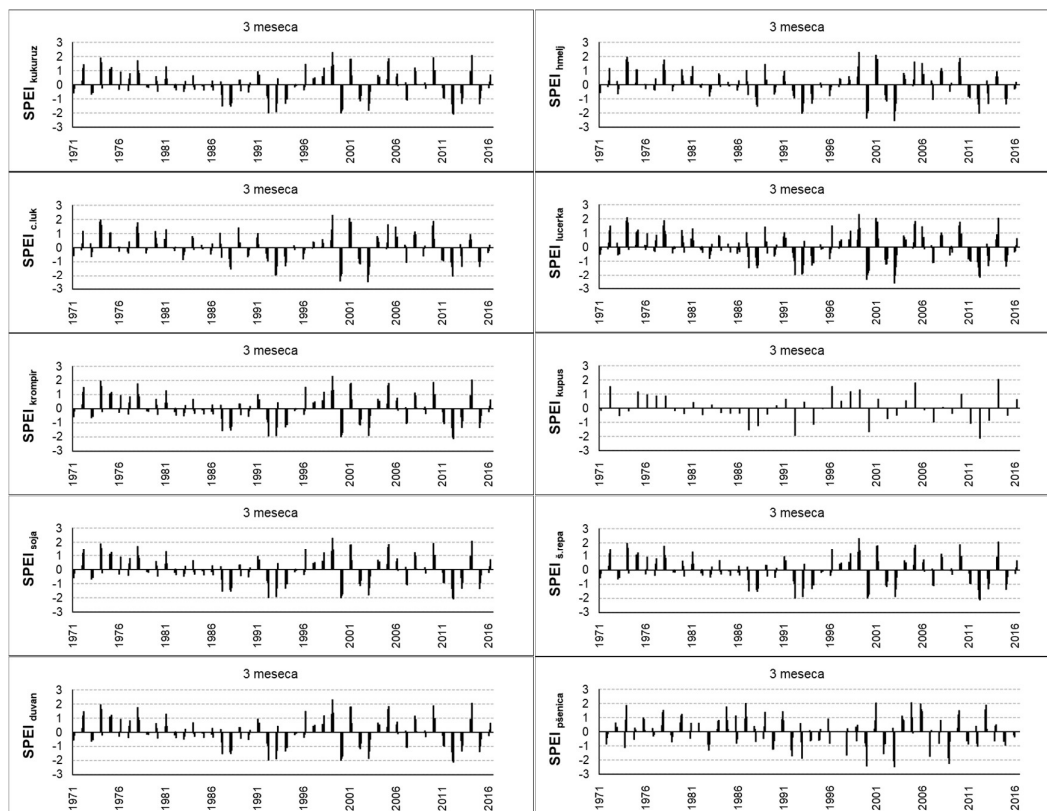
Slika 35. Dijagrami AD-SPEI_{crop} za meteorološke podatke sa stanice Palić (1971-2016. godine), akumulacioni period od 1 meseca

Na Slici 36. prikazane su promene vrednosti indeksa AD-SPEI_{crop} za meteorološku stanicu Palić u periodu od 1971 do 2016. godine, za period akumulacije od dva meseca. Na dijagramima se može uočiti da su se ekstremne suše javljale 1992, 1993, 2000, 2003, 2009 i 2012. godine. Ekstremni vlažni periodi javljali su se 1974, 2001 i 2014. godine.



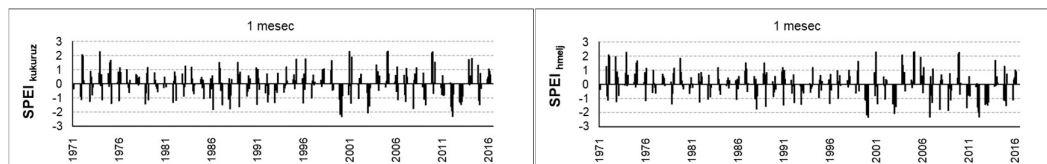
Slika 36. Dijagrami AD-SPEI_{crop} za meteorološke podatke sa stanice Palić (1971-2016. godine), akumulacioni period od 2 meseca

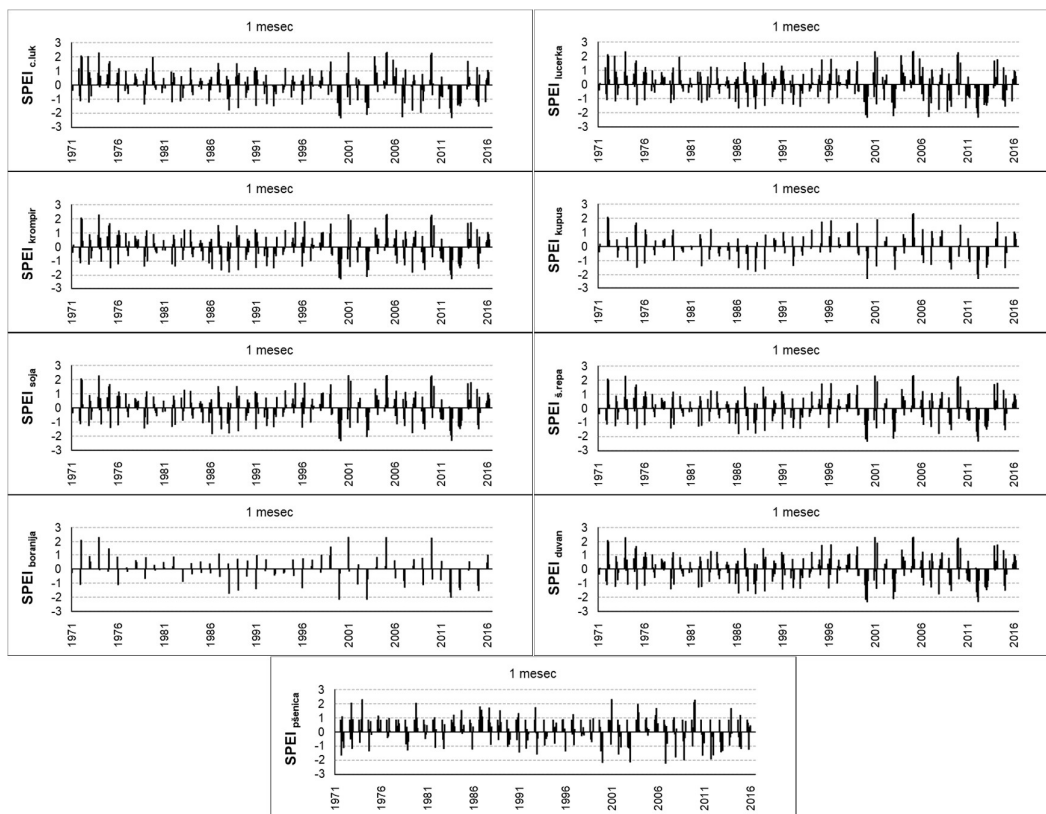
Na Slici 37. prikazane su promene vrednosti indeksa AD-SPEI_{crop} za meteorološku stanicu Palić u periodu od 1971 do 2016. godine, za period akumulacije od tri meseca. Na dijagramima se može uočiti da su se ekstremne suše javljale 1993, 2000, 2003 i 2012. godine. Ekstremni vlažni periodi javljali su se 1974, 1999, 2001 i 2014. godine.



Slika 37. Dijagrami AD-SPEI_{crop} za meteorološke podatke sa stanice Palić (1971-2016. godine), akumulacioni period od 3 meseca

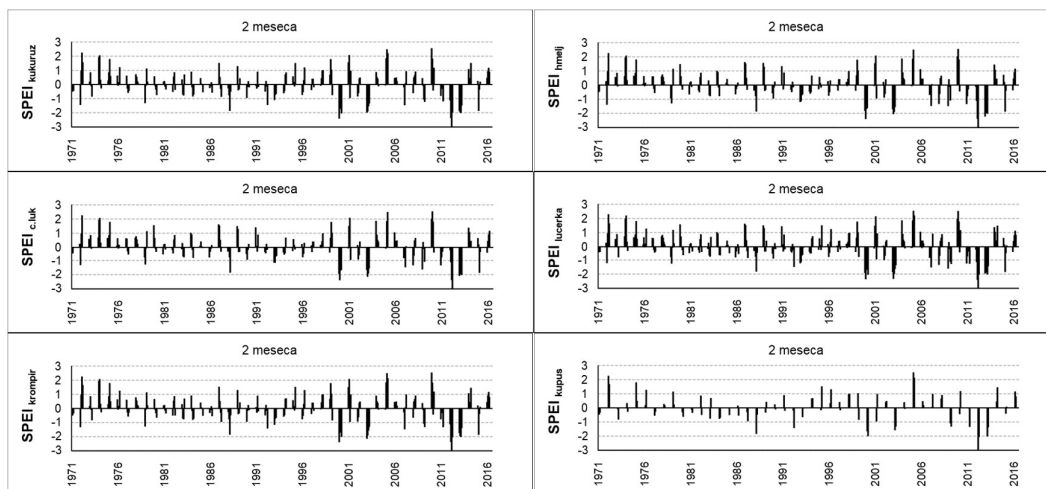
Na Slici 38. prikazane su promene vrednosti indeksa AD-SPEI_{crop} za meteorološku stanicu Sombor u periodu od 1971 do 2016. godine, za period akumulacije od jednog meseca. Na dijagramima se može uočiti da su se ekstremne suše javljale 2000, 2003, 2007 i 2012. godine. Ekstremni vlažni periodi javljali su se 1972, 1973, 1974, 2001, 2004, 2005 i 2010. godine.

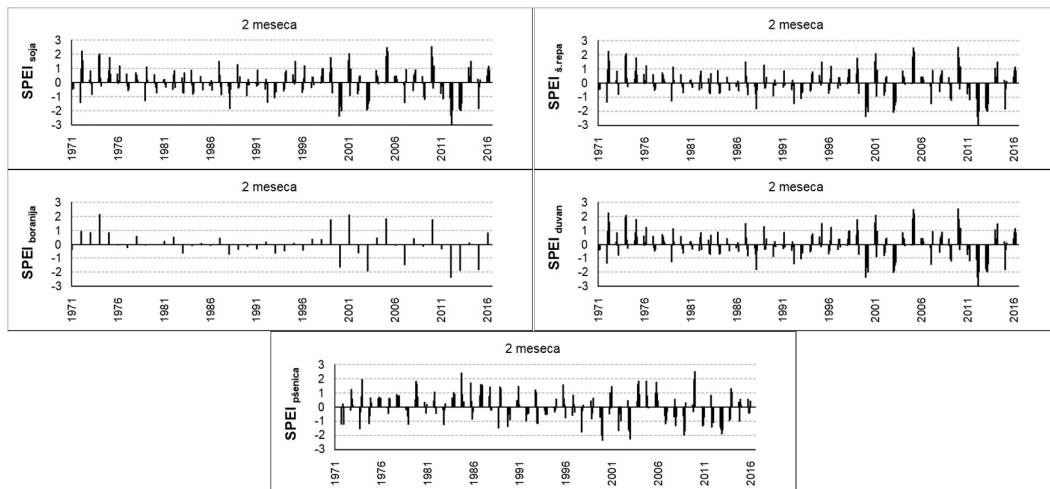




Slika 38. Dijagrami AD-SPEI_{crop} za meteorološke podatke sa stanice Sombor (1971-2016. godine), akumulacioni period od 1 meseca

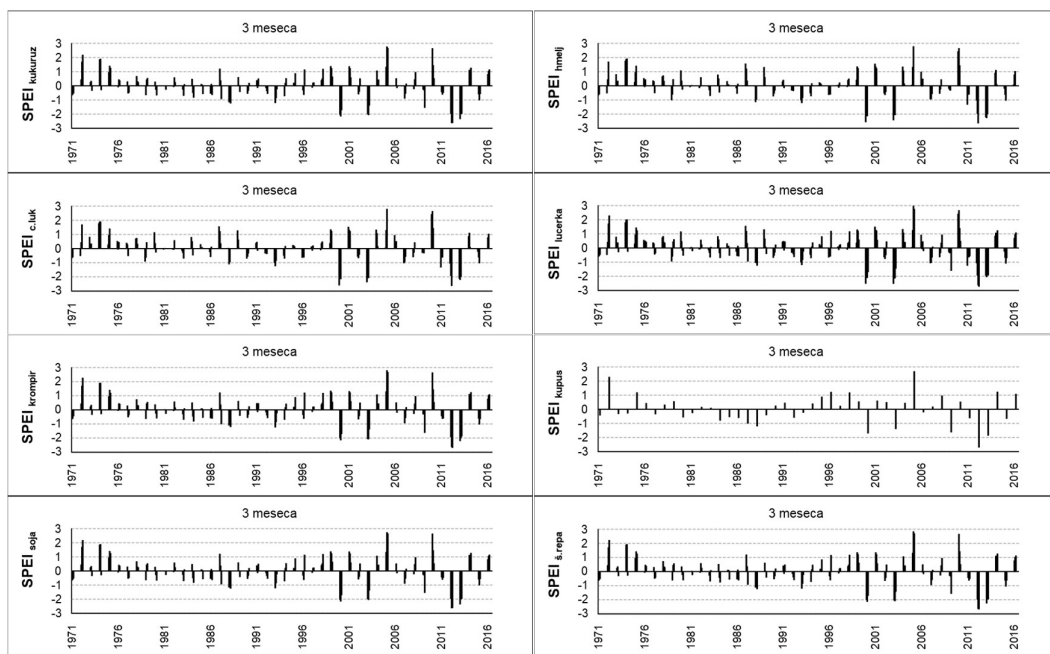
Na Slici 39. prikazane su promene vrednosti indeksa AD-SPEI_{crop} za meteorološku stanicu Sombor u periodu od 1971 do 2016. godine, za period akumulacije od dva meseca. Na dijagramima se može uočiti da su se ekstremne suše javljale 2000, 2003, 2012 i 2013. godine. Ekstremni vlažni periodi javljali su se 1972, 1974, 2001, 2005 i 2010. godine.

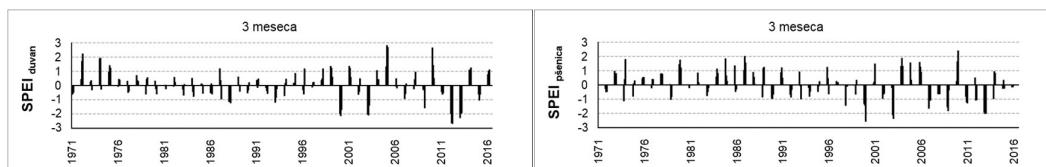




Slika 39. Dijagrami AD-SPEI_{crop} za meteorološke podatke sa stanice Sombor (1971-2016. godine), akumulacioni period od 2 meseca

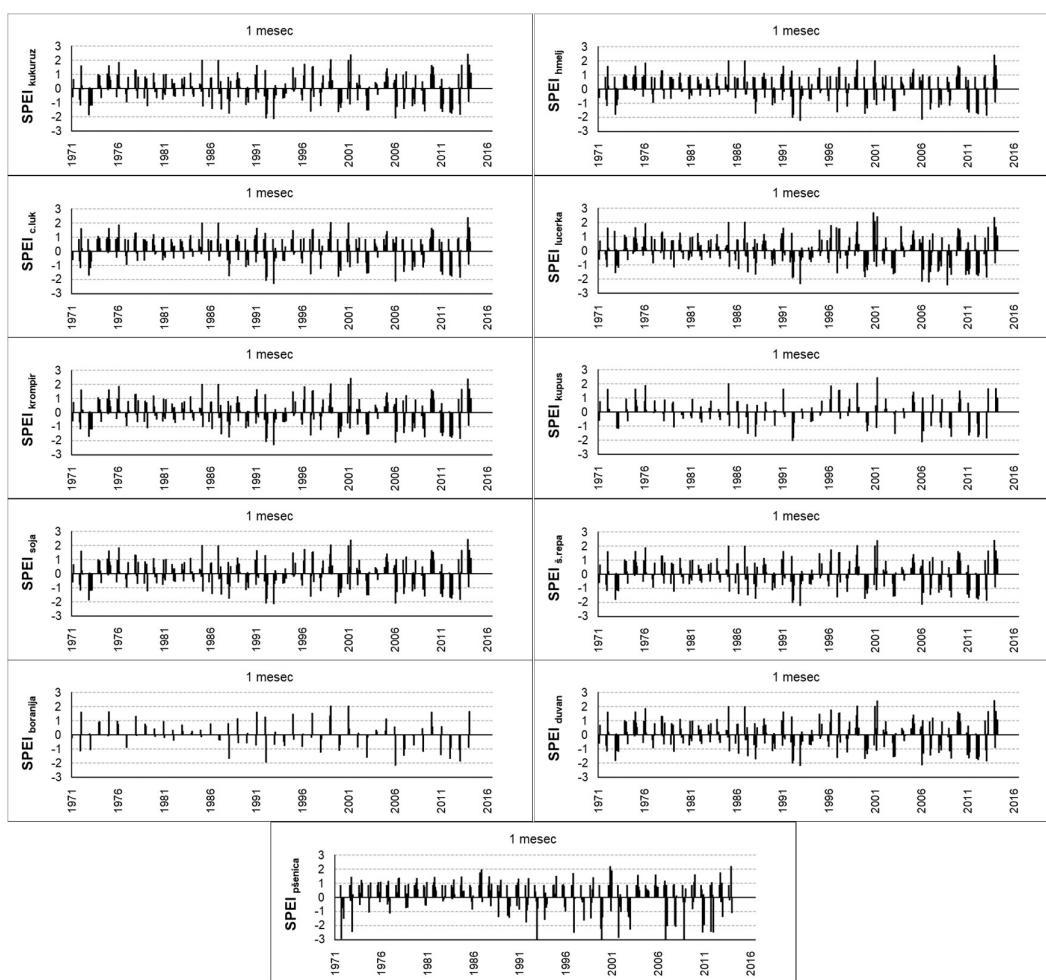
Na Slici 40. prikazane su promene vrednosti indeksa AD-SPEI_{crop} za meteorološku stanicu Sombor u periodu od 1971 do 2016. godine, za period akumulacije od tri meseca. Na dijagramima se može uočiti da su se ekstremne suše javljale 2000, 2003, 2012 i 2013. godine. Ekstremni vlažni periodi javljali su se 1972, 2005 i 2010. godine.





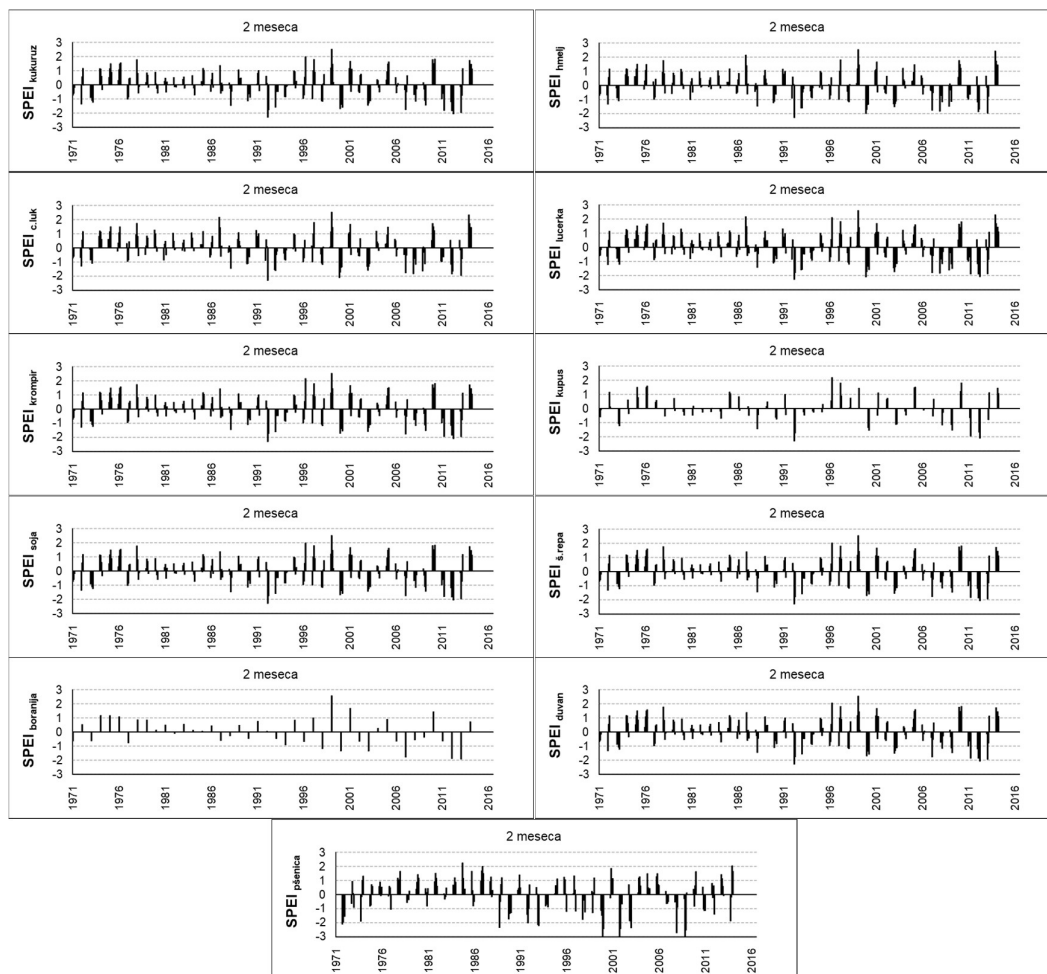
Slika 40. Dijagrami AD-SPEI_{crop} za meteorološke podatke sa stanice Sombor (1971-2016. godine), akumulacioni period od 3 meseca

Na Slici 41. prikazane su promene vrednosti indeksa AD-SPEI_{crop} za meteorološku stanicu Bečej u periodu od 1971 do 2014. godine, za period akumulacije od jednog meseca. Na dijagramima se može uočiti da su se ekstremne suše javljale 1992, 1993, 2006, 2007 i 2009. godine. Ekstremni vlažni periodi javljali su se 1987, 1999, 2001 i 2014. godine.



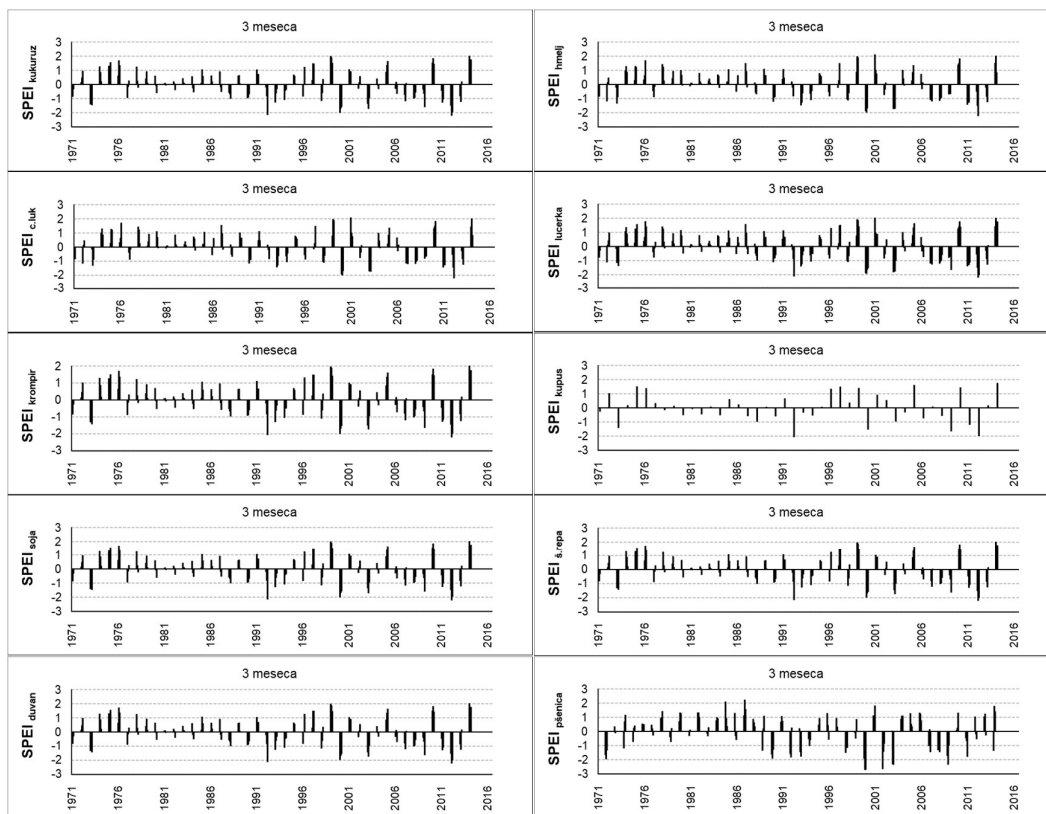
Slika 41. Dijagrami AD-SPEI_{crop} za meteorološke podatke sa stanice Bečej (1971-2014. godine), akumulacioni period od 1 meseca

Na Slici 42. prikazane su promene vrednosti indeksa AD-SPEI_{crop} za meteorološku stanicu Bečej u periodu od 1971 do 2014. godine, za period akumulacije od dva meseca. Na dijagramima se može uočiti da su se ekstremne suše javljale 1992, 2000 i 2012. godine. Ekstremni vlažni periodi javljali su se 1987, 1996, 1999 i 2014. godine.



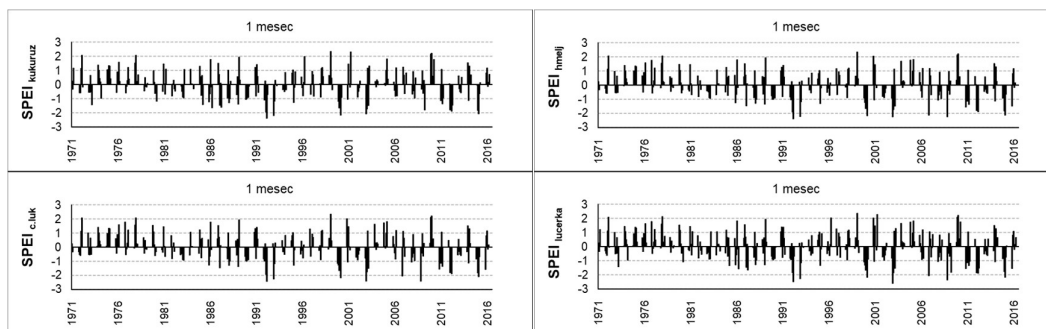
Slika 42. Dijagrami AD-SPEI_{crop} za meteorološke podatke sa stanice Bečej (1971-2014. godine), akumulacioni period od 2 meseca

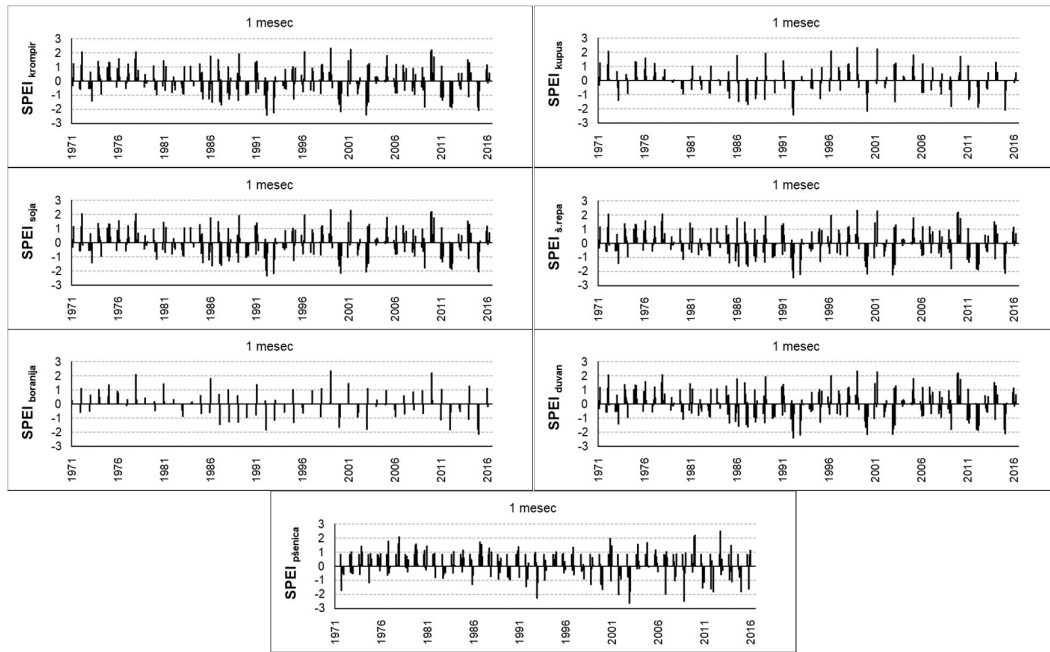
Na Slici 43. prikazane su promene vrednosti indeksa AD-SPEI_{crop} za meteorološku stanicu Bečej u periodu od 1971 do 2014. godine, za period akumulacije od tri meseca. Na dijagramima se može uočiti da su se ekstremne suše javljale 1992 i 2012. godine. Ekstremni vlažni periodi javljali su se 2001 i 2014. godine.



Slika 43. Dijagrami AD-SPEI_{crop} za meteorološke podatke sa stanice Bečej (1971-2014. godine), akumulacioni period od 3 meseca

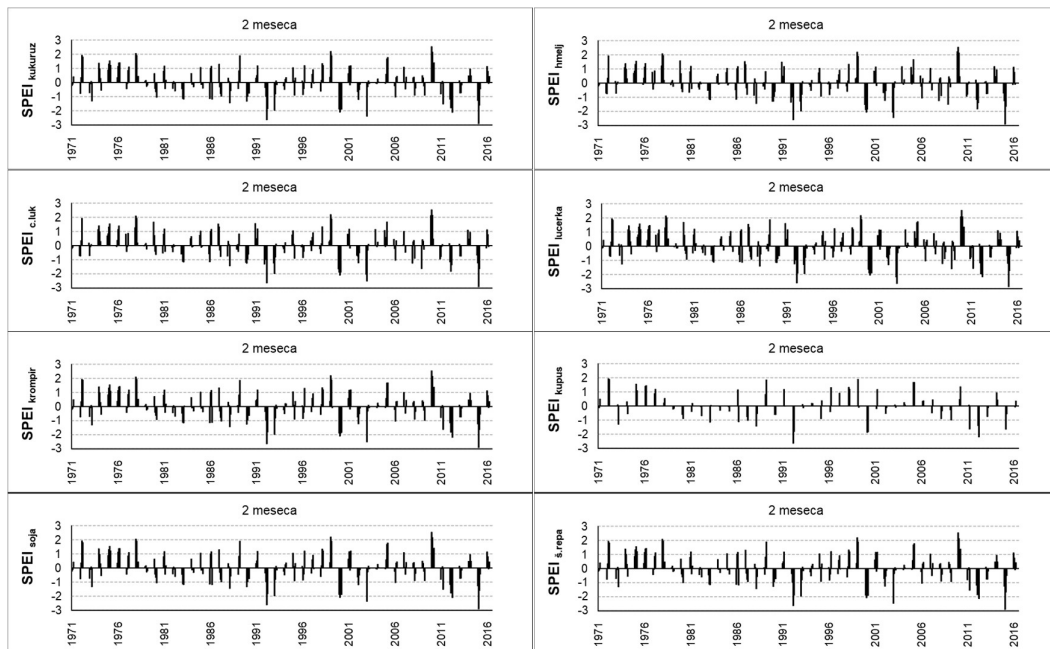
Na Slici 44. prikazane su promene vrednosti indeksa AD-SPEI_{crop} za meteorološku stanicu Kikinda u periodu od 1971 do 2016. godine, za period akumulacije od jednog meseca. Na dijagramima se može uočiti da su se ekstremne suše javljale 1992, 1993, 2000, 2003, 2007, 2009 i 2015. godine. Ekstremni vlažni periodi javljali su se 1972, 1978, 1996, 1999, 2001 i 2010. godine.

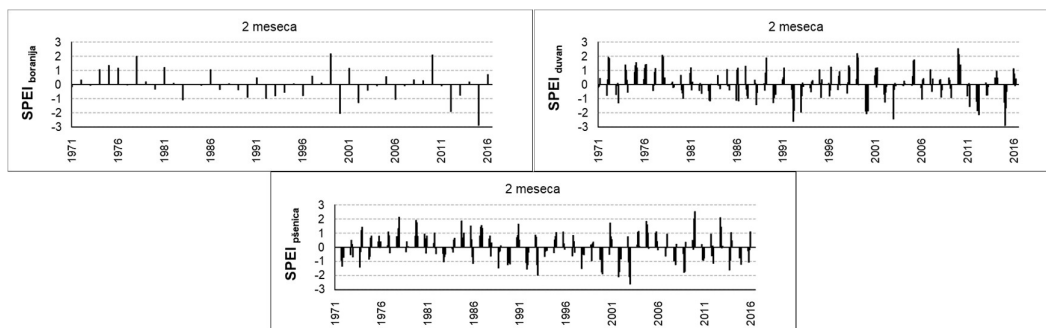




Slika 44. Dijagrami AD-SPEI_{crop} za meteorološke podatke sa stanice Kikinda (1971-2016. godine), akumulacioni period od 1 meseca

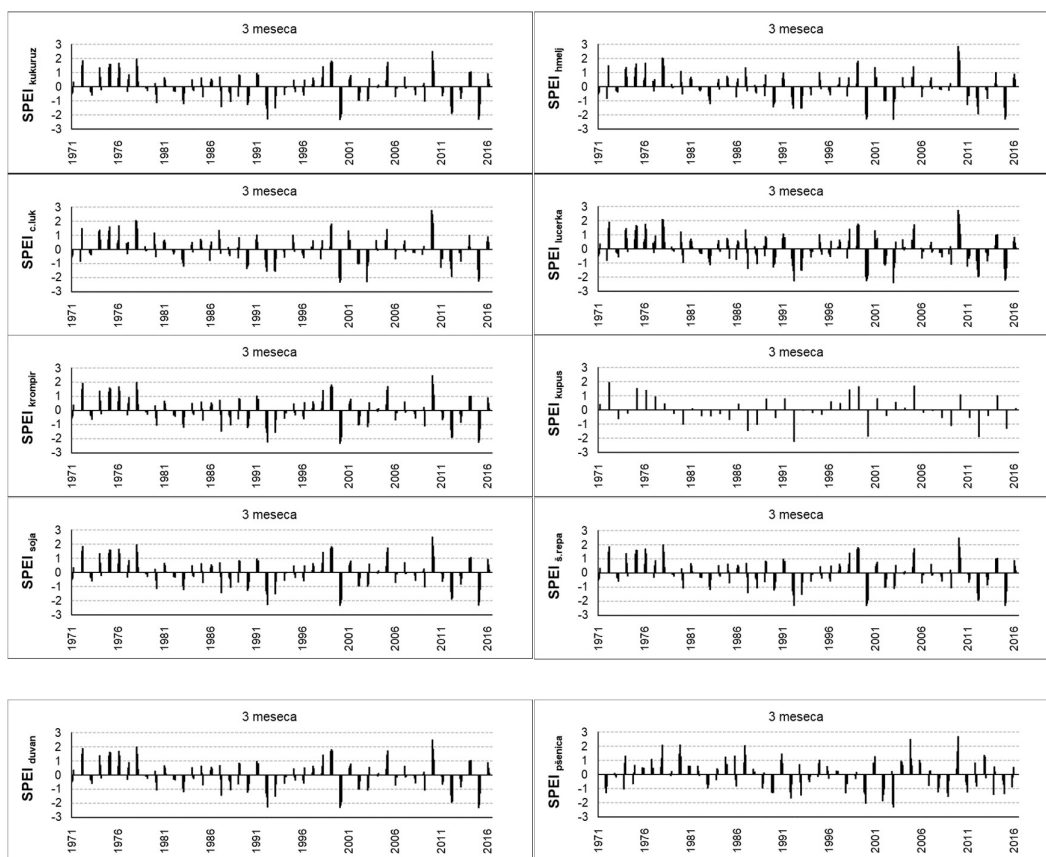
Na Slici 45 prikazane su promene vrednosti indeksa AD-SPEI_{crop} za meteorološku stanicu Kikinda u periodu od 1971 do 2016. godine, za period akumulacije od dva meseca. Na dijagramima se može uočiti da su se ekstremne suše javljale 1992, 2000, 2003, 2012 i 2015. godine. Ekstremni vlažni periodi javljali su se 1978, 1999 i 2010. godine.





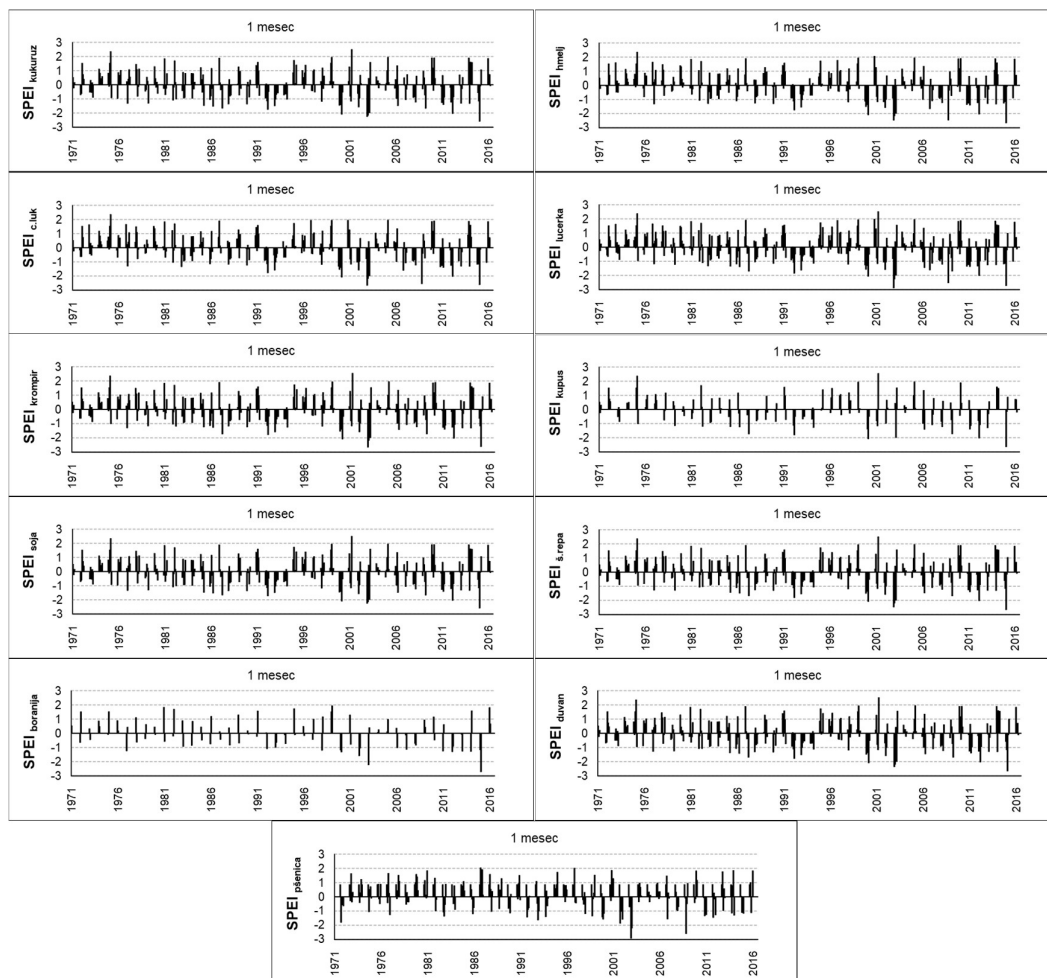
Slika 45. Dijagrami AD-SPEI_{crop} za meteorološke podatke sa stanice Kikinda (1971-2016. godine), akumulacioni period od 2 meseca

Na Slici 46 prikazane su promene vrednosti indeksa AD-SPEI_{crop} za meteorološku stanicu Kikinda u periodu od 1971 do 2016. godine, za period akumulacije od tri meseca. Na dijagramima se može uočiti da su se ekstremne suše javljale 1992, 2000, 2003 i 2015. godine. Ekstremni vlažni periodi javljali su se 1978 i 2010. godine.



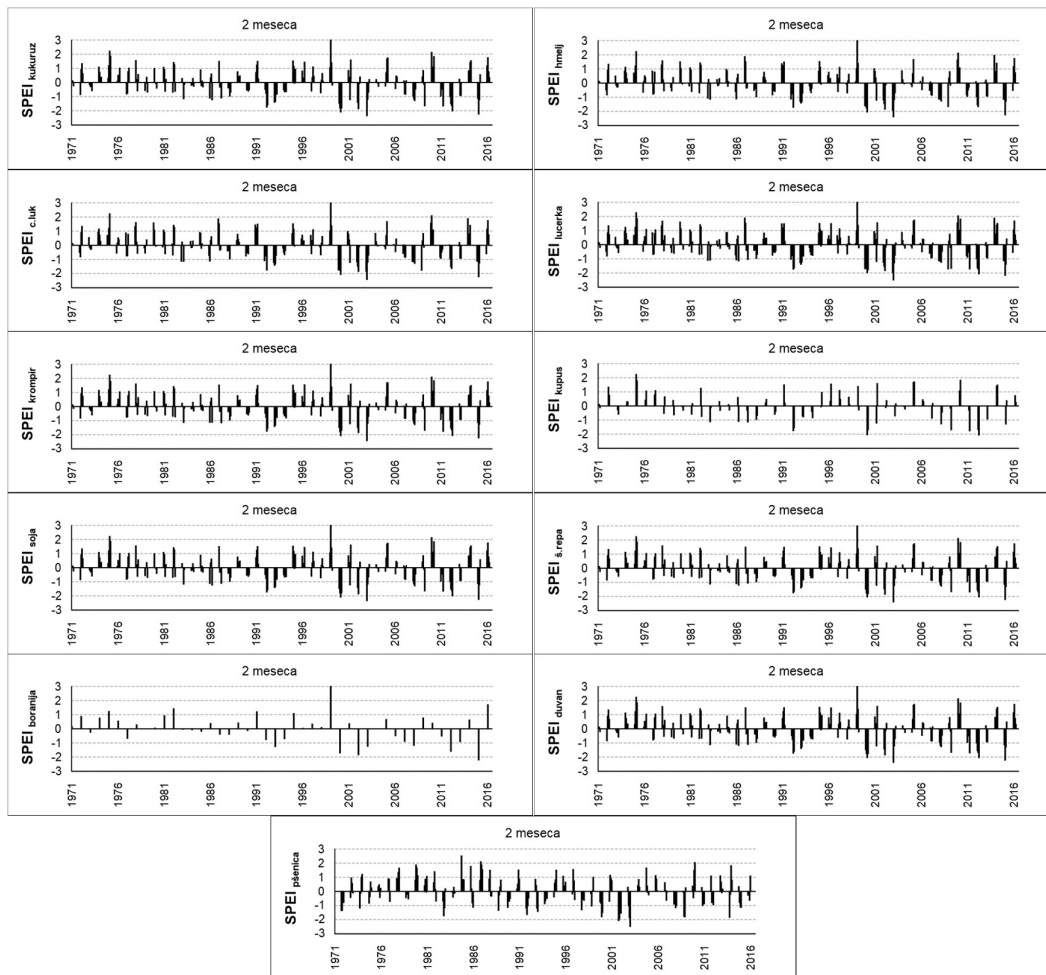
Slika 46. Dijagrami AD-SPEI_{crop} za meteorološke podatke sa stanice Kikinda (1971-2016. godine), akumulacioni period od 3 meseca

Na Slici 47 prikazane su promene vrednosti indeksa AD-SPEI_{crop} za meteorološku stanicu Zrenjanin u periodu od 1971 do 2016. godine, za period akumulacije od jednog meseca. Na dijagramima se može uočiti da su se ekstremne suše javljale 2000, 2003, 2009, 2012 i 2015. godine. Ekstremni vlažni periodi javljali su se 1975 i 2001. godine.



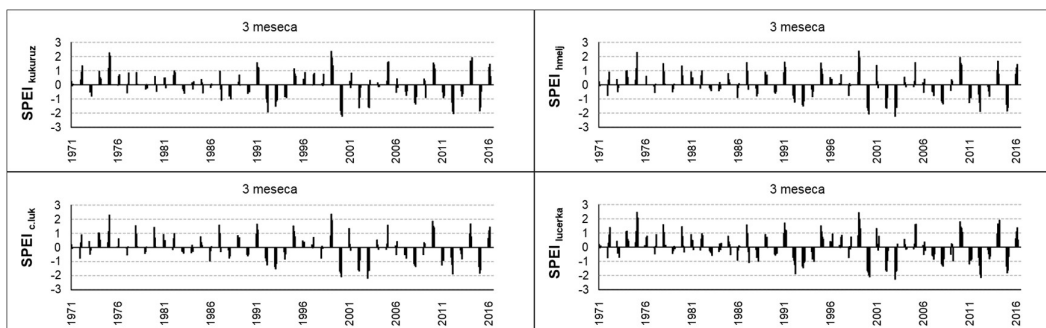
Slika 47. Dijagrami AD-SPEI_{crop} za meteorološke podatke sa stanice Zrenjanin (1971-2016. godine), akumulacioni period od 1 meseca

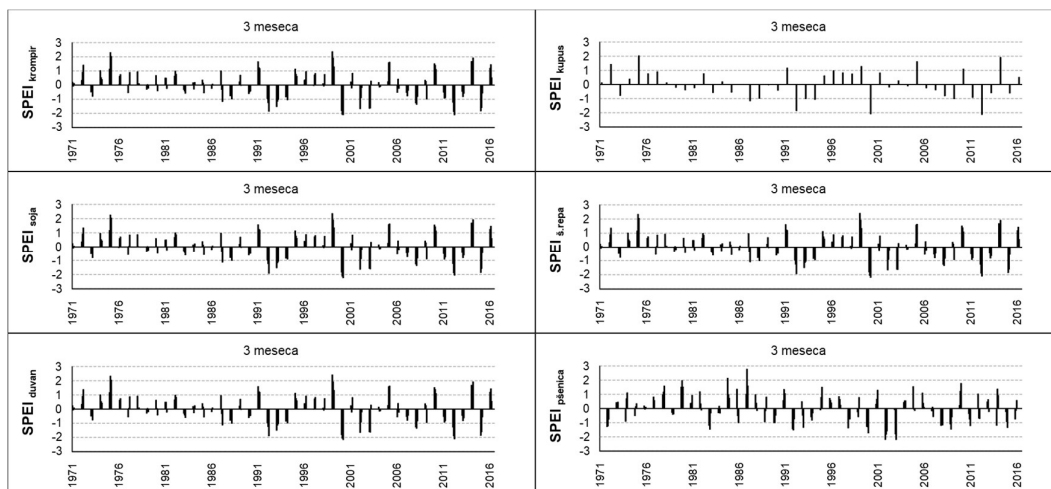
Na Slici 48 prikazane su promene vrednosti indeksa AD-SPEI_{crop} za meteorološku stanicu Zrenjanin u periodu od 1971 do 2016. godine, za period akumulacije od dva meseca. Na dijagramima se može uočiti da su se ekstremne suše javljale 2000, 2003, 2012 i 2015. godine. Ekstremni vlažni periodi javljali su se 1975, 1999 i 2010. godine.



Slika 48. Dijagrami AD-SPEI_{crop} za meteorološke podatke sa stanice Zrenjanin (1971-2016. godine), akumulacioni period od 2 meseca

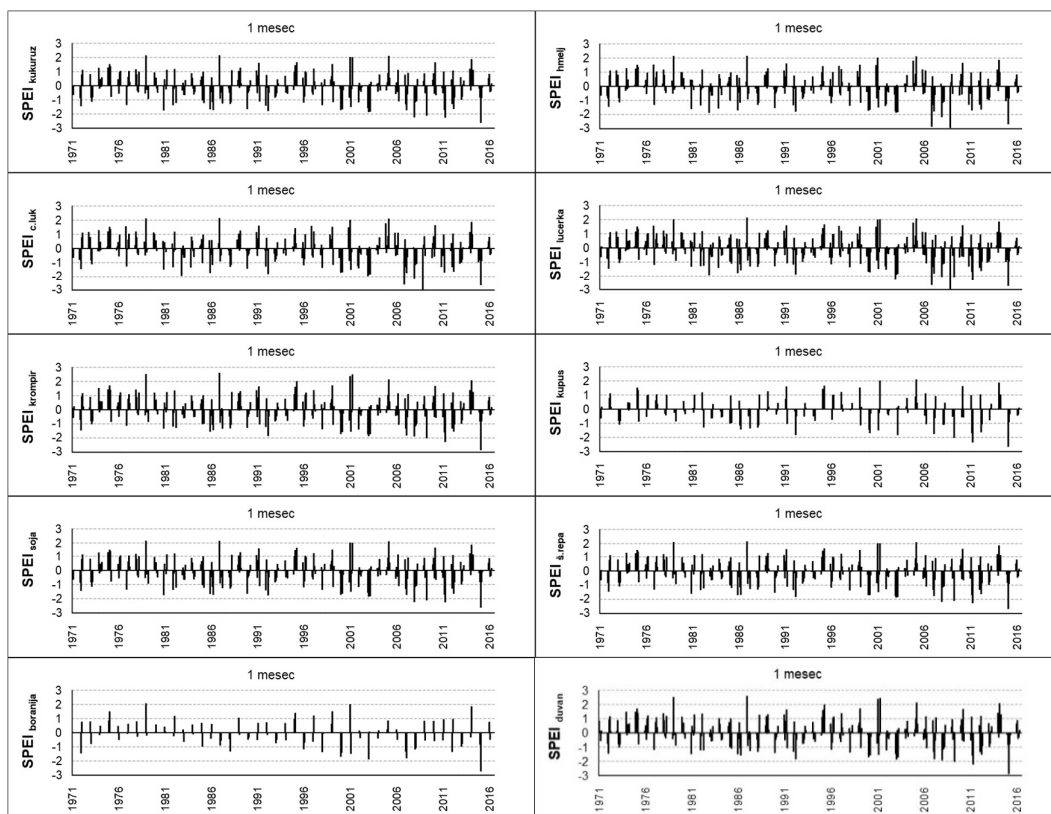
Na Slici 49 prikazane su promene vrednosti indeksa AD-SPEI_{crop} za meteorološku stanicu Zrenjanin u periodu od 1971 do 2016. godine, za period akumulacije od tri meseca. Na dijagramima se može uočiti da su se ekstremne suše javljale 2000, 2003 i 2012. godine. Ekstremni vlažni periodi javljali su se 1975 i 1999. godine.

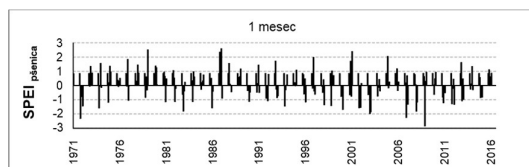




Slika 49. Dijagrami AD-SPEI_{crop} za meteorološke podatke sa stanice Zrenjanin (1971-2016. godine), akumulacioni period od 3 meseca

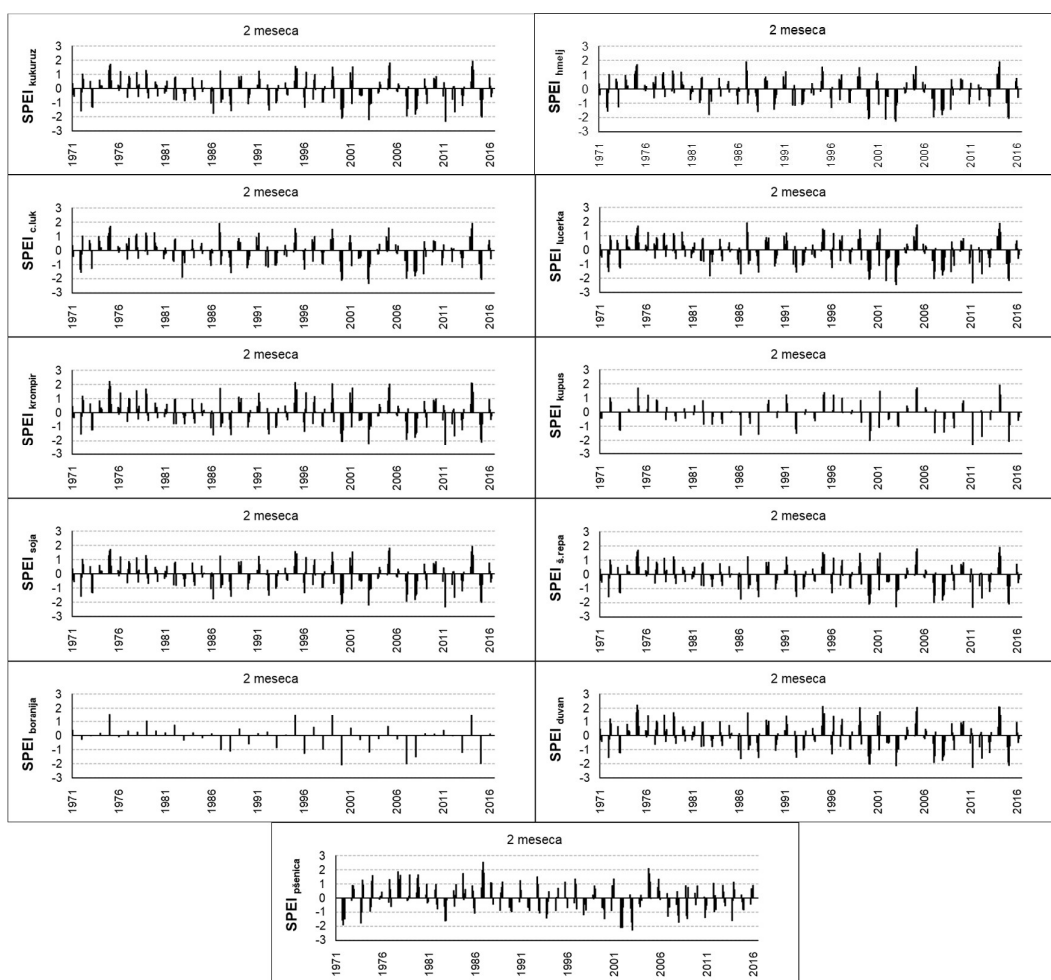
Na Slici 50 prikazane su promene vrednosti indeksa AD-SPEI_{crop} za meteorološku stanicu Vršac u periodu od 1971 do 2016. godine, za period akumulacije od jednog meseca. Na dijagramima se može uočiti da su se ekstremne suše javljale 2003, 2007, 2008, 2009, 2011 i 2015. godine. Ekstremni vlažni periodi javljali su se 1979, 1987, 2001 i 2005. godine.





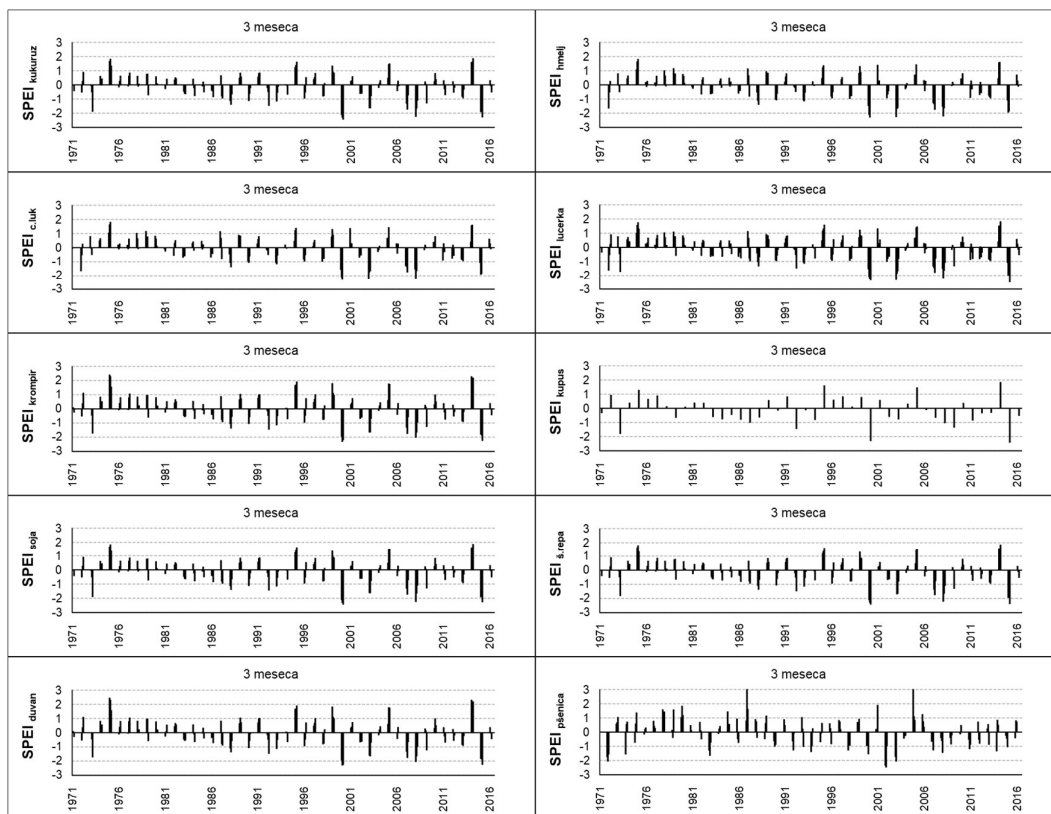
Slika 50. Dijagrami AD-SPEI_{crop} za meteorološke podatke sa stanice Vršac (1971-2016. godine), akumulacioni period od 1 meseca

Na Slici 51 prikazane su promene vrednosti indeksa AD-SPEI_{crop} za meteorološku stanicu Vršac u periodu od 1971 do 2016. godine, za period akumulacije od dva meseca. Na dijagramima se može uočiti da su se ekstremne suše javljale 2000, 2002, 2003, 2007, 2011 i 2015. godine. Ekstremni vlažni periodi javljali su se 1975, 1987, 2005 i 2014. godine



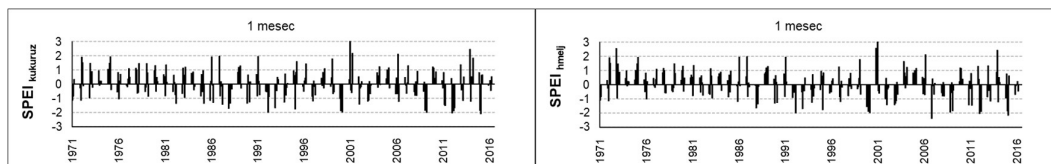
Slika 51. Dijagrami AD-SPEI_{crop} za meteorološke podatke sa stanice Vršac (1971-2016. godine), akumulacioni period od 2 meseca

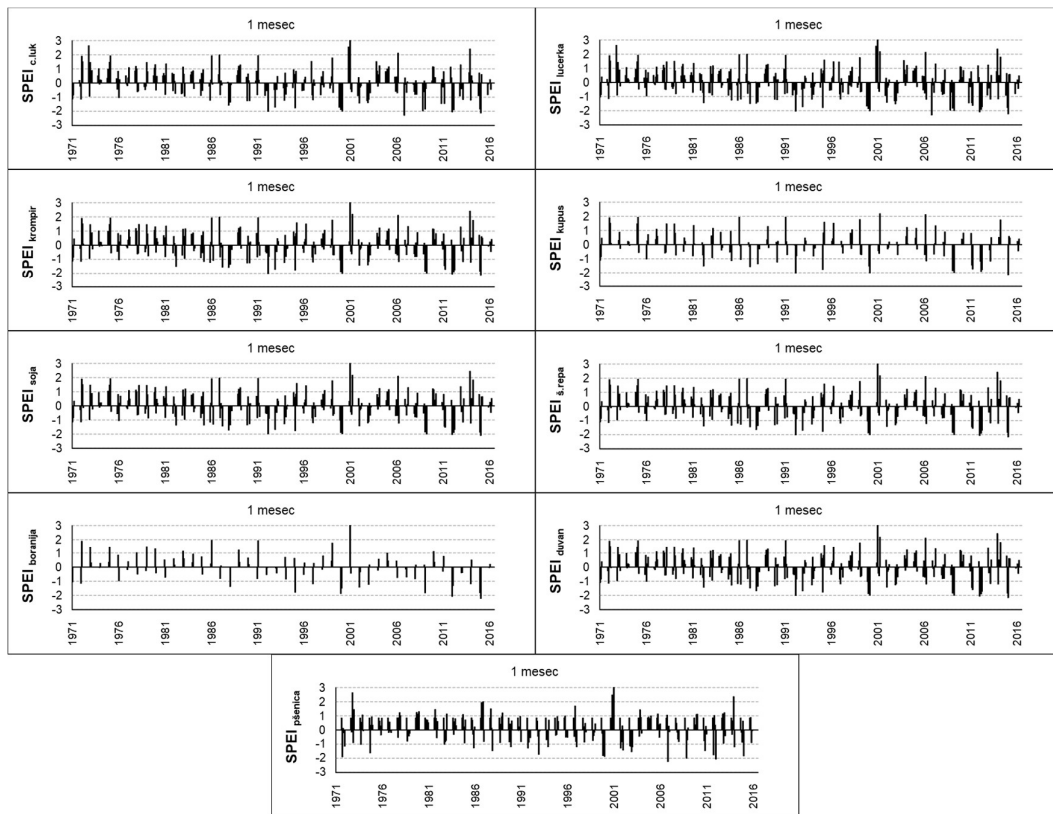
Na Slici 52 prikazane su promene vrednosti indeksa AD-SPEI_{crop} za meteorološku stanicu Vršac u periodu od 1971 do 2016. godine, za period akumulacije od tri meseca. Na dijagramima se može uočiti da su se ekstremne suše javljale 2000, 2003, 2008 i 2015. godine. Ekstremni vlažni periodi javljali su se 1975 i 2014. godine.



Slika 52. Dijagrami AD-SPEI_{crop} za meteorološke podatke sa stanice Vršac (1971-2016. godine), akumulacioni period od 3 meseca

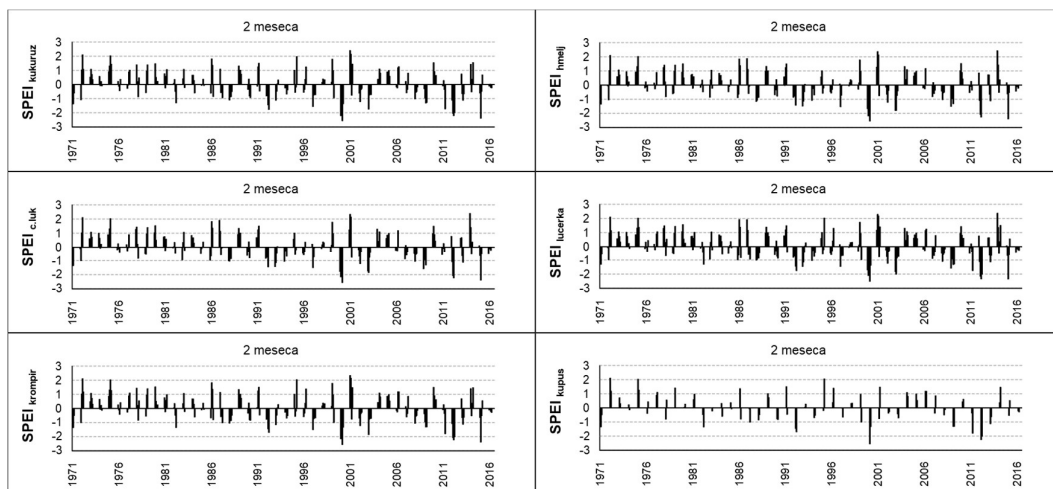
Na Slici 53 prikazane su promene vrednosti indeksa AD-SPEI_{crop} za meteorološku stanicu Sremska Mitrovica u periodu od 1971 do 2016. godine, za period akumulacije od jednog meseca. Na dijagramima se može uočiti da su se ekstremne suše javljale 1992, 2000, 2007, 2012 i 2015. godine. Ekstremni vlažni periodi javljali su se 1973, 2001, 2010 i 2014. godine.

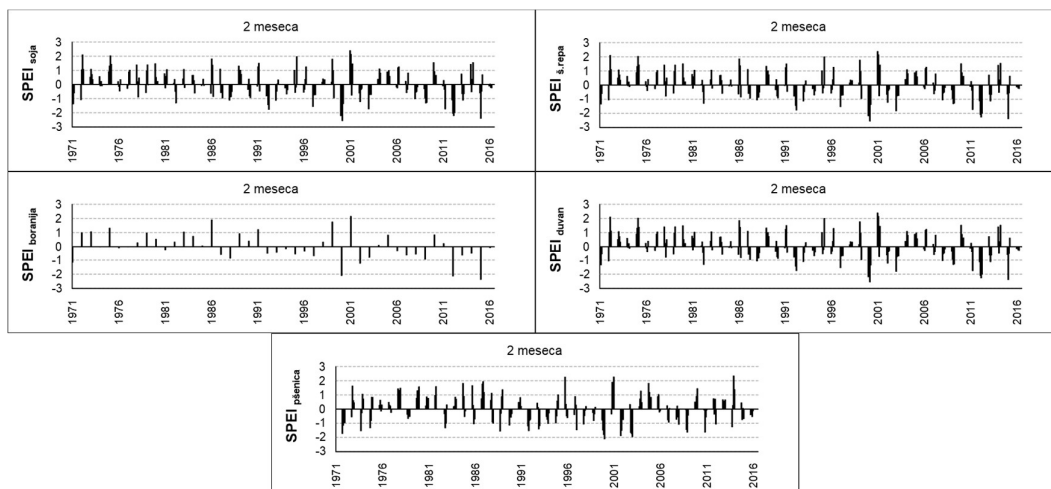




Slika 53. Dijagrami AD-SPEI_{crop} za meteorološke podatke sa stanice Sremska Mitrovica (1971-2016. godine), akumulacioni period od 1 meseca

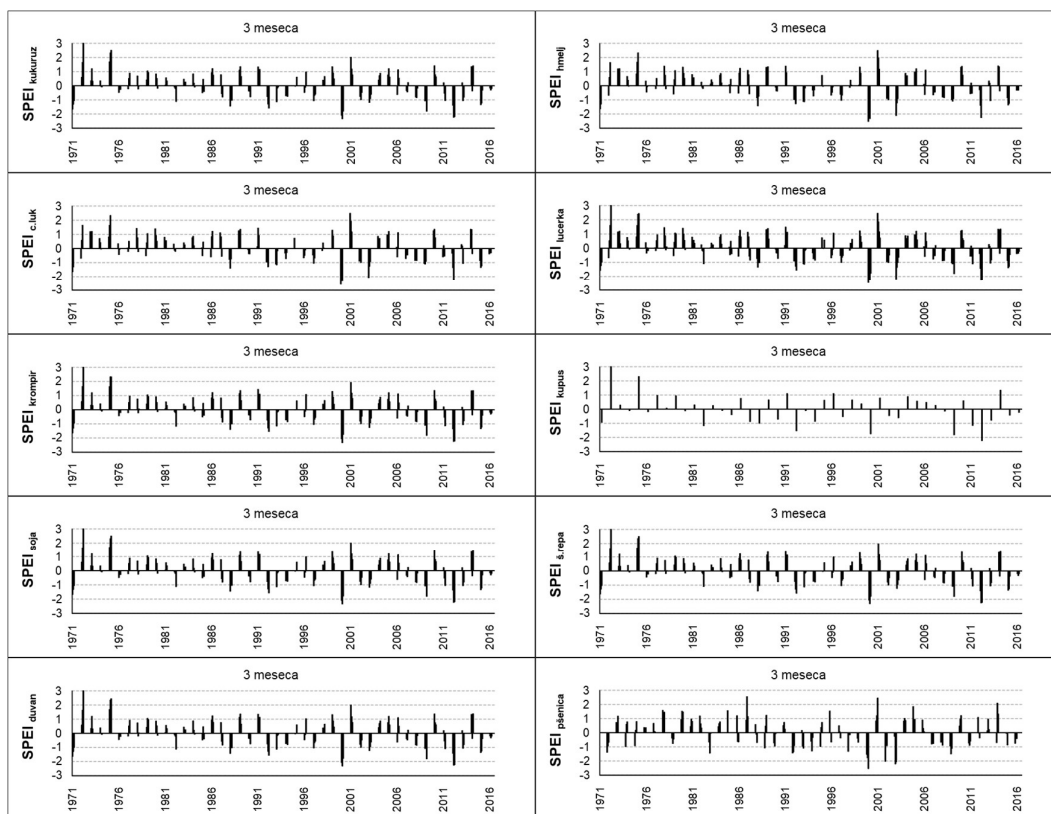
Na Slici 54 prikazane su promene vrednosti indeksa AD-SPEI_{crop} za meteorološku stanicu Sremska Mitrovica u periodu od 1971 do 2016. godine, za period akumulacije od dva meseca. Na dijagramima se može uočiti da su se ekstremne suše javljale 2000, 2012 i 2015. godine. Ekstremni vlažni periodi javljali su se 1972, 1975, 1995, 2001 i 2014. godine.





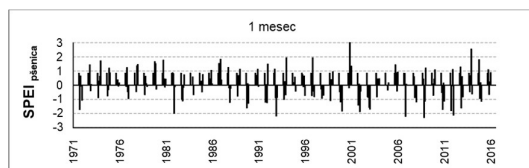
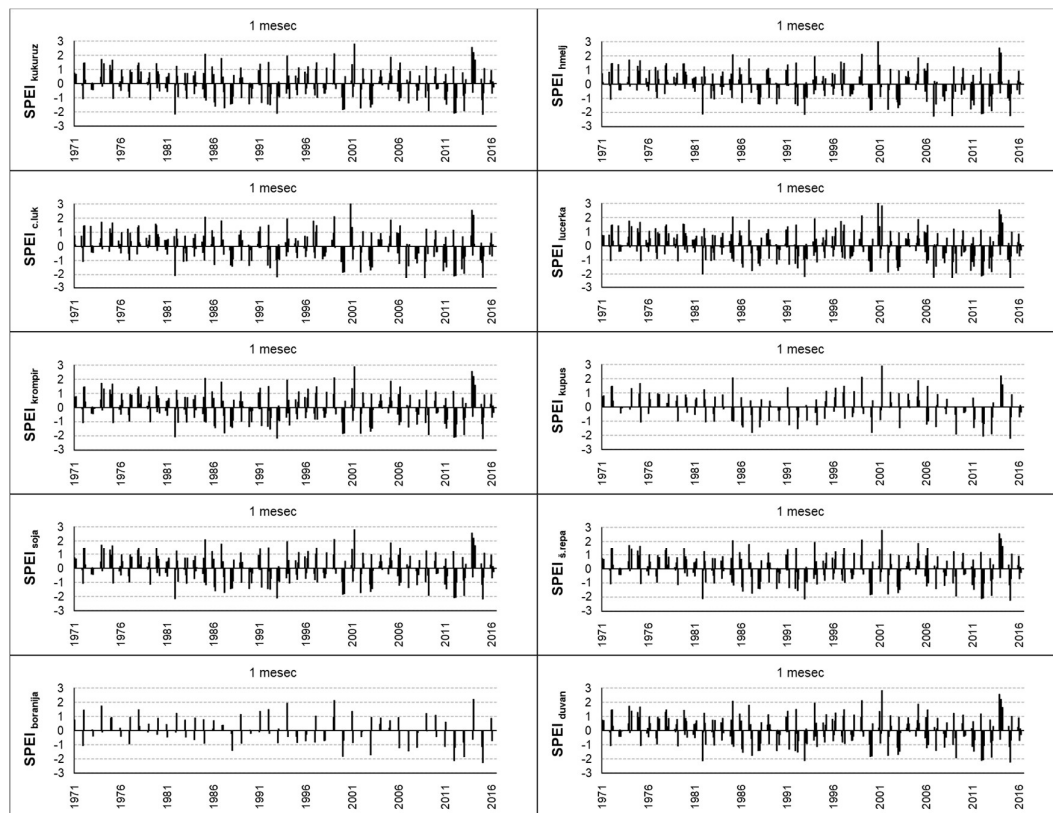
Slika 54. Dijagrami AD-SPEI_{crop} za meteorološke podatke sa stanice Sremska Mitrovica (1971-2016. godine), akumulacioni period od 2 meseca

Na Slici 55 prikazane su promene vrednosti indeksa AD-SPEI_{crop} za meteorološku stanicu Sremska Mitrovica u periodu od 1971 do 2016. godine, za period akumulacije od tri meseca. Na dijagramima se može uočiti da su se ekstremne suše javljale 2000, 2003 i 2012. godine. Ekstremni vlažni periodi javljali su se 1972, 1975 i 2001. godine.



Slika 55. Dijagrami AD-SPEI_{crop} za meteorološke podatke sa stanice Sremska Mitrovica (1971-2016. godine), akumulacioni period od 3 meseca

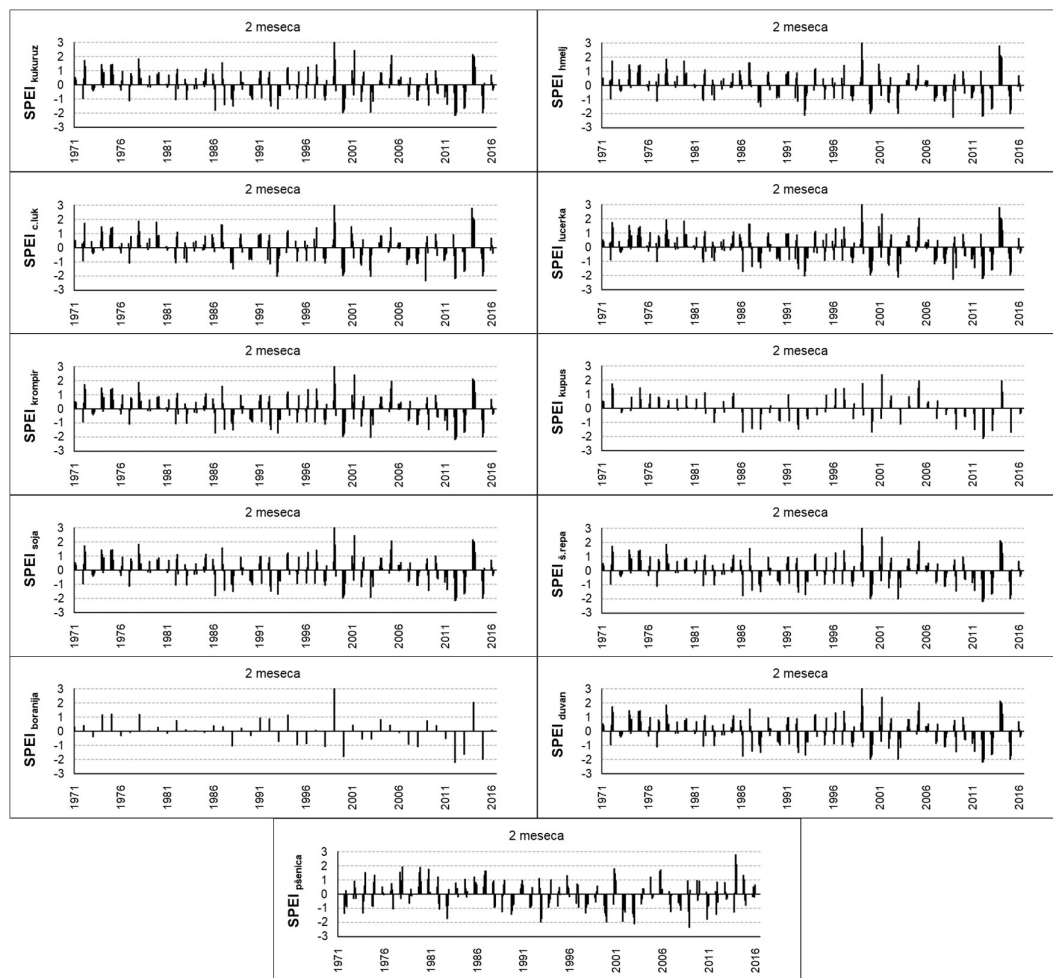
Na Slici 56 prikazane su promene vrednosti indeksa AD-SPEI_{crop} za meteorološku stanicu Beograd u periodu od 1971 do 2016. godine, za period akumulacije od jednog meseca. Na dijagramima se može uočiti da su se ekstremne suše javljale 1982, 1993, 2007, 2009, 2012 i 2015. godine. Ekstremni vlažni periodi javljali su se 1985, 1999, 2001 i 2014. godine.



Slika 56. Dijagrami AD-SPEI_{crop} za meteorološke podatke sa stanice Beograd (1971-2016. godine), akumulacioni period od 1 meseca

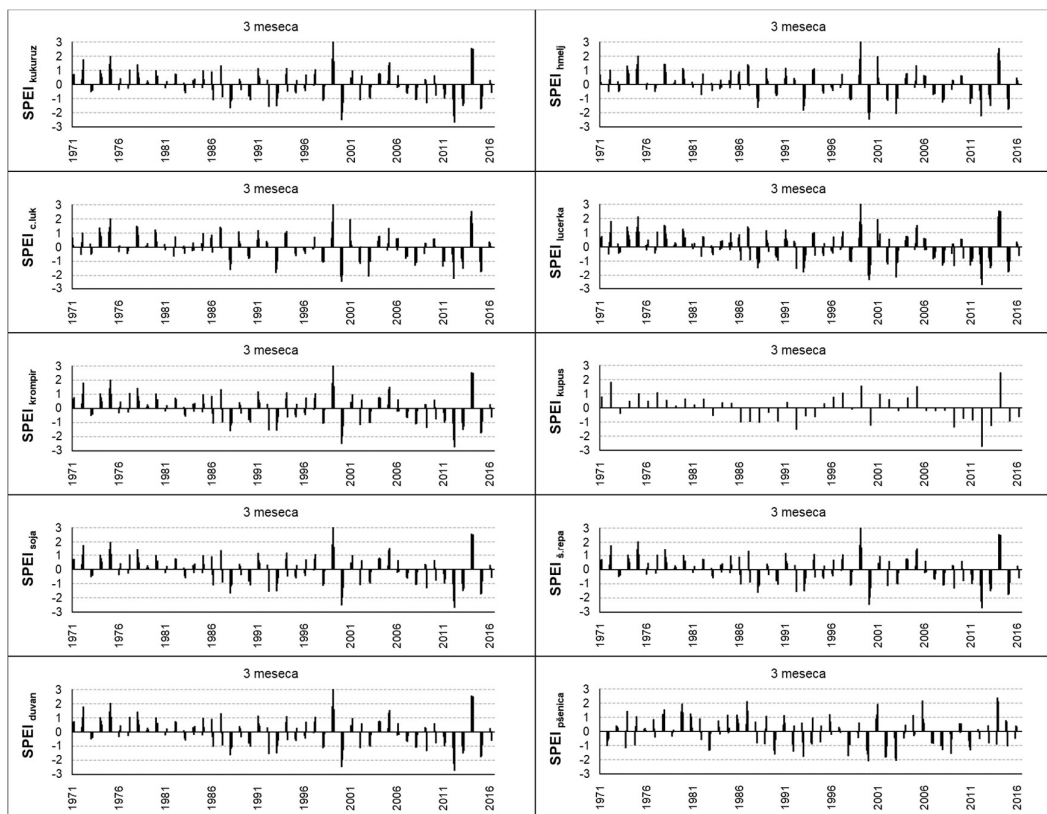
Na Slici 57 prikazane su promene vrednosti indeksa AD-SPEI_{crop} za meteorološku stanicu Beograd u periodu od 1971 do 2016. godine, za period akumulacije od dva meseca. Na dijagramima se može uočiti da su se ekstremne

suše javljale 1993, 2003, 2009 i 2012. godine. Ekstremni vlažni periodi javljali su se 1999, 2001, 2005 i 2014. godine.



Slika 57. Dijagrami AD-SPEI_{crop} za meteorološke podatke sa stanice Beograd (1971-2016. godine), akumulacioni period od 2 meseca

Na Slici 58 prikazane su promene vrednosti indeksa AD-SPEI_{crop} za meteorološku stanicu Beograd u periodu od 1971 do 2016. godine, za period akumulacije od tri meseca. Na dijagramima se može uočiti da su se ekstremne suše javljale 2000, 2003 i 2012. godine. Ekstremni vlažni periodi javljali su se 1975, 1999 i 2014. godine.



Slika 58. Dijagrami AD-SPEI_{crop} za meteorološke podatke sa stanice Beograd (1971-2016. godine), akumulacioni period od 3 meseca

Pored grafičkog prikaza indeksa putem dijagrama, moguće je razvoj sušnih događaja i njihovu prostornu raspodelu detaljnije prikazati putem karata izrađenih u okruženju Geografskog Informacionog Sistema (GIS). Dobijene vrednosti indeksa moguće je prikazati na različite načine, u zavisnosti od potreba konkretne analize. U ovoj disertaciji analizirani su mesečni nizovi podataka od 1971 do 2016. godine sa devet meteoroloških stanica pri čemu je posmatrano 11 poljoprivrednih kultura i računati su indeksi za tri perioda akumulacije (1, 2, 3 meseca). Zbog velike količine analiziranih podataka i obima dobijenih rezultata nije ih moguće sve prikazati i iz tog razloga prikazan je jedan primer razvoja sušnog događaja u vegetacionoj sezoni 2003. godine. Cilj je ilustracija mogućnosti prikaza rezultata indeksa u vidu GIS karata, na kojima se mogu uočiti razlike u prostornoj i vremenskoj raspodeli indeksa različitih kultura.

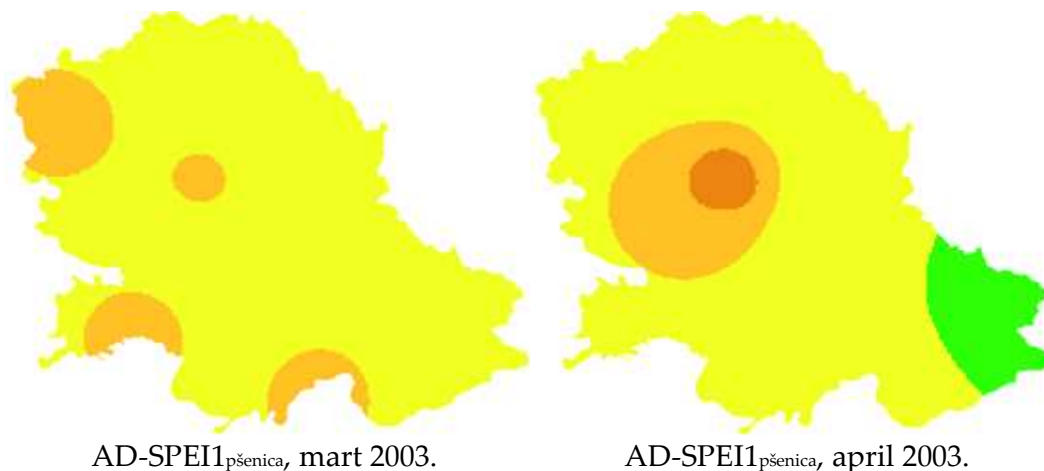
Prostorni i vremenski razvoj uslova vlažnosti na teritoriji Vojvodine sa aspekta poljoprivrednih kultura detaljnije je prikazan i ilustrovan na kartama (Slike 60-70) kreiranim u GIS-u korišćenjem IDW metode prostorne interpolacije na

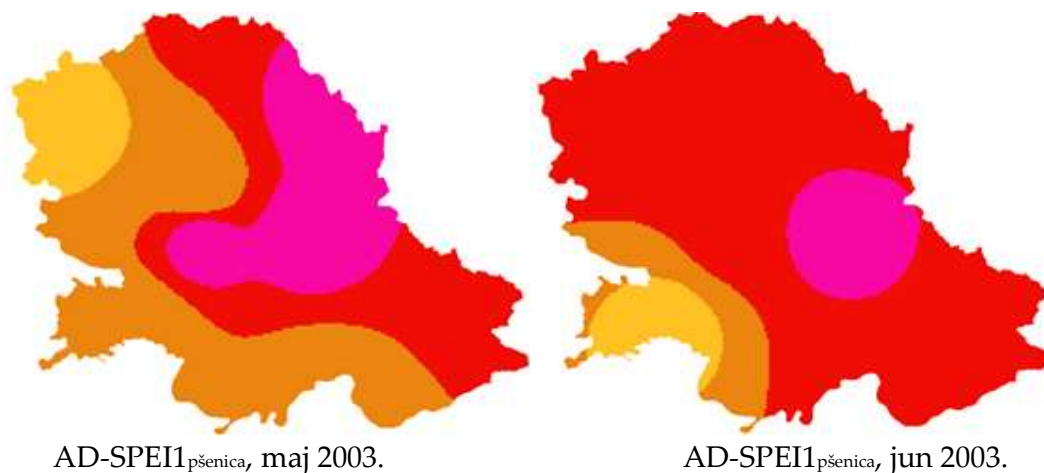
primeru dela vegetacione sezone sušne 2003. godine. Legenda kategorija uslova vlažnosti je prikazana na Slici 59 (RHMZS, 2019).

Kategorija uslova vlažnosti	Indeks
Izuzetna suša (Exceptional drought)	$\leq -2,326$
Ekstremna suša (Extreme drought)	-1,645 do -2,326
Jaka suša (Severe drought)	-1,282 do -1,645
Umerena suša (Moderate drought)	-0,935 do -1,282
Sušno (Minor drought)	-0,524 do -0,935
Normalni uslovi vlažnosti (Near normal)	+0,524 do -0,524
Malo povećana vlažnost (Slightly increased moisture)	+0,524 do +0,935
Umereno povećana vlažnost (Moderately increased moisture)	+0,935 do +1,282
Jako vlažno (Considerably increased moisture)	+1,282 do +1,645
Ekstremno vlažno (Extremely wet)	+1,645 do +2,326
Izuzetno vlažno (Exceptionally wet)	$\geq 2,326$

Slika 59. Legenda kategorija uslova vlažnosti (RHMZS, 2019)

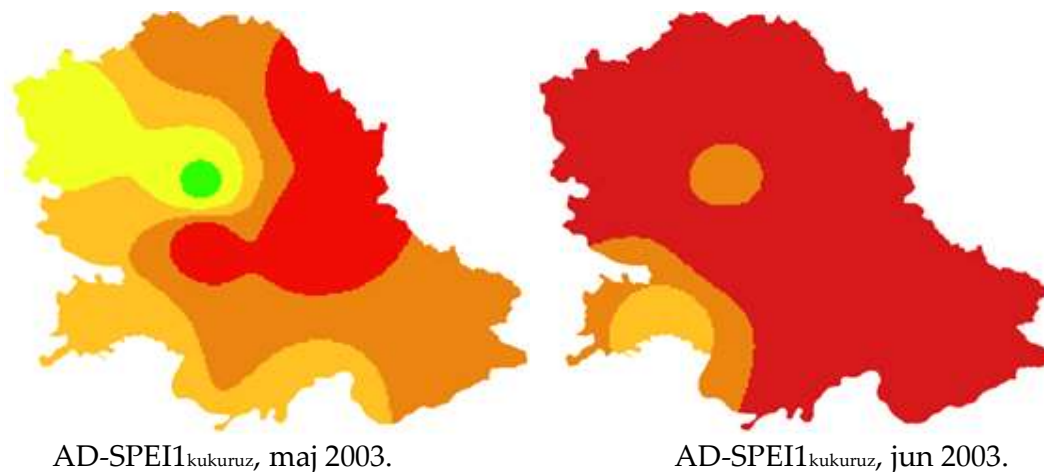
Na kartama (Slika 60) može se uočiti da indeks $AD-SPEI1_{pšenica}$ pokazuje uglavnom sušne uslove na čitavoj teritoriji Vojvodine u martu i aprilu mesecu 2003. godine. U maju su zabeleženi uslovi izuzetne i ekstremne suše u istočnim i centralnim delovima Vojvodine; u junu su istočni, centralni i severozapadni delovi bili pod ekstremnom sušom, a reoni u okolini Zrenjanina pod izuzetnom sušom.





Slika 60. AD-SPEI₁_{pšenica}, mart - jun 2003.

Karte indeksa AD-SPEI₁_{kukuruz} (Slika 61) pokazuju da se ekstremna suša počela javljati u maju mesecu 2003. godine na delovima istočne i centralne Vojvodine, a da se ekstremna suša proširila na skoro čitavu teritoriju Vojvodine u junu mesecu. U julu mesecu je zabeležen vlažni talas tako da je veći deo teritorije bio pod normalnim uslovima vlažnosti, a severoistočni i južni delovi su bili pod vlažnim i umereno vlažnim uslovima. U avgustu mesecu kukuruz je ponovo trpeo sušu jer veći deo teritorije je bio pod jakom i umerenom sušom, a ekstremna suša se javila na jugoistoku Vojvodine.





AD-SPEI1_{kukuruz}, jul 2003.



AD-SPEI1_{kukuruz}, avgust 2003.

Slika 61. AD-SPEI1_{kukuruz}, maj - avgust 2003.

AD-SPEI1 indeksi ostalih kultura (šećerna repa, lucerka, krompir, soja, hmelj, crni luk i duvan) (Slike 62-68) su zabeležili sličan razvoj uslova vlažnosti kao i AD-SPEI1_{kukuruz}, sa lokalnim razlikama i varijacijama koje se mogu uočiti na priloženim kartama. Takođe, ovi indeksi su registrovali da su najsušniji meseci bili maj i jun, da se u julu mesecu pojavio vlažni talas i da se intenzivna suša ponovo javila u avgustu mesecu.



AD-SPEI1_{šećerna repa}, maj 2003.



AD-SPEI1_{šećerna repa}, jun 2003.



AD-SPEI1_{šećerna repa}, jul 2003.



AD-SPEI1_{šećerna repa}, avgust 2003.

Slika 62. AD-SPEI1_{šećerna repa}, maj - avgust 2003.



AD-SPEI1_{lucerka}, maj 2003.



AD-SPEI1_{lucerka}, jun 2003.



AD-SPEI1_{lucerka}, jul 2003.



AD-SPEI1_{lucerka}, avgust 2003.

Slika 63. AD-SPEI1_{lucerka}, maj - avgust 2003.



AD-SPEI_{1krompir}, maj 2003.



AD-SPEI_{1krompir}, jun 2003.



AD-SPEI_{1krompir}, jul 2003.



AD-SPEI_{1krompir}, avgust 2003.

Slika 64. AD-SPEI_{1krompir}, maj - avgust 2003.



AD-SPEI_{1soja}, maj 2003.



AD-SPEI_{1soja}, jun 2003.



AD-SPEI1_{soja}, jul 2003.



AD-SPEI1_{soja}, avgust 2003.

Slika 65. AD-SPEI1_{soja}, maj - avgust 2003.



AD-SPEI1_{hmelj}, maj 2003.



AD-SPEI1_{hmelj}, jun 2003.



AD-SPEI1_{hmelj}, jul 2003.



AD-SPEI1_{hmelj}, avgust 2003.

Slika 66. AD-SPEI1_{hmelj}, maj - avgust 2003.



AD-SPEI1_{c.luk}, maj 2003.



AD-SPEI1_{c.luk}, jun 2003.

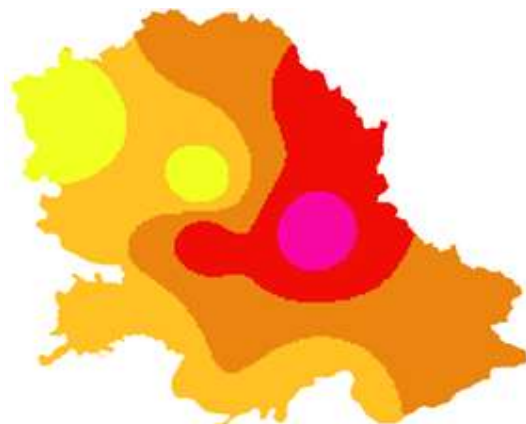


AD-SPEI1_{c.luk}, jul 2003.



AD-SPEI1_{c.luk}, avgust 2003.

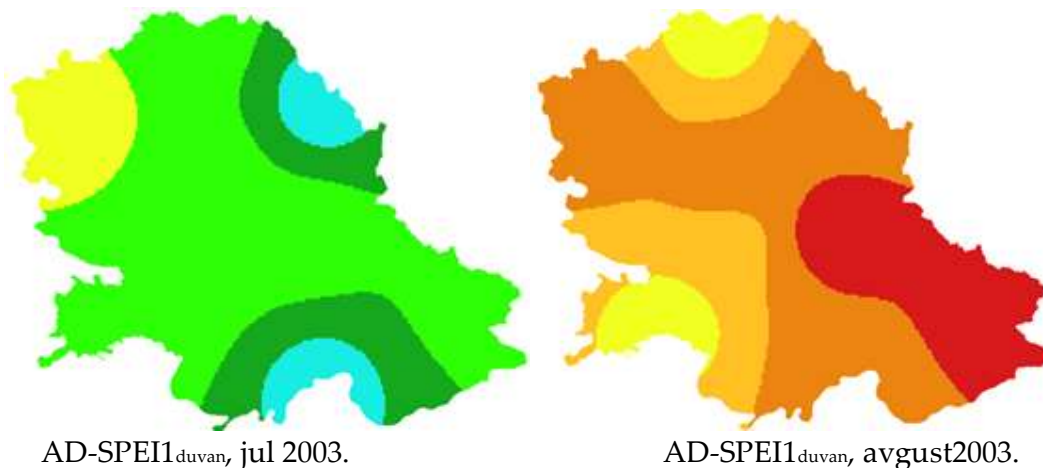
Slika 67. AD-SPEI1_{c.luk}, maj - avgust 2003.



AD-SPEI1_{duvan}, maj 2003.

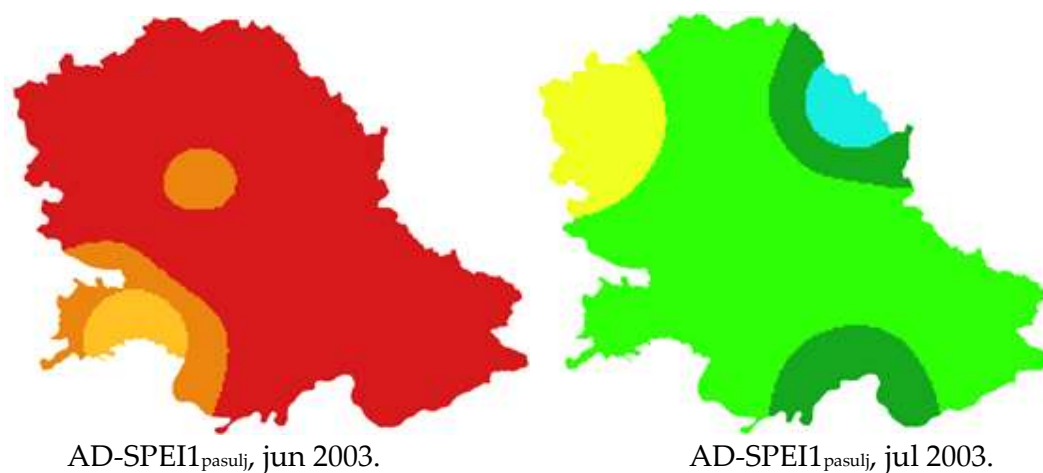


AD-SPEI1_{duvan}, jun 2003.

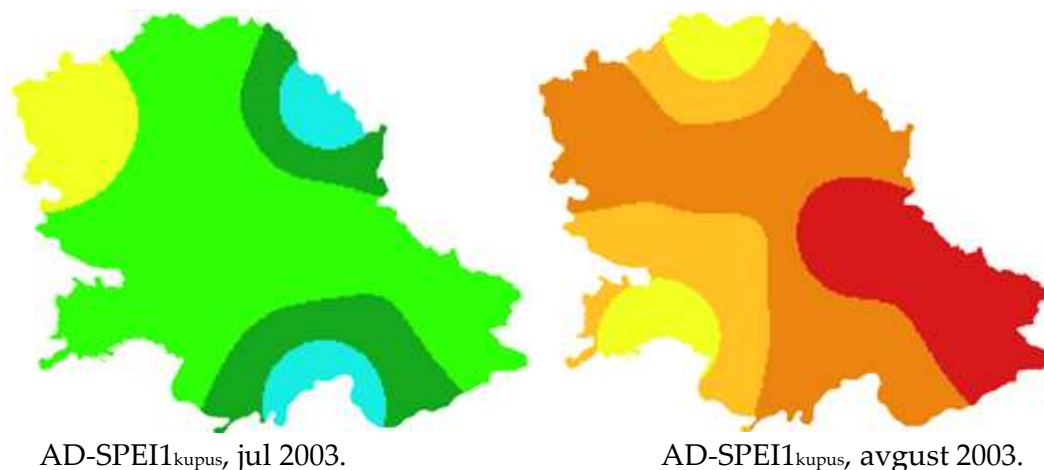


Slika 68. AD-SPEI1_{duvan}, maj - avgust 2003.

Indeks AD-SPEI1_{pasulj} je pokazao ekstremno sušne uslove u junu mesecu 2003. godine na skoro čitavoj teritoriji Vojvodine i uglavnom normalne do umereno vlažne uslove u julu mesecu (Slika 69). Indeks AD-SPEI1_{kupus} je pokazao normalne do umereno vlažne uslove u julu 2003. godine, a veoma intenzivnu sušu u avgustu mesecu gde su jugoistočni krajevi bili pod ekstremnom sušom, a severni i jugozapadni pod umerenom sušom (Slika 70).



Slika 69. AD-SPEI1_{pasulj}, jun - jul 2003.



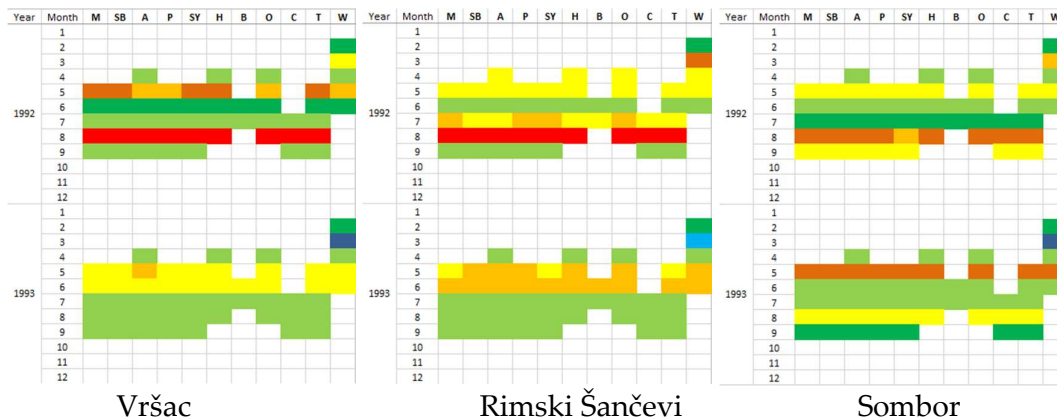
AD-SPEI1_{kupus}, jul 2003.

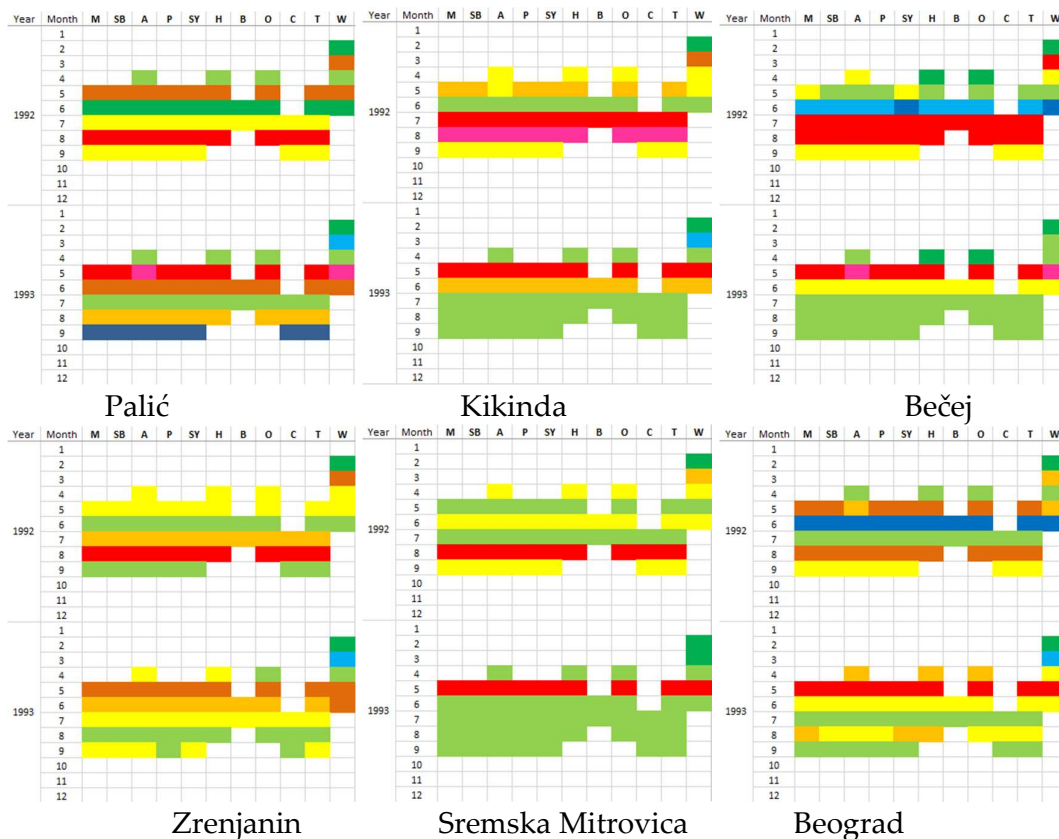
AD-SPEI1_{kupus}, avgust 2003.

Slika 70. AD-SPEI1_{kupus}, jul - avgust 2003.

Pored dijagrama i karata, vrednosti indeksa AD-SPEI_{crop} prikazani su i putem grafika tipa *heatmap* gde su bojama predstavljene kategorije indeksa, što omogućava da se vizuelno lakše uoče promene i razlike vrednosti indeksa u vremenu i po kulturama. Grafici su formirani za svaku meteorološku stanicu gde su prikazani indeksi za sve analizirane kulture (kukuruz - M, šećerna repa - SB, lucerka - A, krompir - P, soja - S, hmelj - H, pasulj - B, crni luk - O, kupus - C, duvan -T i ozima pšenica - W). Legenda *heatmap* grafika je prikazana na Slici 59. Zbog velikog obima rezultata *heatmap* grafici su prikazani samo za pojedine izdvojene godine.

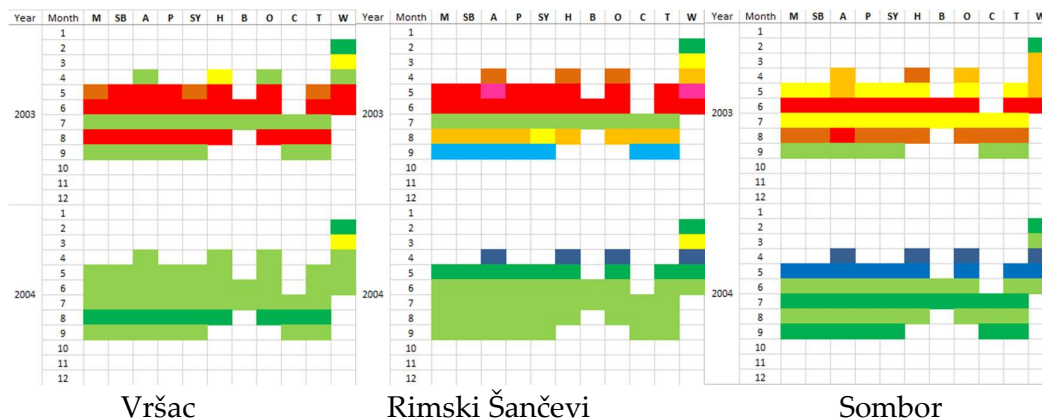
Na Slici 71 prikazani su indeksi AD-SPEI_{crop} za 1992 i 1993. godinu. Može se uočiti da je 1992. godine najsušniji mesec bio avgust, kada su se u zavisnosti od meteoroloških stanica, kategorije suše kretale od jake suše do izuzetne suše. Najsušniji mesec 1993. godine je bio maj kada su se kategorije suše kretale od suše do izuzetne suše koja se javila u okolini Subotice i Bečeja i koja se odnosila na lucerku i ozimu pšenicu.

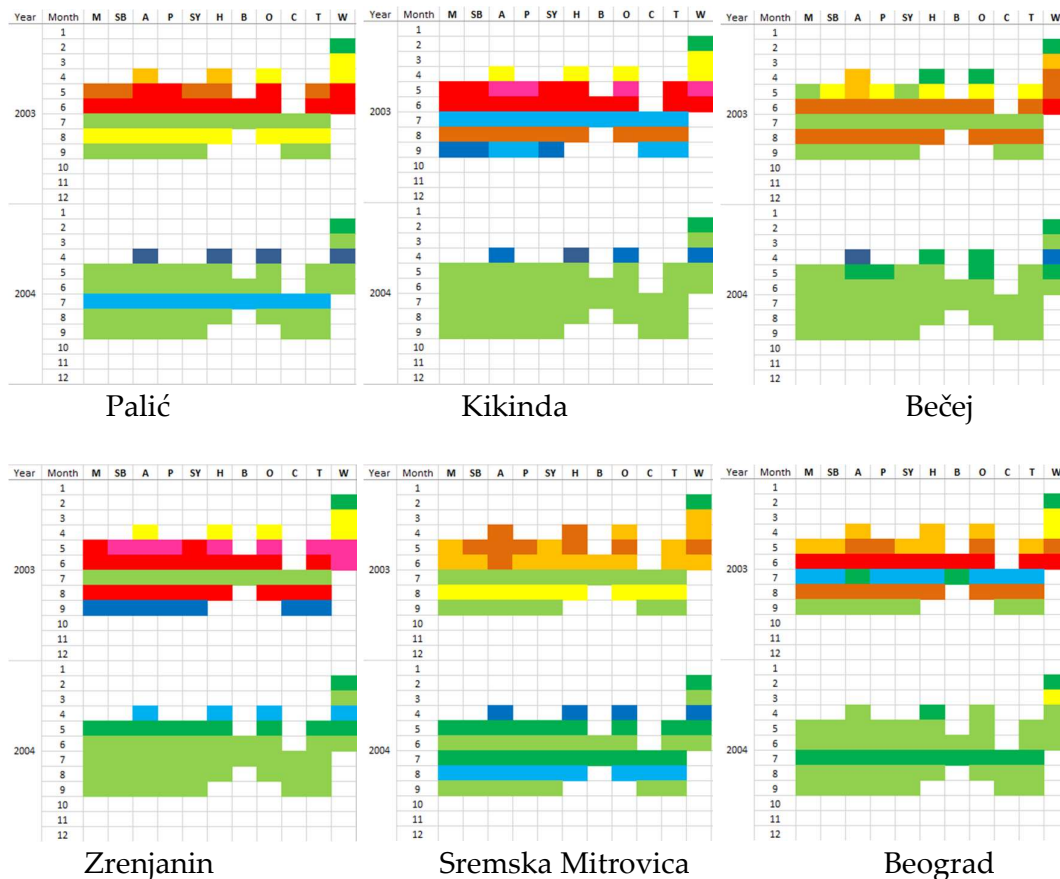




Slika 71. Heatmap grafici indeksa AD-SPEI_{crop} za 1992 i 1993. godinu

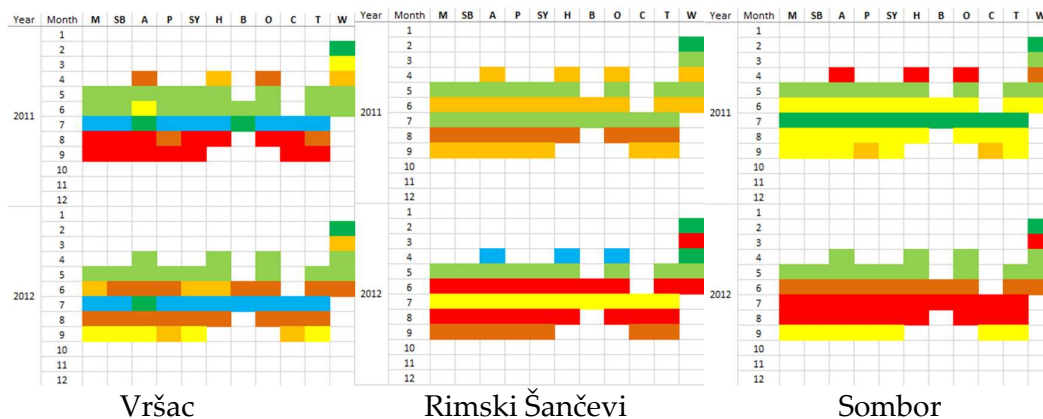
Na Slici 72 prikazani su indeksi AD-SPEI_{crop} za 2003 i 2004. godinu. Može se uočiti da su 2003. godine najsušniji meseci bili maj, jun i avgust, kada su se u zavisnosti od meteoroloških stanica, kategorije suše kretale od suše do izuzetne suše. U toku 2004. godine suša se javila samo na pojedinim stanicama i to samo u martu mesecu za ozimu pšenicu. U ostalim mesecima su uglavnom bili normalni ili vlažni uslovi, a u aprilu mesecu na pojedinim stanicama i za pojedine kulture vladali su ekstremno vlažni uslovi.

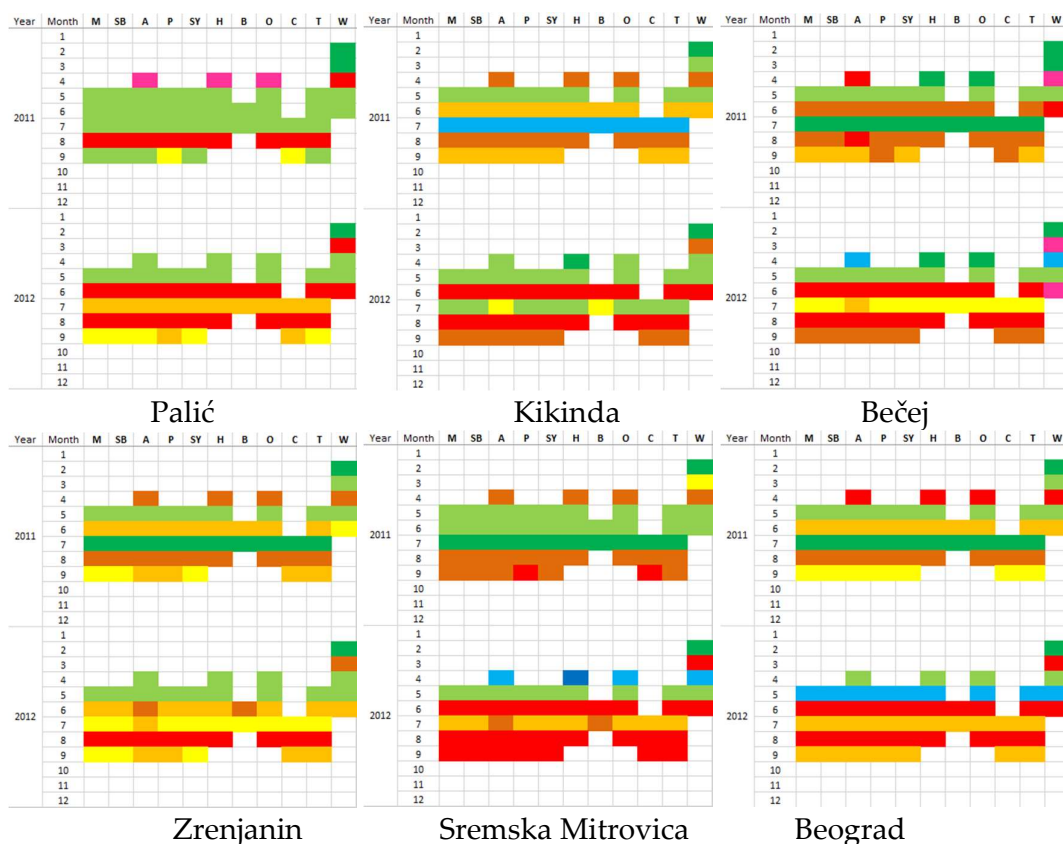




Slika 72. Heatmap grafici indeksa AD-SPEI_{crop} za 2003 i 2004. godinu

Na Slici 73 prikazani su indeksi AD-SPEI_{crop} za 2011 i 2012. godinu. Može se uočiti da su 2011. godine najsušniji meseci bili avgust i septembar, kada su se u zavisnosti od meteoroloških stanica i kultura, kategorije suše kretale od suše do ekstremne suše. Suša je u 2012. godini trajala od juna do septembra, a posebno je bila intenzivna u junu i avgustu mesecu kada je uglavnom dostizala kategoriju ekstremne suše.





Slika 73. Heatmap grafici indeksa AD-SPEI_{crop} za 2011 i 2012. godinu

Na prikazanim *heatmap* graficima može se uočiti da vrednosti indeksa po kulturama za posmatrani mesec i posmatranu stanicu uglavnom spadaju u istu kategoriju suše, ali se u određenim slučajevima javljaju i razlike u kategorijama suše za različite kulture. Ako se detaljnije posmatraju dobijeni rezultati može se uočiti da pored dobijenih bliskih vrednosti indeksa za različite kulture, vrednosti klimatskih vodnih bilansa, na kojima se bazira indeks, su različite. O tome će biti više reči u nastavku. Klimatski vodni bilans kultura kao parametar je od velikog značaja jer ukazuje na potrebe useva za navodnjavanjem, omogućava planiranje zalivnog režima kultura, osnova je za pravilnu alokaciju vodnih resursa pri planiranju navodnjavanja i neophodan je element pri projektovanju hidromelioracionih sistema. Tokom analize, zaključeno je da bi bilo korisno da rezultati indeksa AD-SPEI_{crop} budu prikazani paralelno sa vrednostima vodnog bilansa. To bi omogućilo detaljniji uvid u vezu suše i potreba kultura za navodnjavanjem.

6.3.2.5. Korak V - Ispitivanje mogućnosti zalivnih sistema u odnosu na intenzitet suše korišćenjem AD-SPEI_{crop}

U prethodnim koracima je utvrđeno da se GEV distribucija najbolje slaže sa empirijskim vrednostima klimatskih vodnih bilansa kultura na području Vojvodine. Vrednosti indeksa AD-SPEI_{crop} dobijaju se kada se verovatnoće pojave vrednosti klimatskog vodnog bilansa kulture prema GEV zakonu raspodele transformišu u standardnu normalnu distribuciju (videti poglavlje 6.3.2.4). Da bi se vrednosti indeksa transformisale u odgovarajuću vrednost klimatskog vodnog bilansa kulture prvo je potrebno izračunati kumulativnu funkciju standardne normalne distribucije prema sledećoj formuli (NIST/SEMATECH, 2019):

$$F(x) = \int_{-\infty}^x \frac{e^{-\frac{x^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}} dx \quad (65)$$

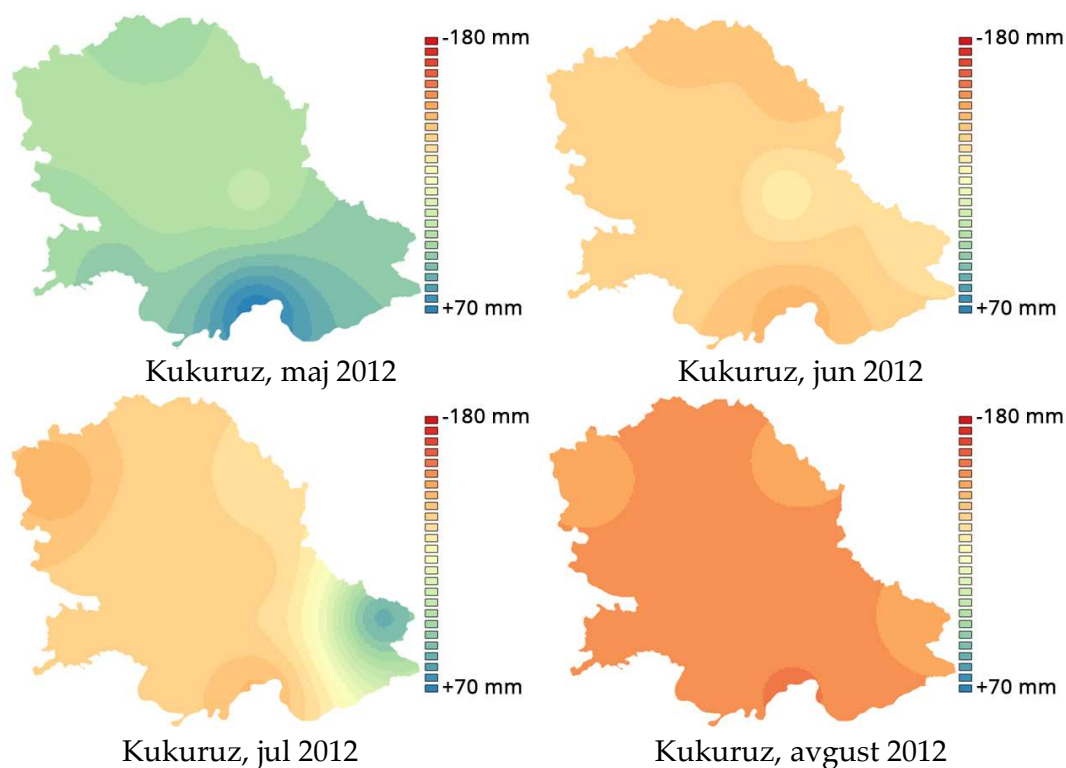
gde x predstavlja vrednost AD-SPEI_{crop}. Ovaj integral se rešava numeričkom integracijom. Zatim se računa inverzna vrednost odgovarajuće teorijske distribucije, u ovom slučaju GEV distribucije. Inverzna vrednost GEV distribucije računa se prema sledećoj formuli (Hosking i sar., 1985):

$$D(F) = \xi + \frac{\alpha}{k} \left\{ 1 - (-\ln F)^k \right\} \quad (66)$$

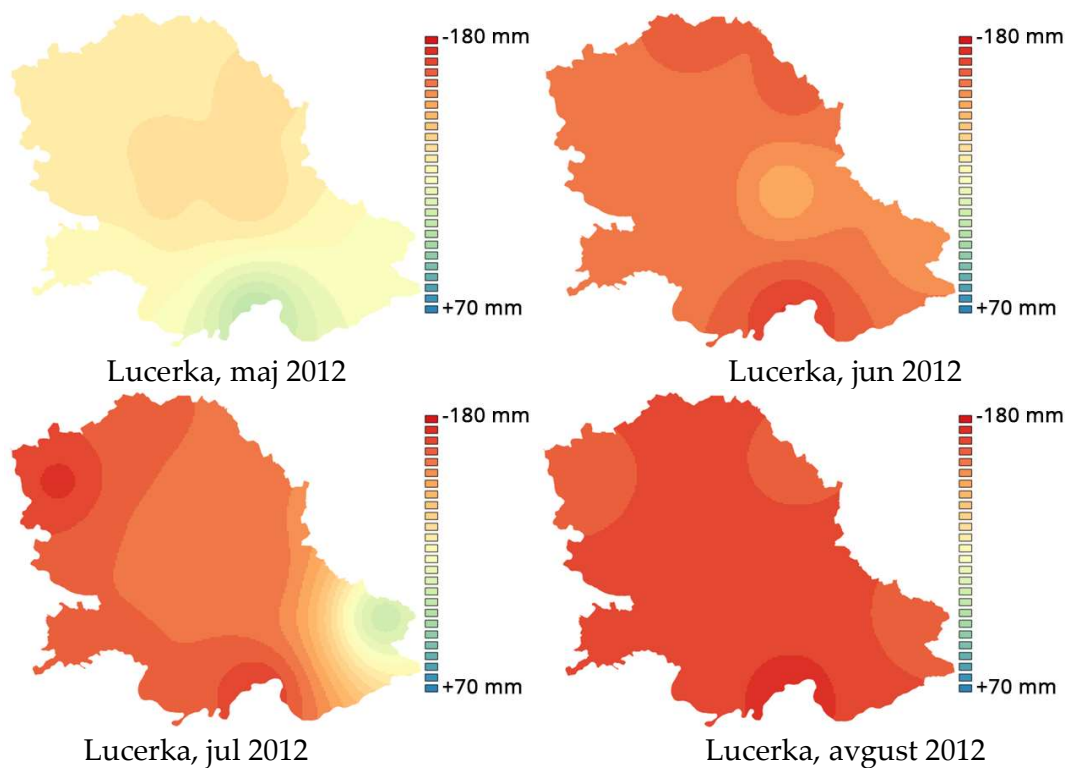
gde je $D(F)$ inverzna vrednosti GEV distribucije i predstavlja vrednost klimatskog vodnog bilansa kulture, F je verovatnoća pojave vodnog bilansa prema GEV zakonu raspodele, a ξ , α i k su parametri lokacije, razmere i oblika GEV distribucije.

Kao što je već rečeno indeks AD-SPEI_{crop} se bazira na vrednostima klimatskog vodnog bilansa posmatranih poljoprivrednih kultura. Klimatski vodni bilans kultura je veoma važan parametar jer se na osnovu njega mogu odrediti potrebe useva za navodnjavanjem i projektovati sistemi za navodnjavanje kao i drugi hidromelioracioni sistemi. Sa druge strane, stvarne vrednosti vodnog bilansa nisu adekvatan pokazatelj suše jer suša predstavlja odstupanje uslova vlažnosti u odnosu na normalu. Uobičajene vrednosti vodnog bilansa odnosno one koje se normalno javljaju na određenoj lokaciji za posmatranu kulturu mogu biti značajno drugačije na drugoj lokaciji na kojoj vladaju drugačiji klimatski uslovi. Na primer, vrednost klimatskog vodnog bilansa kukuruza sa verovatnoćom pojave od 50% u junu mesecu na Rimskim Šančevima iznosi -27 mm, a ta ista vrednost u Kikindi je -42 mm. Takođe, na primer, vrednost klimatskog vodnog bilansa lucerke sa verovatnoćom pojave od 50% u junu mesecu na Rimskim

Šančevima iznosi -68 mm, a ta ista vrednost u Kikindi je -84 mm. Iako se ove vrednosti vodnih bilansa znatno razlikuju intenziteti suše su isti (vrednosti indeksa su 0, što po kategorizaciji označava normalne uslove vlažnosti) jer sve ove pojave imaju istu verovatnoću pojave, a razlike u stvarnim vrednostima proizilaze zbog različitih klimatskih uslova koji vladaju na ovim lokacijama kao i zbog razlika samih kultura. Da bi vrednosti vodnih bilansa bile uporedive u prostoru i vremenu sa aspekta suše potrebno je izvršiti standardizaciju stvarnih vrednosti koja se u okviru indeksa AD-SPEI_{crop} vrši transformacijom teorijske distribucije verovatnoća u standardizovanu normalnu distribuciju. Zbog postupka standardizacije, vrednosti indeksa AD-SPEI_{crop} različitih kultura, na različitim lokacijama i u različitim vremenskim periodima posmatranja se mogu porediti u cilju analiza i osmatranja pojave suše. Poseban značaj ove modifikacije SPEI indeksa, za razliku od indeksa kao što je originalni SPEI ili SPI, je u tome što se vrednost indeksa suše može transformisati unazad u vrednosti klimatskog vodnog bilansa kultura, na način koji je prethodno prikazan. Ovo može biti od praktičnog značaja u oblasti hidrotehnike i hidrotehničkih melioracija. Kao ilustracija, prostorne i vremenske raspodele vrednosti klimatskih vodnih bilansa kukuruza i lucerke od maja do avgusta meseca veoma sušne 2012. godine prikazane su na Slikama 74 i 75, gde je prikazan ceo region Vojvodine.



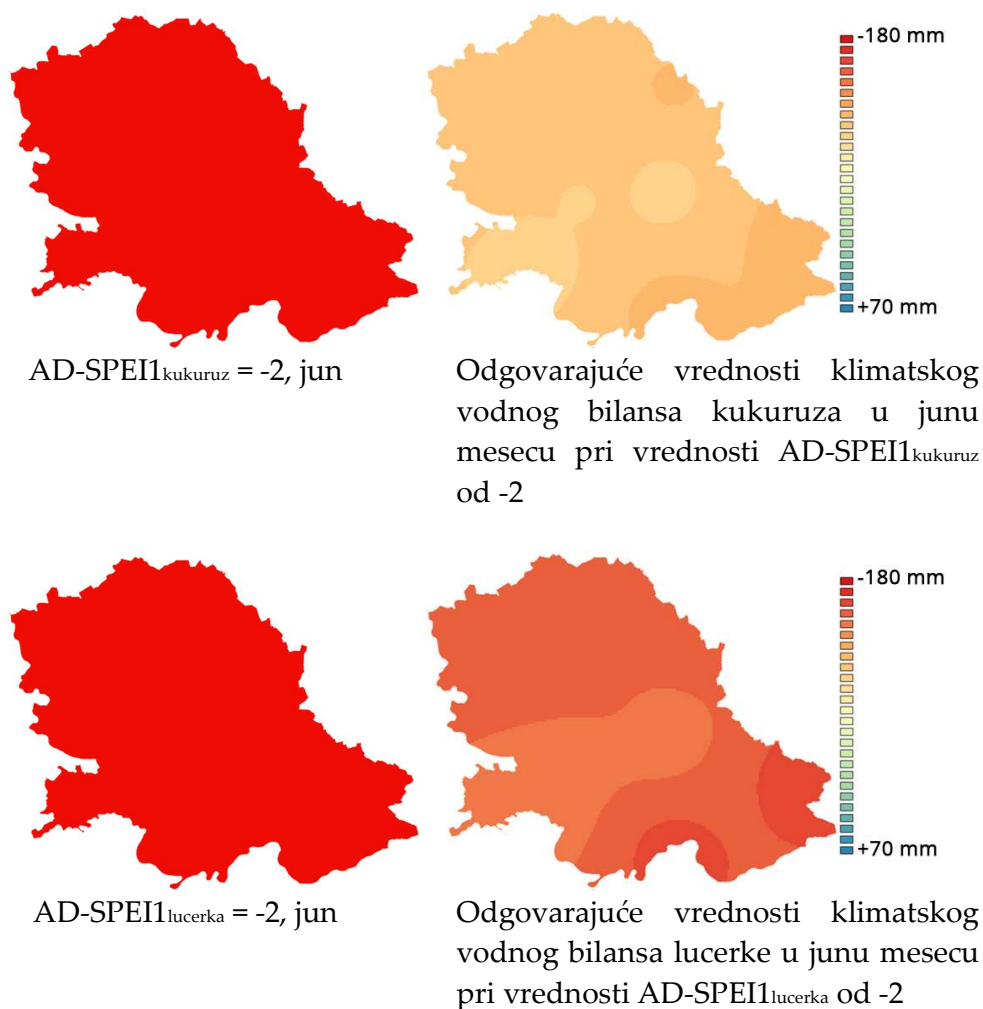
Slika 74. Klimatski vodni bilans kukuruza, maj – avgust 2012.



Slika 75. Klimatski vodni bilans lucerke, maj – avgust 2012.

Vrednosti klimatskog vodnog bilansa u maju mesecu za kukuruz su u opsegu od sušnih uslova (-14 mm u srednjem Banatu) do vlažnih (+67 mm na jugu Vojvodine). Za lucerku u maju mesecu vodni bilans je negativan na celoj teritoriji Vojvodine i kreće se od -11 mm na jugu do -89 mm u srednjem Banatu. U junu mesecu vodni bilans kukuruza je negativan na celoj teritoriji, s tim da je najveći deficit na severu i jugu Vojvodine (od -105 mm do -120 mm), a u srednjem Banatu vrednosti su oko -70 mm. Vodni bilans lucerke u junu mesecu se kreće od oko -120 mm u srednjem Banatu do -155 mm i -175 mm na severu i jugu Vojvodine. Vodni bilans kukuruza u julu mesecu se kreće od oko +30 mm na jugoistoku do oko -120 mm na severozapadu Vojvodine. Vodni bilans lucerke u julu mesecu se kreće od -25 mm na jugoistoku do oko -175 mm na severozapadu i oko -170 mm na jugu Vojvodine. Vodni bilans kukuruza u avgustu mesecu se kreće od oko -125 mm na jugoistoku, severoistoku i severozapadu Vojvodine do oko -135 mm u centralnim i do oko -145 mm u južnim krajevima Vojvodine. Vodni bilans lucerke u avgustu mesecu se kreće od oko -155 mm na jugoistoku, severoistoku i severozapadu Vojvodine do oko -165 mm u centralnim i do oko -175 mm u južnim krajevima Vojvodine.

Na kartama na Slici 76. ilustrovane su razlike u vrednostima klimatskog vodnog bilansa u prostoru i po kulturama pri istim vrednostima indeksa AD-SPEI_{crop}. Pri vrednosti AD-SPEI_{kukuruz} u junu mesecu od -2 na celoj teritoriji Vojvodine, vrednosti klimatskog vodnog bilansa kukuruza se kreću od -95 mm do -115 mm. Pri vrednosti AD-SPEI_{lucerka} u junu mesecu od -2 na celoj teritoriji Vojvodine, vrednosti klimatskog vodnog bilansa lucerke se kreću od -141 mm do -165 mm.



Slika 76. Poređenje indeksa i vrednosti klimatskih vodnih bilansa

Na osnovu vrednosti klimatskog vodnog bilansa kulture može se odrediti hidromodul navodnjavanja koji je neophodan za dimenzionisanje elemenata sistema za navodnjavanje. Hidromodulom navodnjavanja definiše se potrebna sposobnost opreme za navodnjavanje da nadoknadi deficite u vodi i na osnovu njega se vrši dimenzionisanje svih elemenata sistema. Hidromodul se izražava

preko potrebne količine vode u jedinici vremena po jednom hektaru (l/s/ha ili mm/dan):

$$q \text{ (mm/dan)} = \frac{h \text{ (mm)}}{t \text{ (dan)}} \text{ ili } q \text{ (l/s/ha)} = \frac{h \text{ (mm)} \cdot 10000}{t \text{ (dan)} \cdot n \cdot 3600} \quad (67)$$

gde su q hidromodul navodnjavanja, h potrebne količine vode, t je broj dana, a n je efektivno radno vreme uređaja za zalivanje, odnosno trajanje zalivanja u toku dana izraženo u časovima.

Sistemi za navodnjavanje se dimenzionišu na osnovu potreba useva za vodom u kritičnim mesecima, a to su na području Vojvodine meseci jul i avgust, tako da broj dana iznosi 31. Kod savremenih sistema za navodnjavanje maksimalno efektivno radno vreme mašina se usvaja da traje oko 22 časa u toku dana. Za područje Vojvodine, najčešće vrednosti hidromodula navodnjavanja iznose oko 0,5 – 0,6 l/s/ha (Kolaković, 2006). Mogućnosti navodnjavanja iz hidrosistema DTD projektovane su na osnovu vrednosti hidromodula od 0,5 l/s/ha (Milovanov, 1972).

U nastavku dati su primeri primene indeksa AD-SPEI_{crop} u analizi mogućnosti zalivnih sistema u borbi protiv suše. Ako se usvoji da je sistem za navodnjavanje projektovan na osnovu vrednosti hidromodula od 0,6 l/s/ha, mesečne količine vode koju sistem može da isporuči iznose:

$$h = \frac{q \cdot t \cdot n \cdot 3600}{10000} = \frac{0,6 \text{ (l/s/ha)} \cdot 31 \text{ (dan)} \cdot 22 \cdot 3600}{10000} = 147 \text{ mm} \quad (68)$$

Ova vrednost ($h = 147$ mm) predstavlja bruto količinu vode, međutim potrebno je uračunati i efikasnost sistema za navodnjavanje, koja kod savremenih automatizovanih mašina sa linearnim i kružnim kretanjem iznosi oko 90%, kod sistema "kap po kap" oko 95%, kod uređaja tipa *Tifon* iznosi oko 75%, itd. Ako se usvoji efikasnost sistema od 90% ($E = 0,9$) mesečne količine vode iznose:

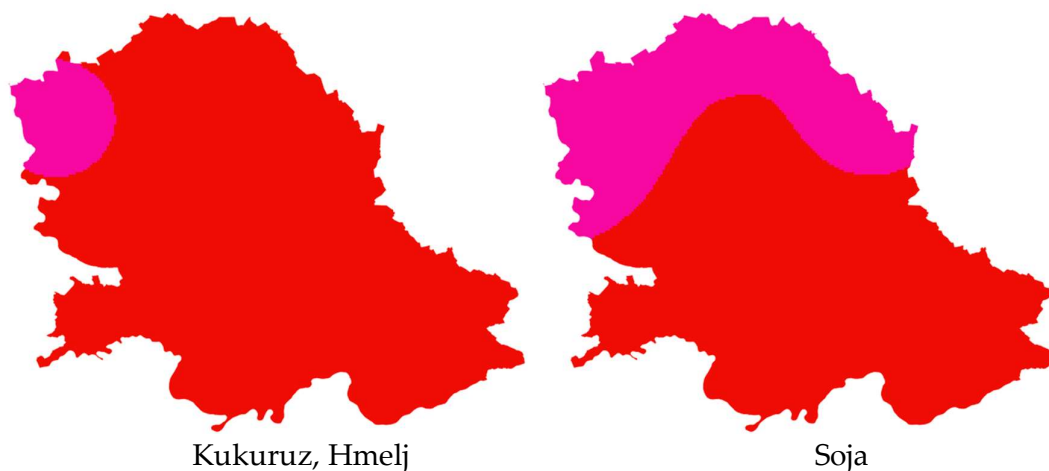
$$h = \frac{q \cdot t \cdot n \cdot 3600}{10000} \cdot E = \frac{0,6 \text{ (l/s/ha)} \cdot 31 \text{ (dan)} \cdot 22 \cdot 3600}{10000} \cdot 0,9 = 133 \text{ mm} \quad (69)$$

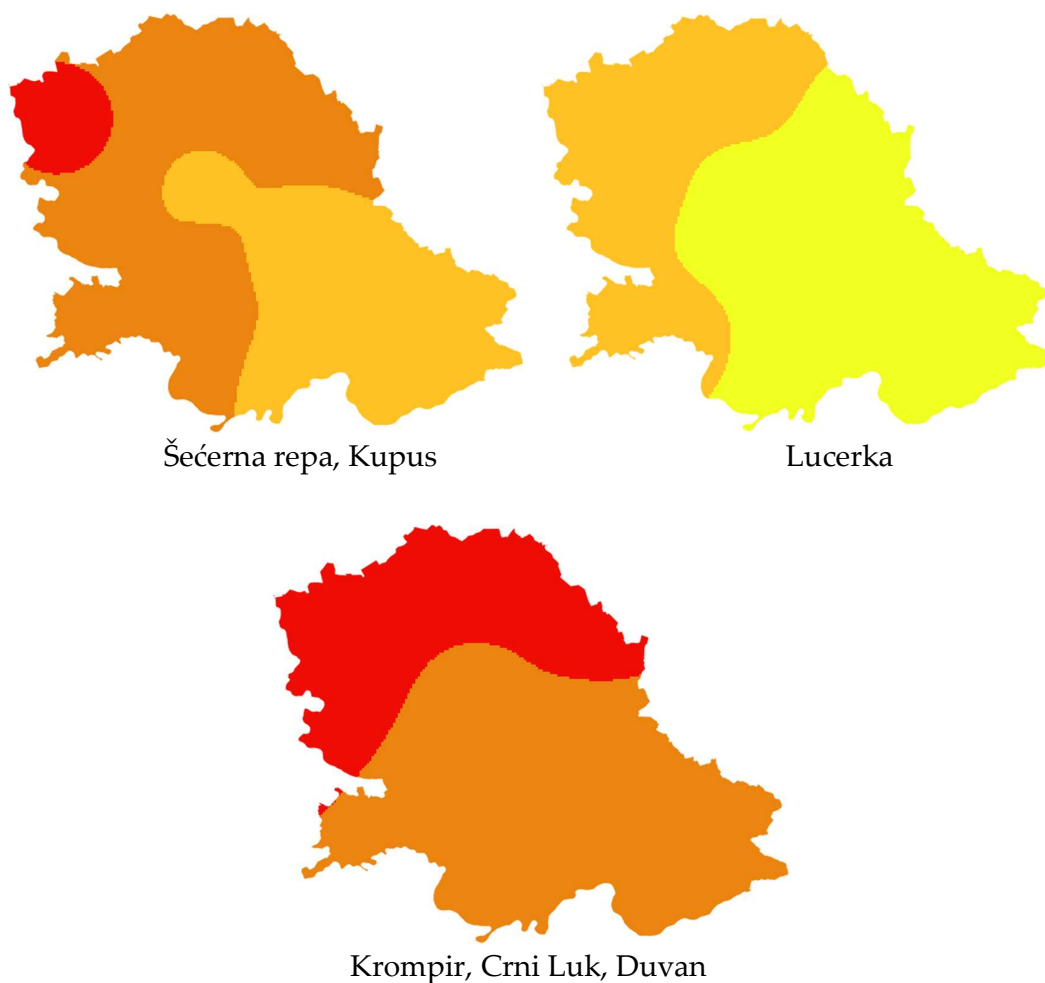
Ova vrednost odgovara mesečnom deficitu vode u vodnom bilansu kultura koje sistem može da nadoknadi i za koju se mogu odrediti vrednosti indeksa suše AD-SPEI_{crop} za svaku posmatranu kulturu na određenom području. Na primer, vrednosti mesečnog deficita vodnog bilansa od 133 mm u avgustu mesecu odgovara vrednost AD-SPEI_{crop} za kukuruz na Rimskim Šančevima u avgustu mesecu od -1,77. U julu mesecu za istu kulturu i za isto područje vrednost indeksa je -2,41. Ovi rezultati govore da sistem za navodnjavanje

može efikasno da odbrani kukuruz od suše intenziteta od -2,41 (kategorija izuzetne suše) u julu mesecu, a u avgustu mesecu od suše intenziteta -1,77 (kategorija ekstremne suše) na posmatranom području.

Vrednosti mesečnog deficita vodnog bilansa od 133 mm u avgustu mesecu odgovara vrednost $AD-SPEI_{1crop}$ za šećernu repu u Zrenjaninu u avgustu mesecu od -1,23. U julu mesecu za istu kulturu i za isto područje vrednost indeksa je -1,42. Ovi rezultati govore da sistem za navodnjavanje može efikasno da odbrani šećernu repu od suše intenziteta od -1,42 (kategorija jake suše) u julu mesecu, a u avgustu mesecu od suše intenziteta -1,23 (kategorija umerene suše) na posmatranom području.

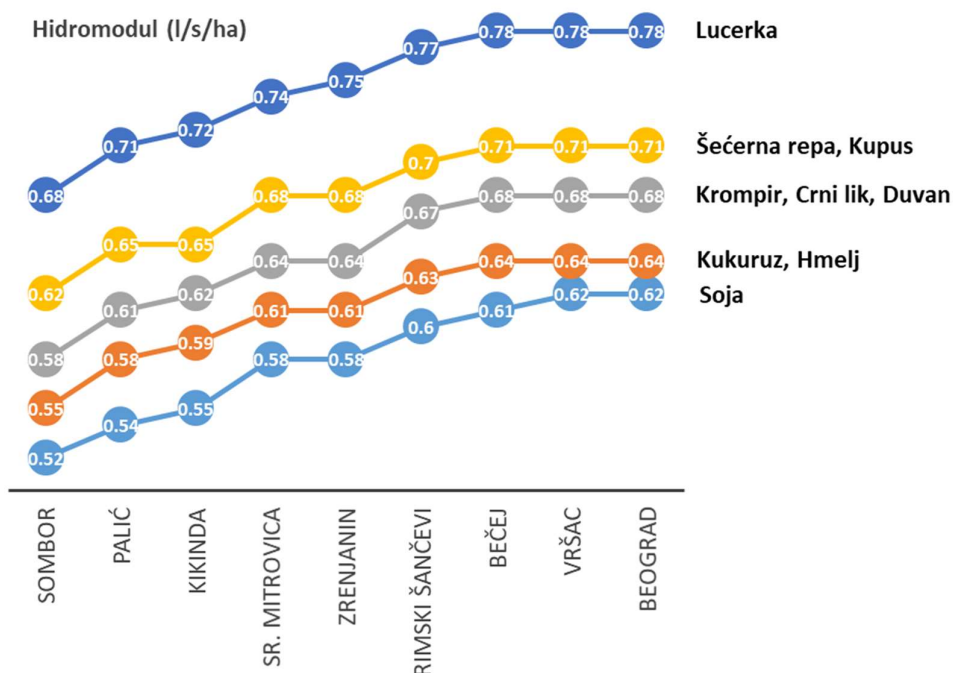
Na kartama (Slika 77) prikazane su kategorije suše u avgustu mesecu do koje bi sistemi za navodnjavanje, projektovani na osnovu hidromodula navodnjavanja od 0,6 l/s/ha, mogli uspešno da odbrane poljoprivredne useve. Usevi na kartama su grupisani prema vrednostima Hidrofitotermičkih koeficijenata u avgustu mesecu. Najmanji stepen zaštite sistemi za navodnjavanje pružaju kulturama sa najvećim zahtevima za vodom izraženo preko hidrifitotermičkih koeficijenata, a to je lucerka. Sistemi za navodnjavanje projektovani sa hidromodulom navodnjavanja od 0,6 l/s/ha mogu da zaštite lucerku od sušnih do umereno sušnih uslova. Zatim, sistemi za navodnjavanje mogu da zaštite šećernu repu i kupus od umereno sušnih na jugo-istoku Vojvodine do ekstremno sušnih uslova na severo-zapadu. Sistemi za navodnjavanje mogu da zaštite krompir, crni luk i duvan od jake suše u centralnim i južnim krajevima do ekstremno sušnih uslova na severu Vojvodine. Sistemi za navodnjavanje mogu da zaštite kukuruz i hmelj od ekstremne suše u najvećem delu Vojvodine pa do izuzetne suše na severo-zapadu Vojvodine. Sistemi za navodnjavanje pružaju najveći stepen zaštite od suše soji koju mogu da zaštite od ekstremne suše u centralnim i južnim krajevima pa do izuzetne suše na severu Vojvodine.





Slika 77. Kategorije suše u avgustu mesecu do koje bi sistemi za navodnjavanje mogli uspešno da odbrane poljoprivredne useve, hidromodul navodnjavanja od 0,6 l/s/ha

Na dijagramu na Slici 78 prikazane su neophodne vrednosti hidromodula navodnjavanja na osnovu kojih bi sistemi za navodnjavanje (savremene automatizovane mašine sa linearnim ili kružnim kretanjem sa efikasnošću zalivanja od 90%) trebali biti projektovani da bi se poljoprivredne kulture zaštitile od ekstremne suše, odnosno od vrednosti indeksa AD-SPEI_{crop} do -2. Vrednosti hidromodula navodnjavanja se kreću od oko 0,5 l/s/ha za soju u okolini Sombora pa do oko 0,8 l/s/ha za lucerku u okolini Beograda.



Slika 78. Hidromoduli navodnjavanja vezani za $AD-SPEI_{crop} = -2$

6.3.3. Faza III - Validacija predloženog pristupa

6.3.3.1. Korak I - Poređenje indeksa sa relevantnim parametrima u cilju validacije

U ovom koraku vrši se odabir relevantnih parametara (prinosi, istorijski zabeležene suše, potrebe za navodnjavanjem, povratne informacije od strane stručnjaka itd.) koji bi bili upoređeni sa novim indeksom u cilju validacije, odnosno provere njegove efikasnosti u praksi. U okviru primene predloženog pristupa na području Vojvodine, u ovoj disertaciji, definisano je da se odabir relevantnih parametara vrši na osnovu njihove dostupnosti i kvaliteta na području od interesa i iz tog razloga u ovom radu su odabrani javno dostupni prinosi značajnijih kultura u Vojvodini koji se mogu pronaći u statističkim godišnjacima i sličnim publikacijama.

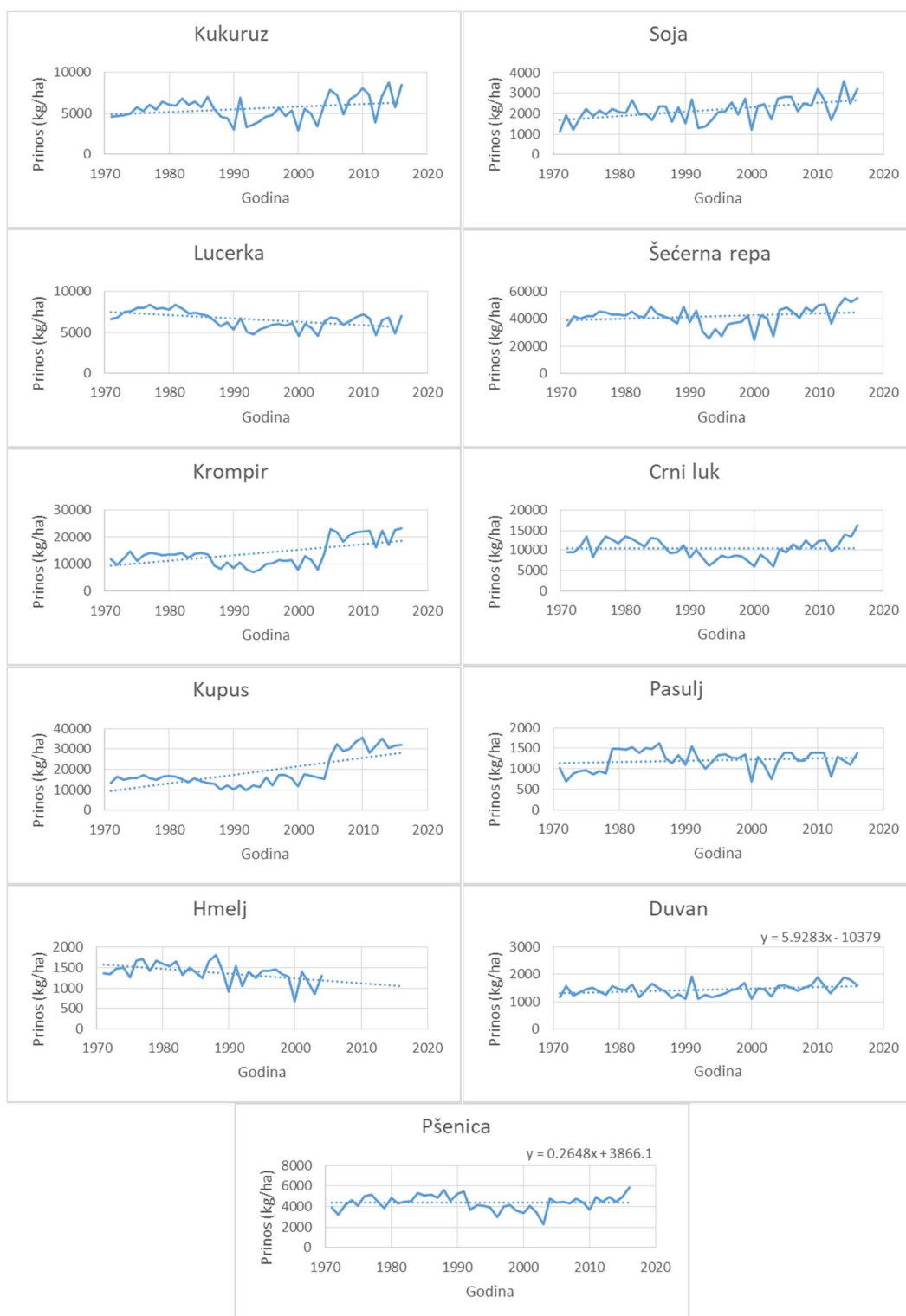
Nakon dobijanja rezultata modifikovanog SPEI indeksa ($AD-SPEI_{crop}$) koji je prilagođen za određeno područje od interesa i vezan za određenu kulturu, izvršeno je poređenje sa dostupnim podacima o prinosima kultura. Prvo je izvršeno poređenje rezultata indeksa sa prosečnim prinosima za teritoriju Vojvodine, a zatim je izvršeno poređenje sa prosečnim prinosima na nivou opština u Vojvodini kako bi se dobili lokalno detaljniji rezultati.

6.3.3.1.1. Poređenje indeksa AD-SPEI_{crop} sa prosečnim prinosima za teritoriju Vojvodine

Da bi se analizirao samo uticaj klimatskih uslova na prinos kultura, kako Potopová i sar. (2016) citiraju autore Lobell i Asner (2003), neophodno je ukloniti trendove u vremenskim serijama prinosa. Isto tako za potrebe razvoja statističkih modela zasnovanih na vremenskim serijama prinosa kultura neophodno je odvojiti uticaj tehnološkog razvoja od uticaja vremenskih prilika (Hill i sar., 1980). Razvoj i napredak poljoprivredne proizvodnje, kao što je veći i češći unos sredstava za prihranu biljaka, korišćenje novih sorti, pojačano suzbijanje korova i poboljšana obrada zemljišta najčešće dovodi do pojave uzlaznih trendova poljoprivredne proizvodnje, odnosno do pojave trenda porasta prinosa poljoprivrednih kultura (Potopová i sar., 2015). Autori Potopová i sar. (2015), Hill i sar. (1980), Sun i sar. (2012), Wu i sar. (2004), Liu i sar. (2018), Bezdan i Bezdan (2019) su trend porasta prinosa usled tehnološkog razvoja uklanjali korišćenjem linearne regresije. U ovoj disertaciji su trendovi u vremenskim serijama prinosa kultura uklonjeni takođe korišćenjem linearne regresije, a dobijeni reziduali "de-trendovanih" serija prinosa su dalje korišćeni u analizama.

Varijacija reziduala odražava uticaj vremenskih prilika na prinose, a reziduali ukazuju na odstupanje prinosa od prinosa u godinama sa normalnim vremenskim prilikama (Potopová i sar., 2015). Pozitivne vrednosti reziduala prinosa znače da je prinos viši od višegodišnjeg prosečnog prinosa, a negativne vrednosti znače da je prinos ispod prosečnog prinosa. Veća apsolutna vrednost reziduala prinosa znači i veće odstupanje od prosečnog prinosa (Wu i sar., 2004).

U ovoj disertaciji analizirane su sledeće kulture: kukuruz, soja, šećerna repa, lucerka, krompir, crni luk, kupus, pasulj, hmelj, duvan i ozima pšenica. U nastavku, u Tabeli 17 i na dijagramima (Slika 79), dat je prikaz trendova prosečnih prinosa u Vojvodini za period od 1971 do 2016. godine, osim za hmelj za koji postoje podaci o prinosima od 1971 do 2004. godine. Prosečni prinosi kultura po godinama preuzeti su iz Republičkog zavoda za statistiku Srbije i odnose se za celu teritoriju Vojvodine.



Slika 79. Dijagrami prosečnih prinosa kultura (kukuruz, soja, šećerna repa, lucerka, krompir, crni luk, kupus, pasulj, duvan, ozima pšenica) u Vojvodini od 1971 do 2016. godine i hmelj od 1971 do 2004

Tabela 17. Tendencija prinosa posmatranih kultura (kukuruz, soja, šećerna repa, lucerka, krompir, crni luk, kupus, pasulj, duvan, ozima pšenica) u Vojvodini od 1971 do 2016. godine i hmelj od 1971 do 2004.

Kulture	Trend (%)	t ₁ (kg/ha)	t ₂ (kg/ha)	Min (kg/ha)	Prosek (kg/ha)	Max (kg/ha)
Kukuruz	+29	4925	6341	2938	5632	8800
Soja	+59	1675	2667	1107	2170	3600
Šećerna repa	+15	38925	44770	24709	41857	55600
Lucerka	-25	7459	5597	4551	6529	8390
Krompir	+99	9303	18489	7202	13891	23300
Crni luk	0	10439	10393	5928	10415	16300
Kupus	+196	9567	28292	9875	18910	35600
Pasulj	+11	1145	1276	681	1211	1630
Hmelj	-25	1578	1188	687	1382	1806
Duvan	+20	1306	1572	1098	1439	1917
Pšenica	0	4388	4400	2304	4394	5900

(t₁) početna i (t₂) krajnja vrednost trenda prinosa

Trend porasta prinosa usled napretka u tehnologijama poljoprivredne proizvodnje, u periodu od 1917 do 2016. godine u Vojvodini, zabeležen je kod kukuruza, soje, šećerne repe, krompira, kupusa, pasulja i duvana. Najveći porast prinosa zabeležen je kod kupusa i krompira. Kod crnog luka i pšenice nisu zabeleženi trendovi promene prinosa, a kod lucerke i hmelja zabeležen je opadajući trend prinosa.

U prethodnim poglavljima, modifikovani SPEI indeksi su izračunati za neke od značajnih ratarskih i povrtarskih kultura u Vojvodini (kukuruz, soja, šećerna repa, lucerka, krompir, crni luk, kupus, pasulj, hmelj, duvan i ozima pšenica). Indeksi su računati za periode akumulacije pri proračunu vodnog bilansa od jednog, dva i tri meseca u vegetacionom periodu kultura (mart – septembar) od 1971 do 2016. godine. Za računanje indeksa korišćeni su meteorološki podaci sa 9 stanica, u prethodnim poglavljima već spomenutih, koje se nalaze na posmatranom području.

Povezanost modifikovanih indeksa SPEI sa prinosima analiziranih poljoprivrednih kultura ocenjena je na osnovu Pearson-ovog koeficijenta korelacije r za nivoe značajnosti od $\alpha = 0,05$ i $\alpha = 0,10$. Za ove potrebe, a prema uzoru na radove Potopová i sar. (2015), Potopová i sar. (2016), Chen i sar. (2016), Wu i sar. (2004), Sun i sar. (2012), Liu i sar. (2018), korišćene su agregirane vrednosti indeksa (prosečne vrednosti) za teritoriju Vojvodine i prosečni prinosi analiziranih kultura u Vojvodini. U Tabeli 18 prikazane su

vrednosti Pearson-ovog koeficijenta korelacije između modifikovanih indeksa SPEI i “de-trendovanih” prinosa analiziranih kultura.

Rezultati pokazuju da postoji statistički značajna korelacija između indeksa AD-SPEI_{crop} i prinosa posmatranih kultura u Vojvodini. Najveći stepen korelacije prinosa kukuruza je sa indeksom sa tromesečnim periodom akumulacije AD-SPEI_{3kukuruz} u mesecima jul i avgust ($r = 0,57 - 0,62$) kada je kukuruz u fazi svilanja i ima najveće potrebe za vodom.

Slično kao i za kukuruz, korelacija prinosa soje i indeksa AD-SPEI_{crop} je statistički značajna. Najveće vrednosti koeficijenta korelacije r se odnose na AD-SPEI_{3soja} ($r = 0,74 - 0,75$) i AD-SPEI_{2soja} ($r = 0,65 - 0,74$ u julu i avgustu kada se soja nalazi u fazama razvoja od cvetanja do nalivanja zrna kada je najosetljivija na sušu.

Najveće vrednosti koeficijenta korelacije r između prinosa šećerne repe i indeksa AD-SPEI_{crop} se odnose na AD-SPEI_{3š.repa} ($r = 0,48 - 0,56$) u julu i avgustu i AD-SPEI_{2š.repa} ($r = 0,39 - 0,54$) od juna do avgusta u fazama kada se obrazuje lisna masa i odvija intenzivan prirast korena i kada je biljka u kritičnom periodu za navodnjavanje.

Najveće vrednosti koeficijenta korelacije r između prinosa lucerke i indeksa AD-SPEI_{crop} se odnose na AD-SPEI_{3lucerka} ($r = 0,53 - 0,58$) u julu i avgustu i AD-SPEI_{2lucerka} ($r = 0,45 - 0,55$) od juna do avgusta kada su najveće potrebe lucerke za vodom.

Najveći stepen korelacije prinosa krompira je postignut sa indeksima AD-SPEI_{2krompir} u junu ($r = 0,37$), AD-SPEI_{3krompir} u julu ($r = 0,30$) i AD-SPEI_{1krompir} u avgustu ($r = 0,35$) kada se krompir nalazi u fazama razvoja kada najviše troši vodu.

Najveći stepen korelacije prinosa crnog luka je postignut sa indeksima AD-SPEI_{1luk} u maju ($r = 0,45$) i AD-SPEI_{2luk} u junu ($r = 0,45$) u fazama porasta i formiranja lukovica kada suša može značajno da umanja prinose.

Statistički značajna korelacija između prinosa kupusa je postignuta sa AD-SPEI_{1kupus} u avgustu mesecu ($r = 0,32$) i tada je kupus najosetljiviji na pojavu suše.

Statistički značajna korelacija između prinosa pasulja je postignuta sa AD-SPEI_{1pasulj} u junu ($r = 0,45$) i AD-SPEI_{2pasulj} u julu ($r = 0,40$).

Najveći stepen korelacije prinosa hmelja je postignut sa indeksima AD-SPEI₁^{hmelj} u aprilu, AD-SPEI₂^{hmelj} u maju i AD-SPEI₃^{hmelj} u junu ($r = 0,49$), kao i i AD-SPEI₃^{hmelj} u julu ($r = 0,34$) kada su i najveće potrebe hmelja za vodom.

Najveće vrednosti koeficijenta korelacije r između prinosa duvana i indeksa AD-SPEI_{crop} se odnose na AD-SPEI₁^{duvan} ($r = 0,46$) u maju mesecu u vreme posle rasađivanja i AD-SPEI₃^{duvan} ($r = 0,60$) u julu AD-SPEI₂^{duvan} ($r = 0,67$) u avgustu mesecu u fazama bujnog porasta.

Statističko značajno slaganje između prinosa ozime pšenice i indeksa AD-SPEI_{crop} je zabeleženo sa AD-SPEI₂^{pšenica} u aprilu ($r = 0,29$) kada je pšenica u fazi vlatanja, sa AD-SPEI₃^{pšenica} u maju ($r = 0,49$) i sa AD-SPEI₂^{pšenica} u junu ($r = 0,51$) kada je u fazama klasanja i nalivanja zrna i kada su potrebe za vodom najveće.

Tabela 18. Koeficijenti korelacije r između indeksa AD-SPEI_{crop} i “de-trendovanih” prinosa kultura (kukuruz, soja, šećerna repa, lucerka, krompir, crni luk, kupus, pasulj, duvan, ozima pšenica) u Vojvodini od 1971 do 2016. godine i hmelj od 1971 do 2004.

Period akumulacije	Indeks Mesec	Kukuruz	Soja	Šećerna repa	Lucerka	Krompir	Crni luk	Kupus	Pasulj	Hmelj	Pšenica	Duvan
		1	Mar	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Apr	-	-	-	-	-	0,05	-	-	0,49	0,14	-
	Maj	0,42	0,48	0,51	0,44	0,31	0,45	-	-	0,29	0,45	0,46
	Jun	0,36	0,36	0,34	0,45	0,31	0,31	-	0,45	0,35	0,37	0,16
	Jul	0,39	0,55	0,22	0,29	0,01	-0,04	-0,02	0,16	-0,03	-	0,49
	Avg	0,49	0,63	0,46	0,45	0,35	0,24	0,32	-	0,36	-	0,57
	Sep	-0,10	0,02	-0,01	-0,03	-0,12	-	-0,08	-	-	-	-0,1
2	Apr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,29	-
	Maj	-	-	-	-	-	0,38	-	-	0,49	0,42	-
	Jun	0,51	0,55	0,54	0,55	0,37	0,48	-	-	0,40	0,51	0,40
	Jul	0,51	0,65	0,39	0,47	0,20	0,18	-	0,40	0,24	-	0,49
	Avg	0,54	0,74	0,43	0,45	0,22	0,13	0,18	-	0,20	-	0,67
	Sep	0,30	0,47	0,31	0,30	0,16	-	0,16	-	-	-	0,34
3	Maj	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,49	-
	Jun	-	-	-	-	-	0,43	-	-	0,49	0,49	-
	Jul	0,62	0,75	0,56	0,58	0,30	0,36	-	-	0,34	-	0,60
	Avg	0,57	0,74	0,48	0,53	0,30	0,21	-	-	0,31	-	0,60
	Sep	0,43	0,67	0,37	0,38	0,12	-	0,12	-	-	-	0,55

$\alpha = 0,05$

$\alpha = 0,10$

6.3.3.1.2. Poređenje indeksa AD-SPEI_{crop} sa prinosima na nivou opština

Povezanost indeksa AD-SPEI_{crop} sa prinosima poljoprivrednih kultura je analizirana i na lokalnom nivou, na nivou opština. Uzete su u razmatranje opštine u kojima se nalaze meteorološke stanice Republičkog hidrometeorološkog zavoda Srbije sa kojih su uzeti podaci za izračunavanje

modifikovanih indeksa SPEI. To su opštine Novi Sad, Subotica, Sombor, Bečej, Kikinda, Zrenjanin, Vršac, Sremska Mitrovica i Beograd. Za ove opštine su prikupljeni prosečni godišnji prinosi sledećih kultura: kukuruz, šećerna repa, lucerka, krompir, pasulj i ozima pšenica. Podaci o prosečnim godišnjim prinosima na nivou opština preuzeti su iz Statističkih godišnjaka Republičkog zavoda za statistiku Srbije, u kojima postoje podaci o prinosima u digitalnoj (tabelarnoj) formi za period od 1996 do 2013. godine. Pored pomenutih kultura, u analizu su uzeti u razmatranje i podaci o prinosima soje sa eksperimentalnih polja Instituta za ratarstvo i povrtarstvo na Rimskim Šančevima za period od 1977 do 2004. godine. Povezanost indeksa AD-SPEI_{crop} sa prinosima analiziranih poljoprivrednih kultura u posmatranim opštinama ocenjena je na osnovu Pearson-ovog koeficijenta korelacije r za nivoe značajnosti od $\alpha = 0,05$ i $\alpha = 0,10$.

Kao i u slučaju korelacione analize na nivou cele teritorije Vojvodine, da bi se analizirao samo uticaj klimatskih uslova na prinos kultura, u vremenskim serijama prinosa na opštinskom nivou su trendovi uklonjeni korišćenjem linearne regresije a dobijeni reziduali "de-trendovanih" serija prinosa su dalje korišćeni u analizama. Rezultati korelacione analize su prikazani u Tabelama 19-25.

Tabela 19. Koeficijenti korelacije r između indeksa AD-SPEI_{crop} i "de-trendovanih" prinosa kukuruza po opštinama u Vojvodini za period od 1996 do 2013. godine

Opština	AD-SPEI _{1kukuruz}					AD-SPEI _{2kukuruz}				AD-SPEI _{3kukuruz}		
	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Jun	Jul	Avg	Sep	Jul	Avg	Sep
Subotica	0,32	0,73	0,52	0,59	0,30	0,67	0,74	0,67	0,61	0,79	0,78	0,70
Zrenjanin	0,49	0,64	0,33	0,56	-0,12	0,61	0,60	0,56	0,34	0,62	0,69	0,48
Kikinda	0,42	0,51	0,30	0,69	-0,02	0,55	0,55	0,60	0,43	0,60	0,67	0,49
Vršac	-0,08	0,60	0,16	0,65	-0,14	0,49	0,49	0,52	0,45	0,45	0,65	0,48
Sombor	0,12	0,68	0,56	0,61	0,30	0,60	0,77	0,71	0,57	0,71	0,79	0,66
Novi Sad	0,40	0,58	0,32	0,44	0,40	0,58	0,55	0,48	0,52	0,63	0,59	0,58
Bečej	0,19	0,61	0,29	0,46	0,13	0,56	0,67	0,56	0,37	0,68	0,69	0,46
Sr. Mitrovica	0,29	0,60	0,53	0,50	0,07	0,59	0,70	0,69	0,37	0,65	0,72	0,55
Beograd	-0,11	0,56	0,42	0,55	-0,21	0,41	0,51	0,59	0,27	0,61	0,46	0,46

$\alpha = 0,05$

$\alpha = 0,10$

Tabela 20. Koeficijenti korelacije r između indeksa AD-SPEI_{crop} i “de-trendovanih” prinosa ozime pšenice po opštinama u Vojvodini za period od 1996 do 2013. godine

Opština	AD-SPEI1 _{pšenica}				AD-SPEI2 _{pšenica}			AD-SPEI3 _{pšenica}		
	Mar	Apr	Maj	Jun	Apr	Maj	Jun	Apr	Maj	Jun
Subotica	0,38	0,33	0,39	0,37	0,48	0,46	0,42	0,13	0,55	0,49
Zrenjanin	0,39	0,38	0,44	0,31	0,58	0,44	0,32	0,22	0,53	0,38
Kikinda	0,44	0,32	0,22	0,00	0,56	0,40	0,12	0,22	0,47	0,17
Vršac	0,26	0,45	0,08	0,13	0,55	0,47	0,13	0,25	0,54	0,32
Sombor	0,21	0,40	-0,10	0,17	0,59	0,41	0,12	-0,03	0,40	0,21
Novi Sad	0,18	0,48	0,31	0,29	0,56	0,53	0,32	0,30	0,55	0,47
Bečej	0,22	0,34	0,09	0,06	0,48	0,47	0,16	0,13	0,45	0,27
Sr, Mitrovica	0,15	0,31	0,47	0,10	0,41	0,50	0,31	-0,06	0,51	0,39
Beograd	0,06	0,22	0,40	0,09	0,41	0,43	0,24	-0,16	0,45	0,28

$\alpha = 0,05$

$\alpha = 0,10$

Tabela 21. Koeficijenti korelacije r između indeksa AD-SPEI_{crop} i “de-trendovanih” prinosa šećerne repe po opštinama u Vojvodini za period od 1996 do 2013. godine

Opština	AD-SPEI1 _{š.repa}					AD-SPEI2 _{š.repa}				AD-SPEI3 _{š.repa}		
	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Jun	Jul	Avg	Sep	Jul	Avg	Sep
Subotica	0,48	0,77	0,42	0,66	0,42	0,77	0,71	0,64	0,70	0,82	0,79	0,71
Zrenjanin	0,35	0,48	0,35	0,35	-0,10	0,43	0,53	0,44	0,18	0,51	0,54	0,36
Kikinda	0,47	0,48	0,06	0,51	-0,14	0,56	0,38	0,34	0,23	0,48	0,47	0,21
Vršac	-0,06	0,71	0,11	0,50	0,07	0,59	0,55	0,41	0,49	0,50	0,64	0,49
Sombor	0,29	0,58	0,53	0,58	0,41	0,60	0,67	0,66	0,59	0,67	0,70	0,67
Novi Sad	0,38	0,63	0,53	0,43	0,28	0,61	0,69	0,61	0,45	0,73	0,69	0,60
Bečej	0,49	0,55	0,14	0,48	0,32	0,73	0,50	0,56	0,51	0,75	0,64	0,57
Sr, Mitrovica	0,39	0,63	0,42	0,15	0,16	0,66	0,67	0,74	0,49	0,65	0,80	0,60
Beograd	0,01	0,72	0,36	0,69	-0,15	0,60	0,55	0,65	0,42	0,71	0,70	0,53

$\alpha = 0,05$

$\alpha = 0,10$

Tabela 22. Koeficijenti korelacije r između indeksa AD-SPEI_{crop} i “de-trendovanih” prinosa lucerke po opštinama u Vojvodini za period od 1996 do 2013. godine

Opština	AD-SPEI1 _{lucerka}				AD-SPEI2 _{lucerka}				AD-SPEI3 _{lucerka}			
	Maj	Jun	Jul	Sep	Jun	Jul	Avg	Sep	Jul	Avg	Sep	
Subotica	0,41	0,66	0,53	0,51	0,35	0,64	0,66	0,61	0,56	0,76	0,68	0,66
Zrenjanin	0,32	0,43	0,26	0,45	-0,17	0,34	0,21	0,45	0,25	0,31	0,42	0,33
Kikinda	0,57	0,58	-0,06	0,52	0,20	0,66	0,40	0,28	0,47	0,53	0,51	0,33
Vršac	0,18	0,30	0,03	0,47	-0,21	0,09	0,03	0,30	0,13	0,11	0,18	0,22
Sombor	0,14	0,44	0,33	0,42	-0,02	0,30	0,37	0,32	0,19	0,32	0,40	0,28
Novi Sad	0,19	-0,03	0,03	0,43	-0,14	0,01	-0,04	0,15	0,07	0,03	0,06	0,06
Bečej	0,18	0,54	-0,07	0,50	0,26	0,50	0,29	0,37	0,47	0,41	0,46	0,40
Sr, Mitrovica	0,19	0,45	0,31	0,50	0,15	0,32	0,35	0,55	0,38	0,31	0,45	0,44
Beograd	-0,07	0,60	0,41	0,64	-0,16	0,45	0,59	0,66	0,34	0,63	0,62	0,53

$\alpha = 0,05$

$\alpha = 0,10$

Tabela 23. Koeficijenti korelacije r između indeksa AD-SPEI_{crop} i “de-trendovanih” prinosa krompira po opštinama u Vojvodini za period od 1996 do 2013. godine

Opština	AD-SPEI1 _{krompir}				AD-SPEI2 _{krompir}				AD-SPEI3 _{krompir}			
	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Jun	Jul	Avg	Sep	Jul	Avg	Sep
Subotica	0,59	0,43	0,16	0,45	0,29	0,57	0,36	0,37	0,51	0,56	0,44	0,46
Zrenjanin	0,61	0,55	0,06	0,45	-0,17	0,54	0,36	0,31	0,21	0,42	0,47	0,21
Kikinda	0,16	0,15	0,01	0,41	-0,26	0,17	0,09	0,29	0,12	0,13	0,25	0,11
Vršac	0,28	0,66	0,30	0,67	-0,06	0,65	0,61	0,62	0,44	0,62	0,74	0,55
Sombor	0,23	0,72	0,40	0,60	0,17	0,68	0,70	0,58	0,47	0,67	0,73	0,52
Novi Sad	0,20	0,31	0,20	0,41	-0,06	0,27	0,32	0,37	0,23	0,35	0,40	0,29
Bečej	0,26	0,81	0,01	0,62	0,12	0,76	0,65	0,57	0,47	0,69	0,77	0,46
Sr, Mitrovica	0,47	0,71	0,24	0,66	0,25	0,75	0,63	0,62	0,65	0,66	0,78	0,64
Beograd	-0,03	0,70	0,15	0,66	0,05	0,56	0,38	0,49	0,47	0,54	0,61	0,45

$\alpha = 0,05$

$\alpha = 0,10$

Tabela 24. Koeficijenti korelacije r između indeksa AD-SPEI_{crop} i “de-trendovanih” prinosa pasulja po opštinama u Vojvodini za period od 1996 do 2013. godine

Opština	AD-SPEI1 _{pasulj}		AD-SPEI2 _{pasulj}
	Jun	Jul	Jul
Subotica	0,45	0,43	0,49
Zrenjanin	0,63	0,02	0,60
Kikinda	0,53	0,01	0,41
Vršac	0,14	0,07	0,12
Sombor	0,56	0,35	0,57
Novi Sad	0,55	0,36	0,52
Bečej	0,11	0,16	0,20
Sr, Mitrovica	0,50	0,50	0,61
Beograd	0,66	0,29	0,58

$\alpha = 0,05$

$\alpha = 0,10$

Tabela 25. Koeficijenti korelacije r između indeksa AD-SPEI_{crop} i “de-trendovanih” prinosa soje na Institutu za ratarstvo i povrtarstvo na Rimskim Šančevima, (opština Novi Sad) za period od 1977 do 2004. godine

Opština	AD-SPEI1 _{soja}				AD-SPEI2 _{soja}				AD-SPEI3 _{soja}			
	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Jun	Jul	Avg	Sep	Jul	Avg	Sep
Novi Sad	0,29	0,31	0,51	0,48	0,27	0,34	0,63	0,67	0,54	0,62	0,72	0,72

$\alpha = 0,05$

$\alpha = 0,10$

Rezultati u Tabeli 19 pokazuju da statistički značajna veza, na osnovu praga značajnosti od $\alpha = 0,05$, postoji između prinosa kukuruza u svim posmatranim opštinama u Vojvodini i indeksa AD-SPEI1_{kukuruz} u junu, AD-SPEI2_{kukuruz} u julu i avgustu mesecu, a na osnovu praga značajnosti od $\alpha = 0,10$ i sa indeksima AD-SPEI1_{kukuruz} u avgustu, AD-SPEI2_{kukuruz} u junu i indeksima AD-SPEI3_{kukuruz} od jula do septembra.

Rezultati u Tabeli 20 pokazuju da statistički značajna veza, na osnovu praga značajnosti od $\alpha = 0,05$, postoji između prinosa pšenice u 89% posmatranih

opština u Vojvodini i indeksa AD-SPEI2_{pšenica} u aprilu mesecu, a 11% na osnovu praga značajnosti od $\alpha = 0,10$. Statistički značajna veza, na osnovu praga značajnosti od $\alpha = 0,05$, postoji između prinosa pšenice u 78% posmatranih opština u Vojvodini i indeksa AD-SPEI3_{pšenica} u maju mesecu, a 22% na osnovu praga značajnosti od $\alpha = 0,10$. Statistički značajna veza, na osnovu praga značajnosti od $\alpha = 0,05$, postoji između prinosa pšenice u 56% posmatranih opština u Vojvodini i indeksa AD-SPEI2_{pšenica} u maju mesecu, a 44% na osnovu praga značajnosti od $\alpha = 0,10$.

Rezultati u Tabeli 21 pokazuju da statistički značajna veza, na osnovu praga značajnosti od $\alpha = 0,05$, postoji između prinosa šećerne repe u svim posmatranim opštinama u Vojvodini i indeksa AD-SPEI1_{š.repa} u junu i indeksa AD-SPEI3_{š.repa} u julu i avgustu mesecu, a na osnovu praga značajnosti od $\alpha = 0,10$ i sa indeksom AD-SPEI2_{š.repa} u junu. Takođe, kao adekvatni pokazatelji poljoprivredne suše sa aspekta uticaja na prinos šećerne repe, mogu se koristiti i indeksi AD-SPEI1_{š.repa} u avgustu, AD-SPEI2_{š.repa} od jula do septembra i AD-SPEI3_{š.repa} u septembru jer su rezultati pokazali da postoji statistički značajna veza sa prinosima u sedam od devet posmatranih opština.

Rezultati u Tabeli 22 pokazuju da statistički značajna veza, na osnovu praga značajnosti od $\alpha = 0,05$, postoji između prinosa lucerke u 67% od posmatranih opština u Vojvodini i indeksa AD-SPEI1_{lucerka} u avgustu mesecu, a 33% na osnovu praga značajnosti od $\alpha = 0,10$. Kao adekvatni pokazatelji poljoprivredne suše sa aspekta uticaja na prinos lucerke, mogu se koristiti i indeksi AD-SPEI1_{lucerka} u junu i AD-SPEI3_{lucerka} u avgustu mesecu jer su rezultati pokazali da postoji značajna veza sa prinosima u sedam od devet posmatranih opština.

Rezultati u Tabeli 23 pokazuju da statistički značajna veza, na osnovu praga značajnosti od $\alpha = 0,05$, postoji između prinosa krompira u 56% posmatranih opština u Vojvodini i indeksa AD-SPEI1_{krompir} u avgustu mesecu, a 44% na osnovu praga značajnosti od $\alpha = 0,10$. Kao adekvatni pokazatelji poljoprivredne suše sa aspekta uticaja na prinos krompira, mogu se koristiti i indeksi AD-SPEI1_{krompir} i AD-SPEI2_{krompir} u junu kao i AD-SPEI3_{krompir} u julu i avgustu mesecu jer su rezultati pokazali da postoji značajna veza sa prinosima u sedam od devet posmatranih opština.

Rezultati u Tabeli 24 pokazuju da statistički značajna veza, na osnovu praga značajnosti od $\alpha = 0,05$, postoji između prinosa pasulja u šest od devet posmatranih opština u Vojvodini i indeksa AD-SPEI1_{pasulj} u junu i AD-SPEI2_{pasulj} u julu mesecu i u jednoj na osnovu praga značajnosti od $\alpha = 0,10$.

Rezultati u Tabeli 25 pokazuju da statistički značajna veza, na osnovu praga značajnosti od $\alpha = 0,05$, postoji između prinosa soje na eksperimentalnim poljima Instituta za ratarstvo i povrtarstvo na Rimskim Šančevima i indeksa AD-SPEI_{2soja} i AD-SPEI_{3soja} za mesece jul, avgust i septembar i indeksa AD-SPEI_{1soja} za mesece jul i avgust. Statistički značajna veza, na osnovu praga značajnosti od $\alpha = 0,10$, postoji i sa indeksom AD-SPEI_{2soja} u junu mesecu.

Dobijeni rezultati ukazuju da se pomenuti indeksi mogu uspešno koristiti za praćenje poljoprivredne suše i za praćenje uticaja suše na prinos useva u Vojvodini.

6.3.3.2. Korak II - Poređenje indeksa AD-SPEI_{crop} sa drugim opšte prihvaćenim indeksima

6.3.3.2.1. Poređenje AD-SPEI_{crop} i SPEI sa prinosima kultura u cilju ispitivanja njihovih performansi

Kako bi se dobio bolji uvid u performanse indeksa AD-SPEI_{crop} kao pouzdanog pokazatelja poljoprivredne suše izvršena je komparacija ovog indeksa sa originalnim indeksom SPEI. U cilju ispitivanja performansi indeksa, izvršena je komparacija stepena slaganja AD-SPEI_{crop} sa prinosima kultura u odnosu na stepen slaganja originalnog SPEI sa prinosima kultura. Komparacija je izvršena na osnovu korelacije indeksa sa "de-trendovanim" prinosima. Izračunate su frekvencije odbacivanja, kada korelacije nisu statistički značajne na osnovu praga značajnosti $\alpha = 0,05$. Indeks sa manjom frekvencijom odbacivanja se može okarakterisati kao pouzdaniji po ovom kriterijumu. Kao i u prethodnom poglavlju analizirane su poljoprivredne kulture: kukuruz, šećerna repa, lucerka, krompir, pasulj i ozima pšenica, čiji su prosečni prinosi dostupni u Statističkim godišnjacima Republičkog zavoda za statistiku Srbije na nivou opština. Podaci o prinosima su prikupljeni za devet opština u Vojvodini u kojima se nalaze i meteorološke stanice Republičkog hidrometeorološkog zavoda Srbije za period od 1996 do 2013. za koje su pronađeni podaci u digitalnoj tabelarnoj formi. Takođe, analiza je obuhvatila i soju za koju su dobijeni podaci o prinosima sa eksperimentalnih parcela Instituta za ratarstvo i povrtarstvo na Rimskim Šančevima za period od 1977 do 2004. godine. Rezultati su prikazani u Tabelama 26 – 32.

Tabela 26. Komparacija koeficijenata korelacije r između “de-trendovanih” prinosa kukuruza po opštinama u Vojvodini za period od 1996 do 2013. godine i indeksa SPEI i AD-SPEI_{crop} (AD-SPEI_c)

Opština	SPEI1		AD-SPEI1 _c		SPEI2		AD-SPEI2 _c		SPEI3		AD-SPEI3 _c					
	Jun	Avg	Jun	Jul	Avg	Jul	Avg	Sep								
Subotica	0,73	0,73	0,59	0,59	0,67	0,67	0,76	0,74	0,65	0,67	0,80	0,79	0,79	0,78	0,67	0,70
Zrenjanin	0,64	0,64	0,54	0,56	0,60	0,61	0,62	0,60	0,57	0,56	0,63	0,62	0,68	0,69	0,45	0,48
Kikinda	0,51	0,51	0,68	0,69	0,57	0,55	0,58	0,55	0,62	0,60	0,64	0,60	0,69	0,67	0,48	0,49
Vršac	0,68	0,60	0,70	0,65	0,62	0,49	0,57	0,49	0,58	0,52	0,55	0,50	0,77	0,65	0,55	0,48
Sombor	0,68	0,68	0,58	0,61	0,61	0,60	0,75	0,77	0,69	0,71	0,71	0,71	0,77	0,79	0,64	0,66
Novi Sad	0,59	0,58	0,43	0,44	0,60	0,58	0,56	0,55	0,49	0,48	0,63	0,63	0,58	0,59	0,56	0,58
Bečej	0,53	0,61	0,45	0,46	0,53	0,56	0,42	0,67	0,35	0,56	0,57	0,68	0,58	0,69	0,42	0,46
Sr, Mitrovica	0,62	0,60	0,49	0,50	0,59	0,59	0,69	0,70	0,66	0,69	0,65	0,65	0,68	0,72	0,52	0,55
Beograd	0,48	0,56	0,55	0,55	0,37	0,41	0,58	0,51	0,63	0,59	0,60	0,61	0,62	0,60	0,49	0,46
Odbacivanje	0	0	2	2	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	2	2
AD-SPEI _{crop} Frek.odbacivanja	0,078															
SPEI Frek.odbacivanja	0,109		$\alpha = 0,05$		$\alpha = 0,10$											

Tabela 27. Komparacija koeficijenata korelacije r između “de-trendovanih” prinosa šećerne repe po opštinama u Vojvodini za period od 1996 do 2013. godine i indeksa SPEI i AD-SPEI_{crop} (AD-SPEI_c)

Opština	SPEI1		AD-SPEI1 _c		SPEI2		AD-SPEI2 _c		SPEI3		AD-SPEI3 _c					
	Jun	Avg	Jun	Jul	Avg	Jul	Avg	Sep								
Subotica	0,76	0,77	0,64	0,66	0,76	0,77	0,73	0,71	0,63	0,64	0,82	0,82	0,79	0,79	0,69	0,71
Zrenjanin	0,46	0,48	0,33	0,35	0,41	0,43	0,54	0,53	0,45	0,44	0,51	0,51	0,53	0,54	0,34	0,36
Kikinda	0,47	0,48	0,51	0,51	0,54	0,56	0,39	0,38	0,34	0,34	0,49	0,48	0,47	0,46	0,20	0,21
Vršac	0,71	0,71	0,44	0,50	0,59	0,59	0,53	0,55	0,33	0,41	0,45	0,50	0,62	0,64	0,41	0,49
Sombor	0,57	0,58	0,55	0,58	0,60	0,60	0,66	0,67	0,67	0,66	0,67	0,67	0,69	0,70	0,67	0,67
Novi Sad	0,63	0,63	0,42	0,43	0,61	0,61	0,68	0,69	0,60	0,61	0,71	0,73	0,68	0,69	0,57	0,60
Bečej	0,53	0,55	0,42	0,48	0,68	0,73	0,56	0,50	0,44	0,56	0,67	0,75	0,56	0,64	0,52	0,57
Sr, Mitrovica	0,66	0,63	0,66	0,15	0,66	0,66	0,66	0,67	0,72	0,74	0,65	0,65	0,78	0,80	0,58	0,60
Beograd	0,66	0,72	0,71	0,69	0,59	0,60	0,65	0,55	0,69	0,65	0,72	0,71	0,77	0,70	0,54	0,53
Odbacivanje	1	0	4	3	1	1	1	1	4	3	1	0	0	1	3	2
AD-SPEI _{crop} Frek.odbacivanja	0,172															
SPEI Frek.odbacivanja	0,234		$\alpha = 0,05$		$\alpha = 0,10$											

Tabela 28. Komparacija koeficijenata korelacije r između “de-trendovanih” prinosa lucerke po opštinama u Vojvodini za period od 1996 do 2013. godine i indeksa SPEI i AD-SPEI_{crop} (AD-SPEI_c)

Opština	SPEI	AD-SPEI _c	SPEI	AD-SPEI _c	SPEI3	AD-SPEI _{3c}
	Jun		Avg		Avg	
Subotica	0,65	0,66	0,49	0,51	0,70	0,68
Zrenjanin	0,30	0,43	0,43	0,45	0,41	0,42
Kikinda	0,56	0,58	0,51	0,52	0,50	0,51
Vršac	0,18	0,30	0,56	0,47	0,45	0,18
Sombor	0,28	0,44	0,23	0,42	0,36	0,40
Novi Sad	-0,07	-0,03	0,22	0,43	0,06	0,06
Bečej	0,39	0,54	0,43	0,50	0,40	0,46
Sr, Mitrovica	0,32	0,45	0,47	0,50	0,38	0,45
Beograd	0,51	0,60	0,62	0,64	0,64	0,62
Odbacivanje	6	5	4	3	6	6
AD-SPEI _{crop} Frek,odbacivanja	0,259					
SPEI Frek,odbacivanja	0,296		$\alpha = 0,05$		$\alpha = 0,10$	

Tabela 29. Komparacija koeficijenata korelacije r između “de-trendovanih” prinosa ozime pšenice po opštinama u Vojvodini za period od 1996 do 2013. godine i indeksa SPEI i AD-SPEI_{crop} (AD-SPEI_c)

Opština	SPEI2	AD-SPEI _{2c}	SPEI2	AD-SPEI _{2c}	SPEI3	AD-SPEI _{3c}
	Apr		Maj		Maj	
Subotica	0,50	0,48	0,45	0,46	0,52	0,55
Zrenjanin	0,59	0,58	0,43	0,44	0,51	0,53
Kikinda	0,56	0,56	0,31	0,40	0,44	0,47
Vršac	0,56	0,55	0,46	0,47	0,54	0,54
Sombor	0,40	0,59	0,17	0,41	0,20	0,40
Novi Sad	0,57	0,56	0,51	0,53	0,53	0,55
Bečej	0,24	0,48	0,14	0,47	0,42	0,45
Sr, Mitrovica	0,36	0,41	0,49	0,50	0,49	0,51
Beograd	0,27	0,41	0,36	0,43	0,36	0,45
Odbacivanje	4	2	7	6	4	3
AD-SPEI _{crop} Frek,odbacivanja	0,407					
SPEI Frek,odbacivanja	0,555		$\alpha = 0,05$		$\alpha = 0,10$	

Tabela 30. Komparacija koeficijenata korelacije r između “de-trendovanih” prinosa krompira po opštinama u Vojvodini za period od 1996 do 2013. godine i indeksa SPEI i AD-SPEI_{crop} (AD-SPEI_c)

Opština	SPEI1		AD-SPEI _c		SPEI2		AD-SPEI _c		SPEI2		SPEI3		AD-SPEI _c		SPEI3		AD-SPEI _c	
	Jun		Avg		Jun		Avg		Sep		Jul		Avg		Sep			
	SPEI1	AD-SPEI _c	SPEI1	AD-SPEI _c	SPEI2	AD-SPEI _c	SPEI2	AD-SPEI _c	SPEI2	AD-SPEI _c	SPEI3	AD-SPEI _c	SPEI3	AD-SPEI _c	SPEI3	AD-SPEI _c	SPEI3	AD-SPEI _c
Subotica	0,41	0,43	0,46	0,45	0,55	0,57	0,37	0,37	0,52	0,51	0,54	0,56	0,44	0,44	0,45	0,46		
Zrenjanin	0,52	0,55	0,43	0,45	0,52	0,54	0,33	0,31	0,23	0,21	0,43	0,42	0,47	0,47	0,22	0,21		
Kikinda	0,15	0,15	0,43	0,41	0,17	0,17	0,31	0,29	0,12	0,12	0,16	0,13	0,27	0,25	0,11	0,11		
Vršac	0,56	0,66	0,56	0,67	0,48	0,65	0,47	0,62	0,31	0,44	0,45	0,62	0,62	0,74	0,37	0,55		
Sombor	0,72	0,72	0,57	0,60	0,68	0,68	0,58	0,58	0,46	0,47	0,67	0,67	0,72	0,73	0,52	0,52		
Novi Sad	0,32	0,31	0,39	0,41	0,28	0,27	0,38	0,37	0,25	0,23	0,35	0,35	0,40	0,39	0,29	0,29		
Bečej	0,75	0,81	0,59	0,62	0,76	0,76	0,45	0,57	0,31	0,47	0,67	0,69	0,70	0,77	0,44	0,46		
Sr, Mitrovica	0,73	0,71	0,65	0,66	0,74	0,75	0,60	0,62	0,66	0,65	0,65	0,66	0,77	0,78	0,64	0,64		
Beograd	0,64	0,70	0,69	0,66	0,54	0,56	0,52	0,49	0,51	0,47	0,54	0,54	0,58	0,61	0,46	0,45		
Odbacivanje	3	3	4	4	2	2	5	4	6	4	4	3	3	3	7	6		
AD-SPEI _{crop} Frek, odbacivanja	0,402																	
SPEI Frek, odbacivanja	0,417		$\alpha = 0,05$				$\alpha = 0,10$											

Tabela 31. Komparacija koeficijenata korelacije r između “de-trendovanih” prinosa pasulja po opštinama u Vojvodini za period od 1996 do 2013. godine i indeksa SPEI i AD-SPEI_{crop} (AD-SPEI_c)

Opština	SPEI1		AD-SPEI _c		SPEI1		AD-SPEI _c	
	Jun		Avg		Jun		Avg	
	SPEI1	AD-SPEI _c	SPEI1	AD-SPEI _c	SPEI1	AD-SPEI _c	SPEI1	AD-SPEI _c
Subotica	0,45	0,45	0,49	0,49				
Zrenjanin	0,65	0,63	0,44	0,60				
Kikinda	0,53	0,53	0,43	0,41				
Vršac	0,17	0,14	0,14	0,12				
Sombor	0,55	0,56	0,57	0,57				
Novi Sad	0,55	0,55	0,53	0,52				
Bečej	0,11	0,11	-0,04	0,20				
Sr, Mitrovica	0,52	0,50	0,59	0,61				
Beograd	0,59	0,66	0,55	0,58				
Odbacivanje	3	3	4	3				
AD-SPEI _{crop} Frek, odbacivanja	0,333		$\alpha = 0,05$					
SPEI Frek, odbacivanja	0,389		$\alpha = 0,10$					

Tabela 32. Komparacija koeficijenta korelacije r između “de-trendovanih” prinosa soje u Institutu za ratarstvo i povrtarstvo na Rimskim Šančevima za period od 1977 do 2004. godine i indeksa SPEI i AD-SPEI_{crop} (AD-SPEI_c)

Indeks	r	Indeks	r
AD-SPEI _c Maj	0,29	SPEI1 Maj	0,31
AD-SPEI _c Jun	0,31	SPEI1 Jun	0,29
AD-SPEI _c Jul	0,51	SPEI1 Jul	0,60
AD-SPEI _c Avg	0,48	SPEI1 Avg	0,57
AD-SPEI _c Sep	0,27	SPEI1 Sep	0,28
AD-SPEI _{2c} Jun	0,34	SPEI2 Jun	0,35
AD-SPEI _{2c} Jul	0,63	SPEI2 Jul	0,63
AD-SPEI _{2c} Avg	0,67	SPEI2 Avg	0,67
AD-SPEI _{2c} Sep	0,54	SPEI2 Sep	0,53
AD-SPEI _{3c} Jul	0,62	SPEI3 Jul	0,63
AD-SPEI _{3c} Avg	0,72	SPEI3 Avg	0,75
AD-SPEI _{3c} Sep	0,72	SPEI3 Sep	0,74
AD-SPEI _{3c} odbacivanje	4	SPEI3 odbacivanje	4

$\alpha = 0,05$

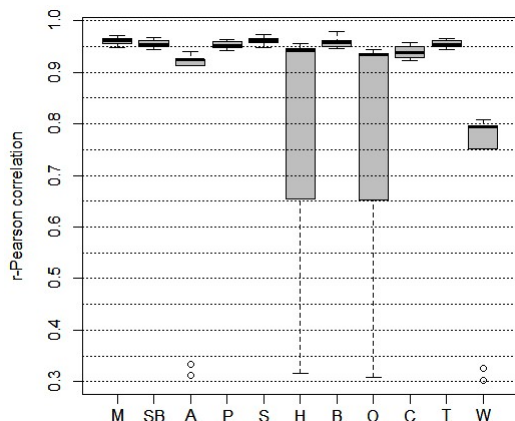
$\alpha = 0,10$

Na osnovu dobijenih rezultata, prikazanih u Tabelama 26-32, može se zaključiti da indeks AD-SPEI_{crop} ima bolje performanse kao pokazatelj suše, sa aspekta posmatranih poljoprivrednih kultura u Vojvodini, jer su za indekse AD-SPEI_{kukuruz}, AD-SPEI_{š.repa}, AD-SPEI_{lucerka}, AD-SPEI_{krompir}, AD-SPEI_{pasulj} i AD-SPEI_{pšenica} dobijene manje frekvencije odbacivanja koeficijenta korelacije r u odnosu na originalni indeks SPEI, dok su frekvencije odbacivanja koeficijenta r za AD-SPEI_{soja} jednake sa originalnim SPEI.

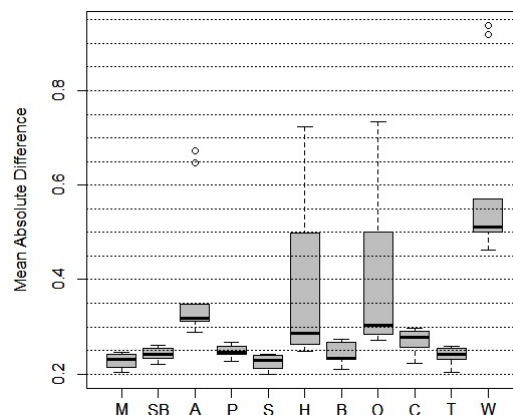
6.3.3.2.2. Poređenje indeksa AD-SPEI_{crop} sa SPI, SPEI, SC-PDSI

U nastavku je u cilju validacije indeksa AD-SPEI_{crop} izvršeno poređenje sa indeksima SPI, SPEI i SC-PDSI, koji su u literaturi i u praksi opšte prihvaćeni i najčešće primenjivani indeksi suše, odnosno uslova vlažnosti. Poređenje je izvršeno pomoću Pearson-ovog koeficijenta korelacije r i srednje apsolutne razlike (mean absolute difference - MAD). Poređenje je izvršeno po kulturama (kukuruz - M, šećerna repa - SB, lucerka - A, krompir - P, soja - S, hmelj - H, pasulj - B, crni luk - O, kupus - C, duvan -T i ozima pšenica - W), odnosno r i MAD su grupisani po indeksima AD-SPEI_{crop} (za svaku od navedenih kultura) za devet posmatranih meteoroloških stanica. Korelacija je računata između indeksa AD-SPEI_{crop} i indeksa SPI, SPEI i SC-PDSI, a srednje apsolutne razlike su računane samo između indeksa AD-SPEI_{crop} i indeksa SPI i SPEI jer ovi indeksi koriste istu skalu i vrednosti su u istim opsezima za razliku od indeksa SC-PDSI. Takođe, poređenje je vršeno za periode akumulacije od jednog do tri meseca za indekse SPI, SPEI i AD-SPEI_{crop}, dok se indeks SC-PDSI ne može računati za različite vremenske skale, odnosno nema mogućnost posmatranja različitih perioda akumulacije.

Na *box-plot* dijagramu na Slici 80 može se uočiti da su vrednosti koeficijenta korelacije r između SPI1 i AD-SPEI1_{crop} za kukuruz, šećernu repu, lucerku, krompir, soju, pasulj, kupus i duvan iznad 0,9; za pšenicu su uglavnom iznad 0,75, a za hmelj i crni luk su uglavnom iznad 0,65. Srednje apsolutne razlike između vrednosti indeksa SPI1 i AD-SPEI1_{crop} za kukuruz, šećernu repu, krompir, soju, pasulj, kupus i duvan su u opsegu od 0,2 do 0,3; za lucerku su oko 0,3 do 0,35; za hmelj i crni luk su uglavnom u opsegu od 0,3 do 0,5, a za pšenicu su uglavnom u opsegu od 0,5 do 0,55 (Slika 81).

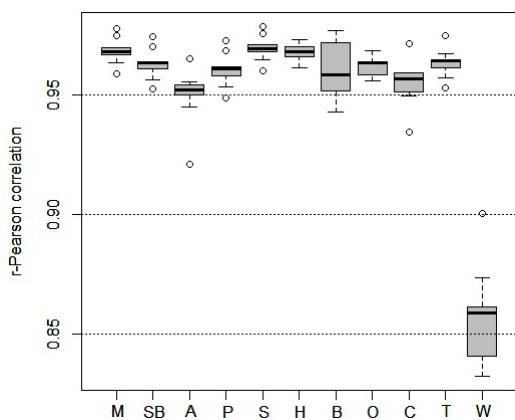


Slika 80. Korelacija između AD-SPEI1_{crop} i SPI1

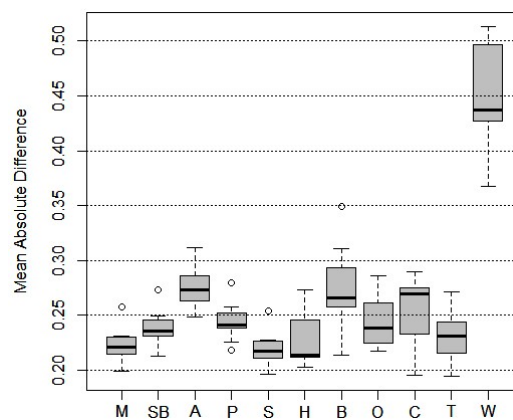


Slika 81. Srednje apsolutne razlike između AD-SPEI1_{crop} i SPI1

Na *box-plot* dijagramu na Slici 82 može se uočiti da su vrednosti koeficijenta korelacije r između SPI2 i AD-SPEI2_{crop} za kukuruz, šećernu repu, lucerku, krompir, soju, hmelj, pasulj, crni luk, kupus i duvan iznad 0,95, a za pšenicu su oko 0,85. Srednje apsolutne razlike između vrednosti indeksa SPI2 i AD-SPEI2_{crop} za kukuruz, šećernu repu, lucerku, krompir, soju, hmelj, pasulj, crni luk, kupus i duvan su uglavnom u opsegu od 0,2 do 0,3, a za pšenicu su uglavnom u opsegu od 0,43 do 0,5 (Slika 83).

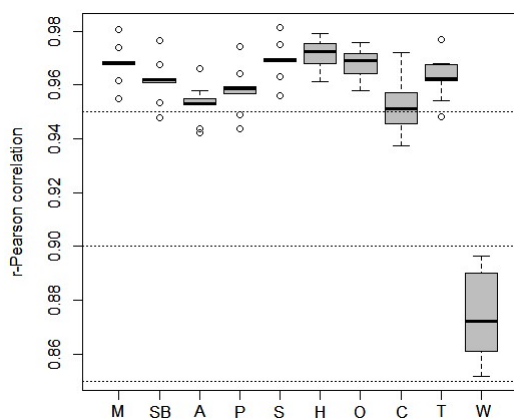


Slika 82. Korelacija između AD-SPEI2_{crop} i SPI2

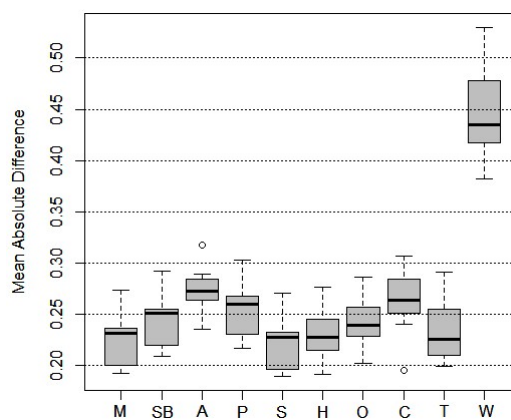


Slika 83. Srednje apsolutne razlike između AD-SPEI2_{crop} i SPI2

Na *box-plot* dijagramu na Slici 84 može se uočiti da su vrednosti koeficijenta korelacije r između SPI3 i AD-SPEI3_{crop} za kukuruz, šećernu repu, lucerku, krompir, soju, hmelj, pasulj, crni luk, kupus i duvan iznad 0,94, a za pšenicu su uglavnom oko 0,87. Srednje apsolutne razlike između vrednosti indeksa SPI3 i AD-SPEI3_{crop} za kukuruz, šećernu repu, lucerku, krompir, soju, hmelj, pasulj, crni luk, kupus i duvan su uglavnom u opsegu od 0,2 do 0,3, a za pšenicu su uglavnom u opsegu od 0,43 do 0,47 (Slika 85).

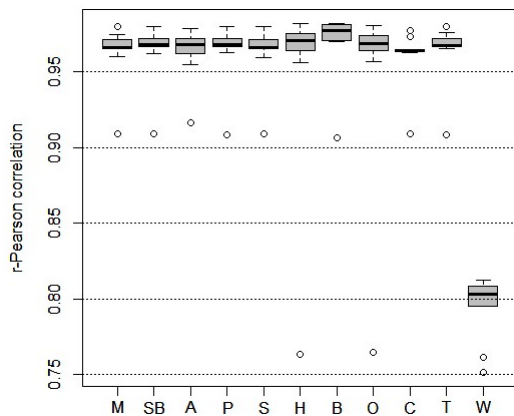


Slika 84. Korelacija između AD-SPEI3_{crop} i SPI3

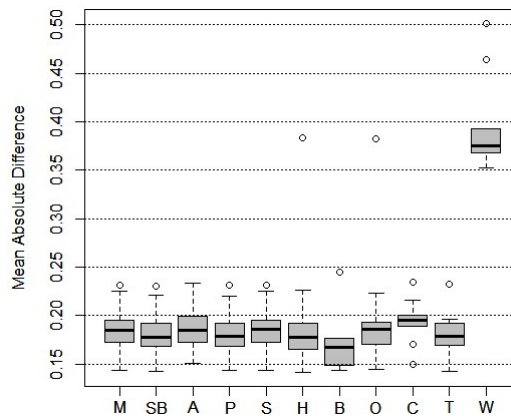


Slika 85. Srednje apsolutne razlike između AD-SPEI3_{crop} i SPI3

Na *box-plot* dijagramu na Slici 86 može se uočiti da su vrednosti koeficijenta korelacije r između SPEI1 i AD-SPEI1_{crop} za kukuruz, šećernu repu, lucerku, krompir, soju, hmelj, pasulj, crni luk, kupus i duvan iznad 0,95, a za pšenicu su oko 0,8. Srednje apsolutne razlike između vrednosti indeksa SPEI1 i AD-SPEI1_{crop} za kukuruz, šećernu repu, lucerku, krompir, soju, hmelj, pasulj, crni luk, kupus i duvan su uglavnom u opsegu od 0,15 do 0,2, a za pšenicu su uglavnom oko 0,37 (Slika 87).

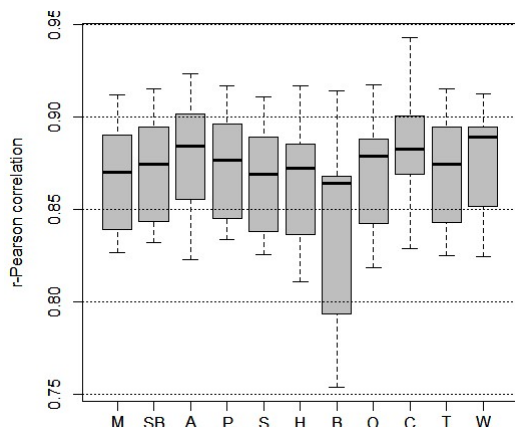


Slika 86. Korelacija između AD-SPEI1_{crop} i SPEI1

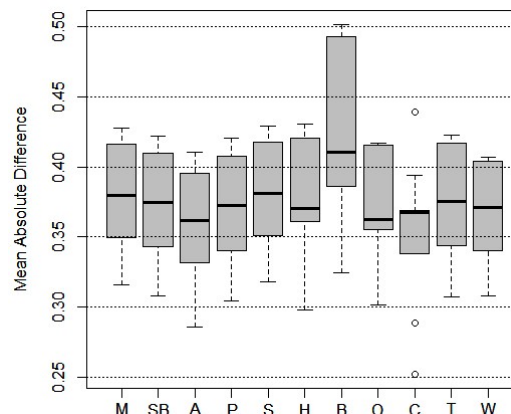


Slika 87. Srednje apsolutne razlike između AD-SPEI1_{crop} i SPEI1

Na *box-plot* dijagramu na Slici 88 može se uočiti da su vrednosti koeficijenta korelacije r između SPEI2 i AD-SPEI2_{crop} za sve posmatrane kulture uglavnom u opsegu od 0,8 do 0,9. Srednje apsolutne razlike se uglavnom kreću u opsegu od 0,3 do 0,5 (Slika 89).

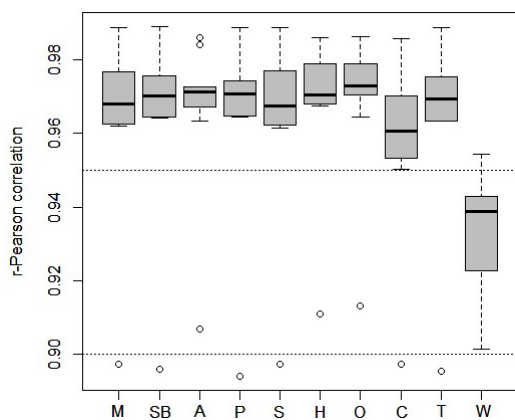


Slika 88. Korelacija između AD-SPEI2_{crop} i SPEI2

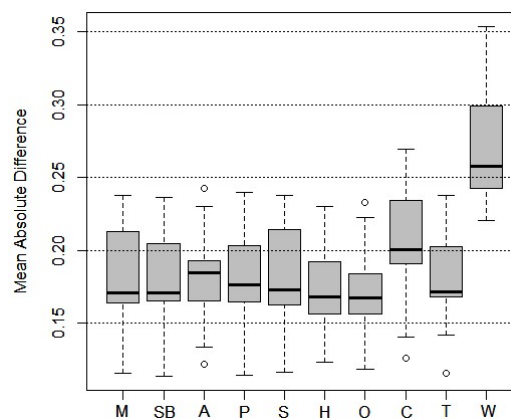


Slika 89. Srednje apsolutne razlike između AD-SPEI2_{crop} i SPEI2

Na *box-plot* dijagramu na Slici 90 može se uočiti da su vrednosti koeficijenta korelacije r između SPEI3 i AD-SPEI3_{crop} za kukuruz, šećernu repu, lucerku, krompir, soju, hmelj, pasulj, crni luk, kupus i duvan iznad 0,95, a za pšenicu uglavnom iznad 0,92. Srednje apsolutne razlike između vrednosti indeksa SPEI3 i AD-SPEI3_{crop} za kukuruz, šećernu repu, lucerku, krompir, soju, hmelj, pasulj, crni luk, kupus i duvan su uglavnom u opsegu od 0,16 do 0,23, a za pšenicu su uglavnom u opsegu od 0,25 do 0,30 (Slika 91).



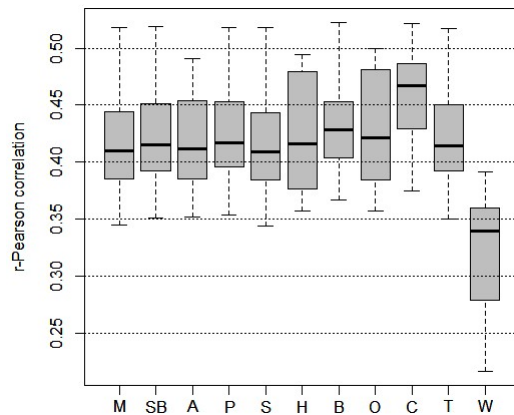
Slika 90. Korelacija između AD-SPEI3_{crop} i SPEI3



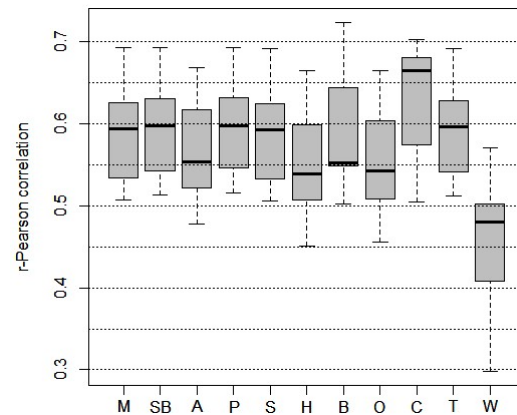
Slika 91. Srednje apsolutne razlike između AD-SPEI3_{crop} i SPEI3

Na *box-plot* dijagramima na Slikama 92-94 prikazane su vrednosti koeficijenta korelacije r između indeksa AD-SPEI_{crop} za periode akumulacije od jednog do tri meseca i indeksa SC-PDSI. Vrednosti r između AD-SPEI1_{crop} za sve posmatrane

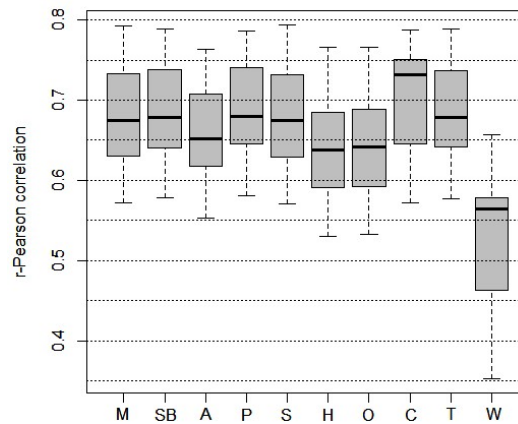
kulture i indeksa SC-PDSI se uglavnom kreću u opsegu od 0,28 do 0,48. Vrednosti r između AD-SPEI_{2crop} za sve posmatrane kulture i indeksa SC-PDSI se uglavnom kreću u opsegu od 0,41 do 0,68. Vrednosti r između AD-SPEI_{3crop} za sve posmatrane kulture i indeksa SC-PDSI se uglavnom kreću u opsegu od 0,46 do 0,75. Rezultati pokazuju da se stepen slaganja povećava sa povećavanjem perioda akumulacije indeksa AD-SPEI_{crop}, što je razumljivo jer se indeks SC-PDSI računa za fiksni vremenski interval obično ne manji od 12 meseci. Duži vremenski period za koji se računa SC-PDSI je verovatno razlog manjeg stepena slaganja sa indeksom AD-SPEI_{crop} u odnosu na slaganje AD-SPEI_{crop} sa SPI i SPEI.



Slika 92. Korelacija između AD-SPEI_{1crop} i SC-PDSI



Slika 93. Korelacija između AD-SPEI_{2crop} i SC-PDSI



Slika 94. Korelacija između AD-SPEI_{3crop} i SC-PDSI

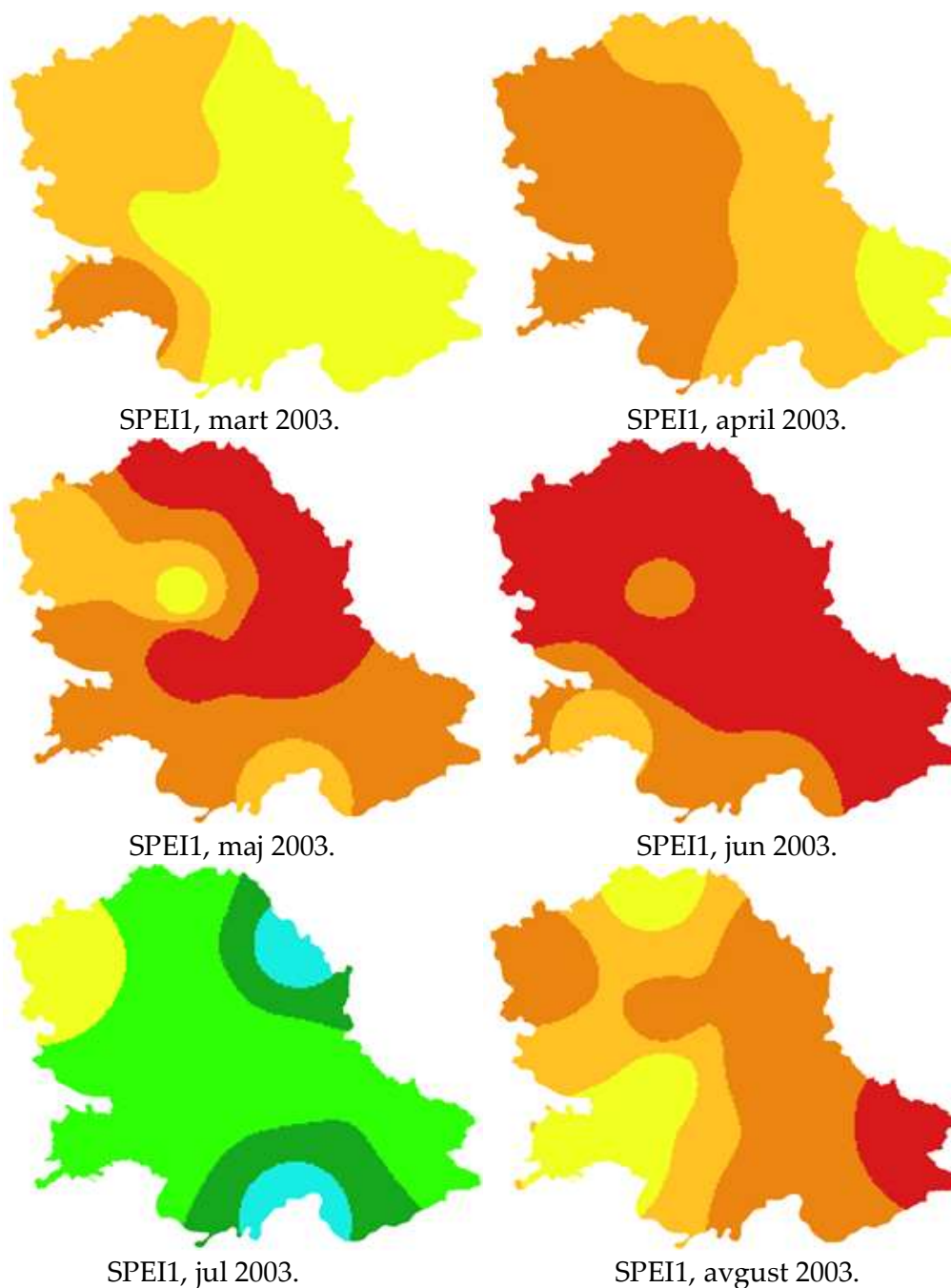
Rezultati poređenja indeksa AD-SPEI_{crop} sa u literaturi i praksi potvrđenim indeksima SPI, SPEI i SC-PDSI pokazuju da AD-SPEI_{crop} može uspešno da detektuje sušne i vlažne periode kao i pomenuti indeksi, a s obzirom da se

bazira na vodnom bilansu poljoprivrednih kultura vrednosti indeksa adekvatnije karakterišu poljoprivrednu sušu.

U cilju vizuelno preglednijeg prikaza rezultata upotrebljeni su GIS alati za prikaz dobijenih vrednosti indeksa SPEI, SPI i PDSI, kako bi se lakše uočile razlike u odnosu na već prikazane karte AD-SPEI_{crop}. Na kartama na Slici 95 prikazani su indeksi SPEI1, na kartama na Slici 96 prikazani su indeksi SPI1, a na kartama na Slici 97 prikazani su indeksi SC-PDSI. Korišćena je legenda kategorija uslova vlažnosti po RHMZS (2019) kao i na kartama indeksa AD-SPEI_{crop} i na *heatmap* graficima (Slika 59).

Zbog velike količine dobijenih rezultata, nije ih moguće sve prikazati, pa je uzet ilustrativni primer 2003. godine koji je detaljno komentarisano i koji je poslužio da se porede dobijeni rezultati AD-SPEI_{crop} sa indeksima SPI1, SPEI1, SC-PDSI. Na kartama, Slika 95, prikazani su indeksi SPEI1 od marta do avgusta meseca 2003. godine. Može se uočiti da se suša počela javljati u martu mesecu sa zapada i jugozapada Vojvodine gde su vladali umereno sušni i na manjem delu jako sušni uslovi, a da je u aprilu veći deo teritorije bio pod jakom i umerenom sušom. Ekstremna suša se pojavila u maju mesecu u severoistočnim i centralnim delovima, da bi se u junu mesecu proširila na skoro čitavu teritoriju. U julu je takođe kao i sa indeksom AD-SPEI_{crop}, zabeležen vlažni talas tako da su uslovi vlažnosti bili uglavnom normalni do umereno vlažni u severoistočnim i južnim krajevima. U avgustu je ponovo zabeležena intenzivna suša. Na severu i jugozapadu su zabeleženi sušni uslovi, na manjem delu jugoistoka ekstremno sušni uslovi, a u ostalim krajevima su vladali jako i umereno sušni uslovi.

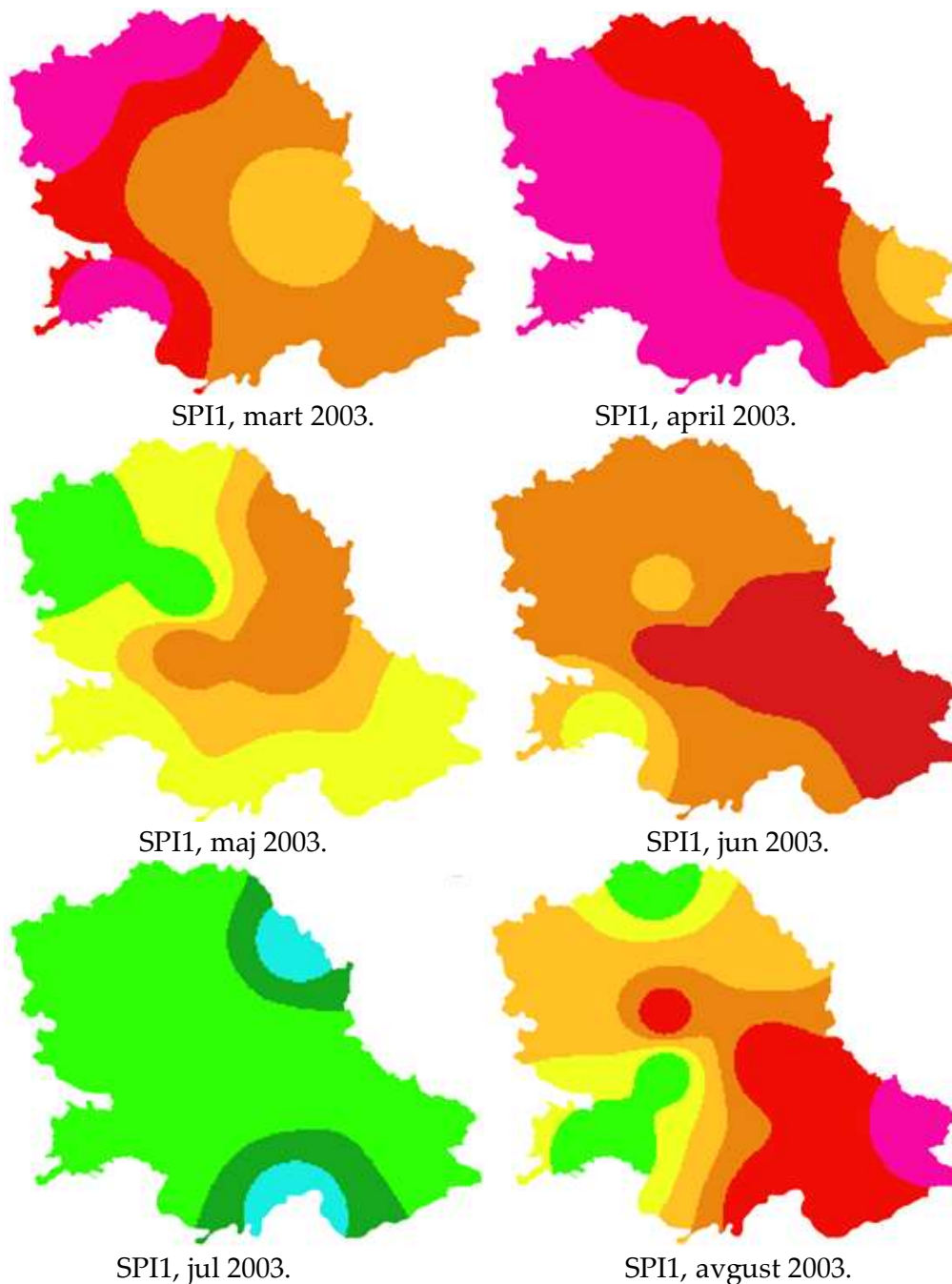
Za razliku od karata indeksa SPEI1 u martu i aprilu, karte AD-SPEI1_{pšenica} pokazuju blaže uslove suše, odnosno veći deo teritorije je bio pod sušnim uslovima, a samo pojedini pod umereno sušnim uslovima, a jugoistočni deo Vojvodine je prema AD-SPEI1_{pšenica} u aprilu bio pod blisko normalnim uslovima vlažnosti. U maju i junu indeks SPEI1 pokazuje nešto blaži stepen suše u odnosu na AD-SPEI1_{pšenica}. SPEI1 pokazuje nešto veći stepen suše u maju mesecu u odnosu na AD-SPEI1_{crop} za kukuruz i soju, a blaži stepen suše u odnosu na AD-SPEI1_{crop} za šećernu repu, lucerku, crni luk, duvan, krompir i hmelj. U junu mesecu SPEI1 pokazuje slične uslove suše kao i AD-SPEI1_{crop}, osim što za jedan stepen pokazuje blažu sušu u južnim delovima. U julu mesecu SPEI1 na sličan način oslikava uslove vlažnosti kao i AD-SPEI1_{crop}, a u avgustu pokazuje nešto blažu sušu u odnosu na AD-SPEI1_{crop}.



Slika 95. SPEI1, mart - avgust 2003.

Na kartama, Slika 96, prikazani su indeksi SPI1 od marta do avgusta meseca 2003. godine. Može se uočiti da je SPI1 pokazao znatno intenzivniju sušu u martu i aprilu mesecu u odnosu na indekse SPEI1 i AD-SPEI1_{pšenica}. U martu je izuzetna suša zabeležena na severozapadnim i jugozapadnim krajevima, a u aprilu izuzetna suša se rasprostirala skoro u čitavoj Bačkoj, Sremu i jugoistočnom Banatu. U maju mesecu SPI1 je zabeležio blažu sušu u odnosu na SPEI1 i AD-SPEI1_{crop} za sve kulture. U junu mesecu je SPI1 takođe zabeležio

blažu sušu u odnosu na SPEI1 i AD-SPEI1_{crop}; SPI1 je zabeležio ekstremnu sušu samo u centralnim i jugoistočnim delovima dok su indeksi SPEI1 i AD-SPEI1_{crop} zabeležili ekstremnu sušu na većem delu teritorije Vojvodine. SPI1 je na sličan način kao i SPEI1 i AD-SPEI1_{crop} registrovao vlažan talas u julu mesecu 2003. godine. U avgustu mesecu je SPI1 zabeležio intenzivniju sušu na jugoistoku i u centralnim delovima Vojvodine, a zabeležio je blažu sušu na severu, severozapadu i jugozapadu u odnosu na indekse AD-SPEI_{crop} kao i SPEI1.



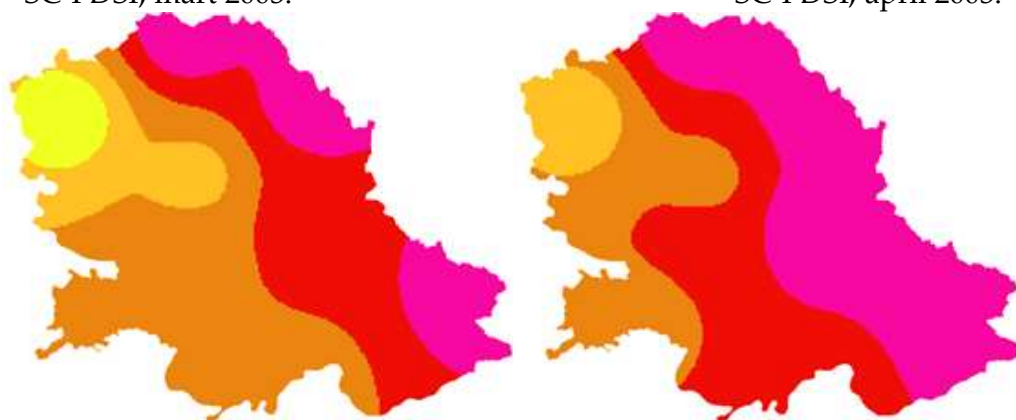
Slika 96. SPI1, mart - avgust 2003.

Indeks SC-PDSI je, kako se može uočiti na kartama na Slici 97, zabeležio kontinuirano povećanje intenziteta suše od marta do avgusta meseca 2003. godine. Najintenzivnije suše su zabeležene od severa-severoistoka do jugoistoka Vojvodine. Za razliku od AD-SPEI_{crop}, SPEI1 i SPI1, SC-PDSI nije registrovao kratkotrajne promene uslova vlažnosti koje mogu biti od velike važnosti za biljnu proizvodnju, kao što je na primer pojava vlažnog talasa u julu mesecu ili pojava veoma intenzivnog sušnog perioda u maju i junu mesecu koji su posebno zabeležili indeksi AD-SPEI_{crop}.



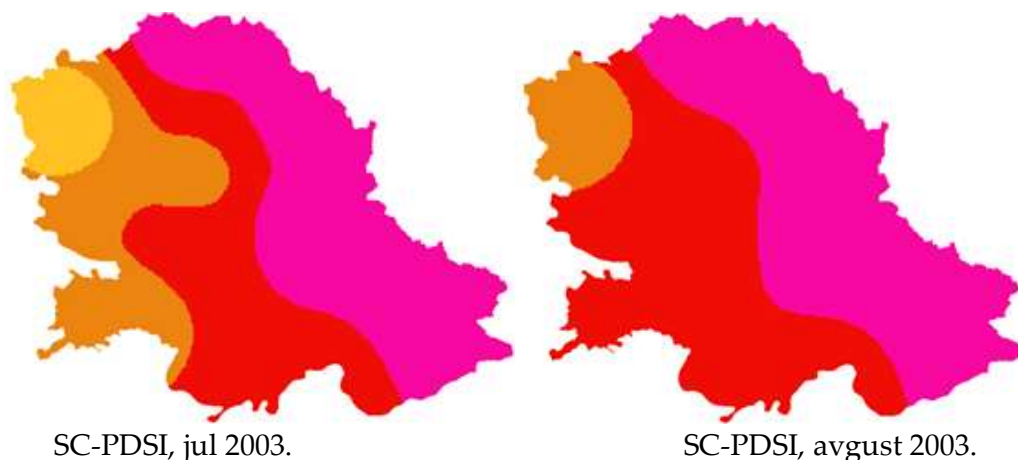
SC-PDSI, mart 2003.

SC-PDSI, april 2003.



SC-PDSI, maj 2003.

SC-PDSI, jun 2003.



Slika 97. SC-PDSI, mart - avgust 2003.

6.3.3.3. Korak III - Povratna informacija od strane eksperata o dobijenim rezultatima poređenja

Pored statističkih i računskih procedura u okviru validacije pristupa, od velike važnosti je i povratna informacija od strane eksperata bazirana na njihovom znanju i iskustvu. U ovom koraku u fazi validacije, imajući u vidu da su rezultati poređeni sa prinosima poljoprivrednih kultura i sa opšte prihvaćenim i poznatim indeksima suše, izabrani su stručnjaci različitih ekspertiza iz oblasti poljoprivrede. Procenjeno je da bi povratna informacija od strane lokalnih eksperata iz oblasti biljne proizvodnje (ratarstva i povrtarstva), navodnjavanja poljoprivrednih kultura i suše u poljoprivredi bila od velikog značaja za konačnu ocenu performansi $AD-SPEI_{crop}$ dobijenog u okviru predloženog pristupa monitoringu poljoprivredne suše. Eksperti pojedinačno, u zavisnosti od svoje ekspertize, su uvidom u rezultate poređenja u fazi validacije potvrdili konzistentnost rezultata modifikovanog indeksa sa priznatim indeksima suše, kao i to da postoji statistički značajna korelacija između indeksa $AD-SPEI_{crop}$ u kritičnim fazama razvoja biljaka i prinosa posmatranih kultura u Vojvodini, odnosno potvrdili performanse indeksa kao pokazatelja suše sa aspekta poljoprivrednih kultura.

7. DISKUSIJA REZULTATA

U prvom delu rezultata prikazano je poređenje vrednosti SPEI indeksa izračunatih korišćenjem različitih metoda za izračunavanje ET_0 . Ova analiza izvršena je u cilju ilustracije uticaja korišćenog metoda za izračunavanje ET_0 na vrednosti indeksa SPEI. SPEI indeksi su računati za vremenske intervale odnosno za periode akumulacije od jednog, tri i šest meseci. Analizirani su FAO-56 Penman-Monteith (PM), Thornthwaite (TH), modifikovana Hargreaves jednačina za naše klimatske uslove (HG) i Turc (TU) jednačina. Poređenje je izvršeno na osnovu Pearson-ovog koeficijenta korelacije i srednje apsolutne razlike (mean absolute difference). Pri analizi korišćeni su podaci sa devet meteoroloških stanica na posmatranom području (Rimski Šančevi, Palić, Sombor, Bečej, Kikinda, Zrenjanin, Vršac, Sremska Mitrovica i Beograd). Nizovi podataka su od 1971 do 2016. godine. Metod PM se uzima kao reper pri poređenju metoda, jer ovaj metod je prihvaćen kao referentni širom sveta. Na području Vojvodine analiza je pokazala da se rezultati SPEI indeksa razlikuju kada se koriste različiti metodi za izračunavanje evapotranspiracije. Na ovom području najveći stepen slaganja, što podrazumeva najveći stepen korelacije sa SPEI(PM) i najmanju srednju apsolutnu razliku u odnosu na SPEI(PM), ima SPEI(HG), posle njega SPEI(TU) i zatim SPEI(TH). Predstavljenu problematiku analiziraju stručnjaci širom sveta, a u našim uslovima može se videti npr. u istraživanjima Frank (2016), kao i Frank i sar. (2017). Dobijeni rezultati u ovoj disertaciji, u klimatskim uslovima Vojvodine, koji su predstavljeni u cilju ilustracije uticaja korišćenog metoda za izračunavanje ET_0 na vrednosti indeksa SPEI su u skladu sa istraživanjima i preporukom Beguería i sar. (2014). Autori SPEI metoda u radu Beguería i sar. (2014) navode da se nekoliko metoda može koristiti za procenu evapotranspiracije u okviru SPEI indeksa, ali oni generalno preporučuju korišćenje FAO-56 Penman-Monteith - PM (Allen i sar., 1998) metoda, a ako podaci za ovu jednačinu nisu dostupni autori predlažu Hargreaves-Samani-HG (Hargreaves i Samani, 1985) metod kao prvi izbor ili Thornthwaite-TH (Thornthwaite, 1948) kao drugi.

SPEI indeks se bazira na osnovnim komponentama vodnog bilansa, padavinama i evapotranspiraciji, i iz tog razloga predstavlja pogodan indeks za monitoring poljoprivredne suše. Kako se evapotranspiracija razlikuje po kulturama i u zavisnosti od faze razvoja biljke, uvođenjem ET_c umesto ET_0 pri računanju SPEI indeksa mogu se dobiti rezultati indeksa koji će približnije opisati poljoprivrednu sušu. Polazeći od tog stanovišta u ovoj disertaciji kreiran je pristup monitoringu poljoprivredne suše na području Vojvodine baziran na SPEI indeksu koji koristi potencijalnu evapotranspiraciju kulture. Sličan stav zauzimaju i Moorhead i sar. (2013) koji navode da je u studiji koja je sprovedena

od strane Moorhead (2012) pokazano da upotreba potencijalne evapotranspiracije pojedinačnih useva umesto ET_0 u okviru SPEI metoda može poslužiti kao bolji pokazatelj poljoprivredne suše. Takođe, u najnovijim istraživanjima sprovedenim od strane Pei i sar. (2019), ovi autori takođe zamenjuju ET_0 u okviru SPEI metoda sa ET_c i dobijaju indeks koji tvrde da je prikladniji za praćenje poljoprivredne suše.

Predloženi pristup monitoringu poljoprivredne suše na području Vojvodine baziran na SPEI indeksu sastoji se od tri faze i pratećih koraka u okviru svake faze. U nastavku će biti diskutovane ove faze i koraci. Predloženi pristup sledi logičan tok i primenjuje poznate i priznate metode i koristi njihove prednosti kako bi se došlo do što preciznijeg i praktičnoj upotrebi pogodnijeg pristupa monitoringu poljoprivredne suše. Iako je kreiran za područje Vojvodine u disertaciji je detaljno opisan i generalni pristup koji može da se modifikuje, prilagodi i primeni u bilo kojim drugim klimatskim uslovima u nekom drugom delu sveta.

U prvoj fazi pristupa izvršen je izbor najpogodnijeg metoda za izračunavanje ET_0 , odnosno ET_c . Pri izračunavanju potencijalne evapotranspiracije FAO-56 PM metod (Allen i sar., 1998) se preporučuje kao standardna procedura, a takođe je predložen i od strane „Food and Agriculture Organisation of the United Nations (FAO)” i “The International Commission for Irrigation and Drainage (ICID)”. Međutim, FAO-56 PM metod ima visoke zahteve za podacima što komplikuje njegovu primenu u područjima sa nedostupnim, nedostajućim ili netačnim meteorološkim podacima (Cruz-Blanco i sar., 2014). Ovi podaci su limitirani u većini regiona (Valipour, 2015). Trajković (2009a) navodi da često metodi zahtevaju veliki broj ulaznih podataka kojima meteorološke stanice ne raspolažu, česti su prekidi u merenju, a i kvalitet podataka predstavlja problem. U ovoj disertaciji, kako bi se izbegla subjektivnost individue pri izboru metoda za izračunavanje ET_c u okviru SPEI indeksa i problem izbora sagledao sa stanovišta više važnih kriterijuma upotrebljen je AHP metod u kontekstu grupnog odlučivanja. Pri tome su eksperti u relevantnim oblastima sa područja Vojvodine individualno vršili poređenje potencijalnih metoda kako bi se na kraju dobila jedna grupna odluka. AHP metod je poznat i priznat širom sveta i koristi se kao podrška odlučivanju u različitim problemima odlučivanja. Od kad je Saaty (1980) predstavio AHP, ovaj metod višekriterijumske analize je postao poznat i priznat širom sveta, zahvaljujući svojoj jednostavnosti, lakoći upotrebe i fleksibilnosti (Ho, 2008), i koristi se kao podrška odlučivanju u raznim oblastima. Kako bi se odabrao najpogodniji, a imajući u vidu sve navedeno i bazirajući se na mišljenju eksperata, odabrani su metodi: FAO-56 PM (PM), Turc (TU), Thornthwaite

(TH), Bioklimatski (BM) i Hargreaves (HG). Ako bi se predloženi pristup primenjivao na nekom drugom području bilo bi potrebno izabrati novi skup metoda koji odgovaraju specifičnom području od interesa, na osnovu mišljenja i iskustva eksperata. Nakon izbora metoda odabrani su kriterijumi relevantni za dati problem odlučivanja: Dostupnost pouzdanih ulaznih podataka (AD); Preporuke od strane relevantne literature (LS); Jednostavnost metoda (EC); Uobičajena praksa u lokalnim specifičnim uslovima (CP); Relevantnost ulaznih parametara metoda za lokalne klimatske uslove (RP). Svaki od devet eksperata je dao individualne ocene u skladu sa standardnom AHP procedurom i nakon toga je izračunata jedna grupna odluka kojom je izabran Bioklimatski metod baziran na Hidrofitotermičkim indeksima kao najpogodniji za izračunavanje ET_0 odnosno ET_c u okviru SPEI indeksa na području Vojvodine. U prilog ovom izboru ide to što se ovaj metod široko primenjuje i analizira kako od strane naučne, tako i stručne javnosti u praksi Vojvodine. Marinković i sar. (2009) navode da je Bioklimatski metod baziran na Hidrofitotermičkim koeficijentima najviše korišćeni metod za određivanje potrebe biljaka za vodom u semi-aridnim uslovima Vojvodine. Primena Bioklimatskog metoda na području Vojvodine, za utvrđivanje vodnog bilansa, je potvrđena u praksi navodnjavanja i iz tog razloga ovaj metod se preporučuje za određivanje zalivnog režima različitih poljoprivrednih useva od strane eksperata i stručnjaka iz prakse (Pejić i Gajić, 2006). U radu Moorhead i sar. (2015), gde se analizira područje Texas High Plains u SAD, ET_c u okviru SPEI indeksa je dobijena tako što su autori koristili već postojeću bazu podataka o vrednostima ET_c koju pruža TXHPET (Network Texas High Plains ET) baza podataka. Takođe, u radu Pei i sar. (2019), studija slučaja je rađena u oblasti Qigihar (Kina), i ET_c u okviru SPEI indeksa računata je Penman-Monteith metodom i odgovarajućim koeficijentima kultura prema preporukama FAO. Za razliku od navedenih istraživanja, u ovoj disertaciji za izbor metoda je korišćen tok odlučivanja pomoću AHP metoda, u kojem je učestvovalo devet stručnjaka koji poznaju područje Vojvodine, i koji je doveo do grupne odluke o najpogodnijem metodu.

Nakon odabira najpogodnijeg metoda za izračunavanje potencijalne evapotranspiracije kulture koji će biti korišćen u okviru SPEI metoda na posmatranom području Vojvodine u ovom koraku se pristupa njenom izračunavanju odnosno fazi broj dva. Analizom obuhvaćene kulture su: kukuruz, soja, šećerna repa, lucerka, krompir, crni luk, kupus, pasulj, hmelj, duvan i ozima pšenica. Izbor kultura izvršen je na osnovu toga da li postoji Bioklimatski koeficijent i podaci o prinosima u javno dostupnim statističkim publikacijama. U prvom koraku izračunate su vrednosti ET_c primenom Bioklimatskog metoda uz korišćenje Hidrofitotermičkih koeficijenata (indeksa) koji su preuzeti iz literature, a dobijeni su višegodišnjim terenskim

istraživanjima brojnih autora. Za razliku ostalih kultura, vrednosti Hidrofitotermičkih koeficijenata za ozimu pšenicu dobijene su računskim putem konverzijom FAO koeficijenata kulture (Allen i sar.,1998) koji su određeni na području Vojvodine (Jaćimović, 2012), a ovaj predloženi postupak je eksperimentalno sproveden u ovoj disertaciji i planira se njegova detaljnija razrada sa primenom na druge kulture u nastavku istraživanja. Bioklimatski metod može biti korišćen u bilo kojem drugom regionu utvrđivanjem novih Hidrofitotermičkih koeficijenata (indeksa) jer je područje njihove primene ograničeno samo za reon za koji su eksperimentalno određeni.

Nakon izračunavanja evapotranspiracije kultura u narednom koraku se izračunava klimatski vodni bilans. Klimatski vodni bilans je izračunat kao razlika padavina i ET_0 isto kao kod originalnog SPEI indeksa (Vicente-Serrano i sar., 2010), sa tim što je za potrebe modifikacije ovog indeksa, ET_0 zamenjena sa ET_c kao i kod Moorhead i sar. (2015) i Pei i sar. (2019).

U sledećem koraku ovog pristupa potrebno je bilo odabrati adekvatnu teorijsku distribuciju kojoj se prilagođavaju empirijske vrednosti klimatskih vodnih bilansa kultura. Odabir adekvatne teorijske distribucije izvršen je na osnovu primene serije statističkih testova. Prema uzoru na radove koji se bave izučavanjem problematike odabira odgovarajuće teorijske distribucije u okviru SPEI i SPI indeksa (Vicente-Serrano i sar., 2010; Stagge i sar., 2015) korišćene su grafička metoda, odnosno dijagrami bezdimenzionalnih L-momenta (Hosking, 1990), kao i analitičke metode kao što su Anderson–Darling (A–D) test, Shapiro–Wilk (S–W) test i Akaike Information Criterion (AIC). Dijagrami bezdimenzionalnih L-momenta pokazali su da se empirijske serije vodnih bilansa kultura mogu modelirati sa više različitih teorijskih distribucija (generalizovana distribucija ekstremnih vrednosti - GEV, generalizovana logistička distribucija - GLO, Pearson tip III – P3 i normalna distribucija - N), dok su analitički testovi pokazali da je za potrebe izračunavanja modifikovanog SPEI na području Vojvodine najadekvatnije koristiti GEV teorijsku distribuciju jer je potvrđeno najbolje slaganje sa empirijskim nizom podataka klimatskog vodnog bilansa kultura. Ovi rezultati se razlikuju od rezultata Vicente-Serrano i sar. (2010) i Pei i sar. 2019. koji preporučuju korišćenje log-logističke distribucije u okviru originalnog indeksa SPEI, ali su u skladu sa istraživanjima Stagge i sar. (2015) koji su utvrdili da je na području Evrope adekvatnije koristiti GEV distribuciju.

Kao poslednji korak druge faze je izračunavanje modifikovanog indeksa SPEI prilagođenog za određeno područje od interesa i vezanog za određenu kulturu. Raspodela verovatnoća klimatskih vodnih bilansa je računata na osnovu GEV

zakona raspodele, a neophodni parametri lokacije, razmere i oblika procenjeni su iz uzorka metodom L-momenata (Stedinger i sar., 1993). Konačne vrednosti SPEI vezanog za kulturu se dobijaju transformacijom raspodele verovatnoća u standardnu normalnu distribuciju koristeći proceduru transformacije koja se bazira na aproksimaciji (Abramowitz i Stegun, 1965). Opisana procedura se bazira na procedurama računanja indeksa SPI i SPEI, sa tom razlikom što SPI koristi dvoparametarsku gama distribuciju (McKee i sar., 1993), dok SPEI koristi troparametarsku log-logističku raspodelu (Vicente-Serrano i sar., 2010). Kako je cilj disertacije razvoj pristupa prikazane su mogućnosti sagledavanja rezultata na različite načine koji mogu da budu od koristi analitičarima i donosiocima odluka na različitim nivoima u zavisnosti od potreba specifičnog istraživanja. Zbog velike količine izlaznih rezultata (analizirano je 9 meteoroloških stanica u periodu od 1971 do 2016 godine, 11 kultura, tri akumulaciona perioda odnosno 1, 2, 3 meseca) kroz nekoliko primera je ilustrovana mogućnost detaljnijeg prikaza rezultata pomoću GIS karata. Prostorni i vremenski razvoj uslova vlažnosti na teritoriji Vojvodine sa aspekta svih jedanaest posmatranih poljoprivrednih kultura detaljnije je prikazan i ilustrovan na kartama kreiranim u GIS-u korišćenjem IDW metode prostorne interpolacije na primeru jedne vegetacione sezone. Pored karata, vrednosti dobijenog indeksa prikazani su i putem grafika tipa *heatmap* gde su bojama predstavljene kategorije indeksa, što omogućava da se vizuelno lakše uoče promene i razlike vrednosti indeksa u vremenu i po kulturama. Grafici su formirani za svaku meteorološku stanicu i za sve analizirane kulture. Takođe, zbog velikog obima rezultata *heatmap* grafici su prikazani samo za pojedine izdvojene godine. Svi dobijeni rezultati za nizove podataka 1971 do 2016. za sve meteorološke stanice, sve kulture i sve akumulacione periode prikazani su putem dijagrama. Ovo su samo neki od vidova mogućnosti prikazivanja dobijenih rezultata, a oni se mogu prilagođavati konkretnoj analizi i potrebama specifičnog istraživanja.

Na prikazanim rezultatima može se uočiti da vrednosti indeksa po kulturama za posmatrani mesec i posmatranu stanicu uglavnom spadaju u istu kategoriju suše, ali se u određenim slučajevima javljaju i razlike u kategorijama suše za različite kulture. Ako se detaljnije posmatraju dobijeni rezultati može se uočiti da pored dobijenih bliskih vrednosti indeksa za različite kulture, vrednosti klimatskih vodnih bilansa, na kojima se bazira indeks, su različite. Tokom analize, zaključeno je da bi pri prikazivanju rezultata indeksa bilo korisno prikazati i konkretnu vrednost vodnog bilansa koji je veoma važan parametar jer se na osnovu njega mogu odrediti potrebe useva za navodnjavanje. Imajući u vidu da se dobijeni rezultati indeksa baziraju na vrednostima klimatskog vodnog bilansa posmatranih poljoprivrednih kultura, u okviru ovog

koraka prikazana je matematička procedura transformacije indeksa u vrednosti vodnog bilansa. Ovo omogućava da se i za bilo koje vrednosti indeksa koje se ne moraju javljati u vremenskoj seriji analiziranih rezultata dobiju odgovarajuće vrednosti vodnog bilansa. Kao na primer, analiza suše može da pokaže vrednost indeksa koju je potrebno pratiti odnosno koja je iz određenog razloga važna za posmatranu kulturu na području od interesa. U rezultatima je takođe prikazana i jedna od praktičnih primena predloženog indeksa koja se odnosi na mogućnost analize karakteristika sistema za navodnjavanje u odnosu na intenzitet suše.

Poslednja faza predloženog pristupa je validacija i njom se proverava efikasnost predloženog pristupa i dobijenog indeksa. Hao i Singh (2015) navode da ne postoji generalno pravilo za validaciju indeksa, pa su najčešće korišćene tehnike vremenske i prostorne komparacije sa opšte prihvaćenim indeksima kao što su SPI ili PDSI, kvalitativne komparacije sa zabeleženim pojavama suše i povratne informacije od strane eksperata. Vodeći se ovim stanovištem, kao poslednja faza predloženog pristupa je njegova validacija. Kako bi izbegli subjektivnost i predloženi pristup sagledali što realnije, izvršena je analiza sa više različitih aspekata. U prvom koraku predloženog pristupa vrši se poređenje indeksa sa relevantnim parametrima. Generalno gledano, u ovom koraku vrši se odabir nekih od relevantnih parametara (prinosi, istorijski zabeležene suše, potrebe za navodnjavanjem, povratne informacije od strane stručnjaka itd.) koji bi bili upoređeni sa modifikovanim indeksom u cilju validacije, odnosno provere njegove efikasnosti u praksi na određenom specifičnom području. U okviru predloženog pristupa u ovoj disertaciji definisano je da se izbor relevantnih parametara koji će biti poređeni sa dobijenim rezultatima vrši na osnovu njihove dostupnosti i kvaliteta na području od interesa. Za posmatrani konkretan slučaj odabrani su javno dostupni podaci o prinosima kultura u Vojvodini koji se mogu pronaći u statističkim godišnjacima i sličnim publikacijama. Poređenje sa prinosima u relevantnoj literaturi vršili su i drugi autori (npr. Tian i sar., 2018; Labudová i sar., 2017; Chen i sar., 2016; Potopová i sar., 2016; Potopová i sar., 2015; itd.) U ovoj disertaciji poređenje sa prinosima je posmatrano iz dve perspektive, tako što je prvo izvršeno poređenje dobijenih rezultata indeksa sa prosečnim prinosima za teritoriju Vojvodine, a zatim je izvršeno poređenje sa prosečnim prinosima na nivou pojedinačnih opština u Vojvodini. Pre nego što se pristupi analizi, važno je imati u vidu da vremenom dolazi do promena u poljoprivrednoj proizvodnji i samoj tehnologiji proizvodnje što dovodi do pojave trendova u prinosima poljoprivrednih kultura. Potopová i sar. (2016) citiraju Lobell i Asner (2003) koji ističu da kako bi se analizirao samo uticaj klimatskih uslova na prinos kultura neophodno je ukloniti trendove u vremenskim serijama prinosa. U skladu sa preporukama u

radovima (Potopová i sar. 2015; Hill i sar., 1980; Sun i sar., 2012; Wu i sar., 2004; Liu i sar., 2018), u ovoj disertaciji su trendovi u vremenskim serijama prinosa kultura uklonjeni korišćenjem linearne regresije i dobijeni reziduali "de-trendovanih" serija prinosa su dalje korišćeni u analizama. U skladu sa dostupnim podacima kod poređenja sa prosečnim prinosima Vojvodine analizirane su sve kulture za koje su računati indeksi (kukuruz, soja, šećerna repa, lucerka, krompir, crni luk, kupus, pasulj, hmelj, duvan i ozima pšenica). Povezanost je ocenjena na osnovu Pearson-ovog koeficijenta korelacije r za nivoe značajnosti od $\alpha = 0,05$ i $\alpha = 0,10$, a korišćene su agregirane vrednosti indeksa za teritoriju Vojvodine i prosečni prinosi analiziranih kultura u Vojvodini. Rezultati pokazuju da postoji statistički značajna korelacija između modifikovanih indeksa SPEI i prinosa posmatranih kultura u Vojvodini. Statistički značajna korelacija sa prinosima kukuruza, soje i lucerke je sa odgovarajućim indeksima (AD-SPEI_{kukuruz}, AD-SPEI_{soja}, AD-SPEI_{lucerka}) od maja do avgusta meseca za sva tri akumulaciona perioda. Statistički značajna korelacija sa prinosima šećerne repe je sa indeksima AD-SPEI1_{š.repa} u maju, junu i avgustu mesecu i sa indeksima AD-SPEI2_{š.repa} i AD-SPEI3_{š.repa} od juna do septembra. Statistički značajna korelacija sa prinosima krompira je sa indeksima AD-SPEI1_{krompir} u maju, junu i avgustu mesecu, sa AD-SPEI2_{krompir} u junu i AD-SPEI3_{krompir} u julu i avgustu. Statistički značajna korelacija sa prinosima crnog luka je sa indeksima AD-SPEI1_{luk} i AD-SPEI1_{luk} u maju i junu mesecu i sa AD-SPEI3_{luk} u junu i julu mesecu. Statistički značajna korelacija sa prinosima kupusa je sa indeksom AD-SPEI1_{kupus} u avgustu mesecu. Statistički značajna korelacija sa prinosima pasulja je sa indeksom AD-SPEI1_{pasulj} u junu i AD-SPEI2_{pasulj} u julu mesecu. Statistički značajna korelacija sa prinosima hmelja je sa indeksima AD-SPEI1_{hmelj} u aprilu, maju, junu i avgustu mesecu, sa indeksima AD-SPEI2_{hmelj} u maju i junu i sa indeksima AD-SPEI3_{hmelj} u junu, julu i avgustu mesecu. Statistički značajna korelacija sa prinosima ozime pšenice je sa indeksima AD-SPEI1_{pšenica} u martu, maju i junu mesecu, sa indeksima AD-SPEI2_{pšenica} u aprilu, maju i junu mesecu i sa indeksima AD-SPEI3_{pšenica} u maju i junu mesecu. Statistički značajna korelacija sa prinosima duvana je sa indeksima AD-SPEI1_{duvan} u maju, julu i avgustu mesecu, sa indeksima AD-SPEI2_{duvan} od juna do septembra i sa indeksima AD-SPEI3_{duvan} od jula do septembra meseca. Dobijeni rezultati pokazuju koje indekse (u kom mesecu i za koji akumulacioni period) treba pratiti ako se suša posmatra globalno za ceo region Vojvodine. Takođe, dobijeni rezultati pokazuju da postoji značajna veza između pojave suše detektovane modifikovanim indeksom i prinosa posmatranih kultura.

Na lokalnom nivou odnosno na nivou opština na kojima se nalaze meteorološke stanice Republičkog hidrometeorološkog zavoda Srbije takođe je

analizirana povezanost modifikovanih indeksa SPEI sa prinosima poljoprivrednih kultura. Analizirane su sledeće opštine: Novi Sad, Subotica, Sombor, Bečej, Kikinda, Zrenjanin, Vršac, Sremska Mitrovica i Beograd. Prikupljeni su prosečni godišnji prinosi sledećih kultura: kukuruz, šećerna repa, lucerka, krompir, pasulj i ozima pšenica. Podaci o prosečnim godišnjim prinosima na nivou opština preuzeti su iz Statističkih godišnjaka Republičkog zavoda za statistiku Srbije, u kojima podaci o prinosima u digitalnoj (tabelarnoj) formi postoje samo za period od 1996 do 2013. godine. U analizu su uzeti u razmatranje i podaci o prinosima soje sa eksperimentalnih polja Instituta za ratarstvo i povrtarstvo na Rimskim Šančevima za period od 1977 do 2004. godine. Slaganje prinosa kukuruza sa vrednostima indeksa u najvećem broju posmatranih opština je zabeleženo za indekse AD-SPEI_{1kukuruz} u junu i avgustu mesecu, AD-SPEI_{2kukuruz} od juna do avgusta i AD-SPEI_{3kukuruz} od jula do septembra meseca. Slaganje prinosa ozime pšenice sa vrednostima indeksa u najvećem broju posmatranih opština je zabeleženo za indekse AD-SPEI_{2pšenica} u aprilu i maju mesecu i za AD-SPEI_{3pšenica} u maju mesecu. Slaganje prinosa šećerne repe sa vrednostima indeksa u najvećem broju posmatranih opština je zabeleženo za indekse AD-SPEI_{1š.repa} i AD-SPEI_{2š.repa} u junu mesecu i za AD-SPEI_{3š.repa} u julu i avgustu mesecu. Slaganje prinosa lucerke sa vrednostima indeksa u najvećem broju posmatranih opština je zabeleženo za indeks AD-SPEI_{1lucerka} u junu i avgustu mesecu. Slaganje prinosa krompira sa vrednostima indeksa u najvećem broju posmatranih opština je zabeleženo za indeks AD-SPEI_{1krompir} u junu i avgustu mesecu, za AD-SPEI_{2krompir} u junu mesecu i za AD-SPEI_{3krompir} u julu i avgustu mesecu. Slaganje prinosa pasulja sa vrednostima indeksa u najvećem broju posmatranih opština je zabeleženo za indeks AD-SPEI_{1pasulj} u junu i za AD-SPEI_{2pasulj} u julu mesecu. Statistički značajna korelacija sa prinosima soje na Institutu za ratarstvo i povrtarstvo na Rimskim Šančevima je zabeležena sa indeksima AD-SPEI_{1soja} u julu i avgustu mesecu i sa indeksima AD-SPEI_{2soja} i AD-SPEI_{3soja} od jula do septembra meseca.

Korelacije sa prinosima kultura korišćene su kako bi se ispitale performanse indeksa AD-SPEI_{crop} i upotrebljivost predloženog pristupa na području Vojvodine. Dobijeni rezultati pokazuju da postoji značajna veza između pojave suše detektovane indeksom AD-SPEI_{crop} i prinosa posmatranih kultura. Visok stepen korelacije ukazuje da se indeks AD-SPEI_{crop} može koristiti za potrebe monitoringa poljoprivredne suše na području Vojvodine i da predloženi pristup može da se uspešno primeni i realizuje. Dobijeni rezultati u fazi validacije pokazuju da indeks AD-SPEI_{crop} ima dobre performanse u proceni uticaja suše na prinos useva, što potvrđuje efikasnost primene predloženog pristupa.

U narednom koraku faze tri, kako bi se dobio bolji uvid u kvalitet indeksa AD-SPEI_{crop} kao pouzdanog pokazatelja poljoprivredne suše izvršena je komparacija ovog indeksa sa originalnim indeksom SPEI. Drugim rečima, izvršena je komparacija stepena slaganja AD-SPEI_{crop} sa prinosima kultura u odnosu na stepen slaganja originalnog SPEI sa prinosima kultura. Komparacija je izvršena na osnovu korelacije indeksa sa "de-trendovanim" prinosima, odnosno na osnovu frekvencije odbacivanja koja predstavlja frekvenciju pojavljivanja vrednosti Pearson-ovog koeficijenta korelacije koja označava da slaganje nije statistički značajno prema pragu značajnosti od $\alpha = 0,05$. Na osnovu rezultata može se zaključiti da indeks AD-SPEI_{crop} ima bolje performanse kao pokazatelj suše sa aspekta posmatranih poljoprivrednih kultura u Vojvodini jer su za indekse AD-SPEI_{kukuruz}, AD-SPEI_{š.repa}, AD-SPEI_{lucerka}, AD-SPEI_{krompir}, AD-SPEI_{pasulj} i AD-SPEI_{pšenica} dobijene manje frekvencije odbacivanja Pearson-ovog koeficijenta korelacije u odnosu na originalni indeks SPEI, a frekvencije odbacivanja za AD-SPEI_{soja} sa Instituta za ratarstvo i povrtarstvo su jednake sa originalnim SPEI.

Na kraju je u cilju validacije indeksa AD-SPEI_{crop} izvršeno poređenje sa indeksima SPI, SPEI i SC-PDSI, koji su u literaturi i u praksi opšte prihvaćeni i najčešće primenjivani indeksi suše, odnosno indeksa uslova vlažnosti. U ovom pristupu, poređenje je izvršeno pomoću Pearson-ovog koeficijenta korelacije r i srednje apsolutne razlike (mean absolute difference - MAD). Na taj način vršeno je poređenje i u radu autora Naumann i sar. (2014) koji su vršili evaluaciju indeksa SPI, SPEI i SMA (Soil Moisture Anomalies) za portebe detektovanja suše u Africi; zatim u radu Tadesse i sar. (2017) gde su autori koristili ove statističke alate da bi ocenili slaganje VegDRI indeksa sa indeksom SC-PDSI u Kanadi; a autori Begueria i sar. (2014) su takođe sa istim statističkim alatima međusobno upoređivali indekse SPEI računane različitim metodama određivanja ET₀. U okviru ovog pristupa poređenje je izvršeno po kulturama (kukuruz, šećerna repa, lucerka, krompir, soja, hmelj, pasulj, crni luk, kupus, duvan i ozima pšenica), odnosno r i MAD su grupisani po indeksima AD-SPEI_{crop} koji su računati za svaku od devet posmatranih meteoroloških stanica. Korelacija je računata između indeksa AD-SPEI_{crop} i indeksa SPI, SPEI i SC-PDSI, a srednje apsolutne razlike su računane samo između indeksa AD-SPEI_{crop} i indeksa SPI, SPEI jer ovi indeksi koriste istu skalu i vrednosti su u istim opsezima za razliku od indeksa SC-PDSI. Takođe, poređenje je vršeno za periode akumulacije od jednog do tri meseca za indekse SPI, SPEI i AD-SPEI_{crop}, dok se indeks SC-PDSI ne može računati za različite vremenske skale, odnosno nema mogućnost posmatranja različitih perioda akumulacije.

Rezultati pokazuju da se indeksi AD-SPEI_{crop} za kukuruz, šećernu repu, lucerku, krompir, soju, pasulj, kupus i duvan u značajnoj meri slažu sa

indeksom SPI1, a indeksi AD-SPEI_{1crop} za hmelj, crni luk i pšenicu se u nešto manjoj meri slažu sa indeksom SPI1 u odnosu na ostale posmatrane kulture. Indeksi AD-SPEI_{2crop} kukuruz, šećernu repu, lucerku, krompir, soju, hmelj, pasulj, crni luk, kupus i duvan se u značajnoj meri slažu sa indeksom SPI2, a takođe i indeksi AD-SPEI_{3crop} za kukuruz, šećernu repu, lucerku, krompir, soju, hmelj, crni luk, kupus i duvan se u značajnoj meri slažu sa indeksom SPI3. Indeks AD-SPEI_{2crop} i AD-SPEI_{3crop} za ozimu pšenicu se u manjoj meri slaže sa indeksom SPI2 i SPI3 u odnosu na ostale posmatrane kulture. Rezultati ukazuju da indeksi AD-SPEI_{1,2,3crop} registruju uslove vlažnosti u približno istim periodima kao i indeks SPI_{1,2,3} ali da se kategorije uslova vlažnosti mogu razlikovati.

Rezultati poređenja indeksa AD-SPEI_{1crop} za kukuruz, šećernu repu, lucerku, krompir, soju, hmelj, pasulj, crni luk, kupus i duvan sa indeksom SPEI1 pokazuju da se indeksi u značajnoj meri slažu. Indeks AD-SPEI_{1crop} za pšenicu se u manjoj meri slaže sa indeksom SPEI1 u odnosu na ostale posmatrane kulture. Rezultati pokazuju da se indeksi AD-SPEI_{2crop} za sve posmatrane kulture u značajnoj meri slažu sa indeksom SPEI, a indeksi AD-SPEI_{3crop} za sve posmatrane kulture se u velikoj meri slažu sa indeksom SPEI3.

Može se zaključiti da indeksi AD-SPEI_{1,2,3crop} registruju uslove vlažnosti u približno istim periodima kao i indeks SPEI_{1,2,3} ali da se kategorije uslova vlažnosti mogu razlikovati. Zabeleženo je bolje slaganje AD-SPEI_{1crop} i SPEI3 kultura sa indeksom SPEI1 i SPEI3 nego sa indeksima SPI1 i SPI3.

Poređenje je pokazalo da postoji manji stepen slaganja indeksa AD-SPEI_{1,2,3crop} sa indeksom SC-PDSI u odnosu na indekse SPEI i SPI. Stepem slaganja sa SC-PDSI se povećava sa povećavanjem perioda akumulacije indeksa AD-SPEI_{crop}, što je razumljivo jer se indeks SC-PDSI računa za fiksni vremenski interval obično ne manji od 12 meseci.

Generalni zaključak poređenja indeksa AD-SPEI_{crop} sa u literaturi i praksi potvrđenim indeksima SPI, SPEI i SC-PDSI je da AD-SPEI_{crop} može uspešno detektovati sušne i vlažne periode kao i pomenuti indeksi, a sa obzirom da se bazira na vodnom bilansu poljoprivrednih kultura vrednosti indeksa adekvatnije karakterišu poljoprivrednu sušu. Rezultati pokazuju da modifikovani SPEI indeks ima dobru konzistentnost sa indeksima SPI, SPEI i SC-PDSI.

Bazirajući se na dobijenim rezultatima u fazi validacije, može se zaključiti da se predloženi ADM-SPEI pristup može praktično primeniti i da je dobijeni AD-

SPEI_{crop} indeks pouzdan i praktičan alat za potrebe monitoringa poljoprivredne suše i može biti uspešno primenjen u oblasti upravljanja vodama u poljoprivredi.

8. ZAKLJUČAK

U ovoj disertaciji je definisan pristup monitoringu poljoprivredne suše u Vojvodini koji objedinjuje više poznatih i priznatih metoda i kritičko mišljenje eksperata zasnovano na njihovom znanju i iskustvu i pri tome uzima u obzir lokalne specifičnosti agroklimatskih uslova. Predloženi pristup prvenstveno je opisan generalno kroz tri faze i pripadajuće korake, a njegova detaljno prikazana metodološka i matematička osnova omogućava da se primeni u bilo kojem drugom delu sveta i modifikuje za različite agroklimatske uslove. Definisan pristup je primenjen na području Vojvodine i detaljno analiziran. Kreiranjem pristupa monitoringu poljoprivredne suše baziranom na SPEI indeksu na području Vojvodine, u skladu sa ciljevima disertacije, dobijen je modifikovani indeks vezan za određenu kulturu koji odražava lokalne agroklimatske uslove i koji je jednostavan, precizan i praktičan za upotrebu.

Predstavljeni pristup monitoringu poljoprivredne suše na području Vojvodine baziran je na modifikovanom SPEI indeksu. Kreiranju pristupa monitoringu poljoprivredne suše prethodilo je istraživanje koje se tiče uticaja ET_0 na rezultate SPEI indeksa. Time se potvrdila polazna pretpostavka da različiti metodi za izračunavanje ET_0 u okviru SPEI indeksa daju značajno različite vrednosti indeksa na području Vojvodine i iz tog razloga je važno koristiti metod koji najviše odgovara specifičnom području od interesa. U okviru predloženog pristupa široko primenjivani i prihvaćeni indeks suše SPEI je modifikovan i povezan sa specifičnom kulturom što omogućava da se suša, odnosno uslovi vlažnosti analiziraju individualno za specifičnu ratarsku ili povrtarsku kulturu u agroklimatskim uslovima Vojvodine. To je izvršeno zamenom ET_0 u originalnoj formulaciji SPEI indeksa sa ET_c . Ova modifikacija izvršena je uključivanjem ekspertskog mišljenja odnosno intervjuisanjem više stručnjaka različitih ekspertiza iz domena korišćenja i upravljanja vodama u poljoprivredi što je omogućilo da se dođe do grupne odluke koja u najvećoj meri reprezentuje lokalne agroklimatske prilike. U tu svrhu upotrebljen je AHP metod kao podrška odlučivanju kako bi se dobile individualne odluke stručnjaka i da bi se u narednom koraku dobila jedna grupna odluka o najpogodnijem metodu za izračunavanje ET_0 , odnosno ET_c . Bioklimatski metod zasnovan na Hidrofitotermičkim koeficijentima, izabran je grupnom odlukom, baziranom na ekspertskom mišljenju sa stanovišta više važnih kriterijuma. Ovaj metod je jednostavan, praktičan i široko izučavan i primenjivan na području Vojvodine. Prateći dalje proceduru originalnog SPEI indeksa izračunati su klimatski vodni bilansi kultura. Zatim je statističkim metodama odabrana odgovarajuća teorijska distribucija za koju je potvrđeno najbolje slaganje sa empirijskim vrednostima klimatskog vodnog bilansa kultura. Za razliku od originalnog

SPEI indeksa koji koristi log-logističku distribuciju utvrđeno je da se generalizovana distribucija ekstremnih vrednosti najbolje slaže sa empirijskim vrednostima klimatskog vodnog bilansa kultura na području Vojvodine. Dobijene vrednosti modifikovanog indeksa prikazane su na više načina kako bi se ilustrovale različite mogućnosti tumačenja dobijenih rezultata i fleksibilnost prilagođavanja različitim analizama. Rezultati primene predloženog pristupa omogućavaju sagledavanje poljoprivredne suše na detaljniji i praktičniji način i u odnosu na značajne gajene kulture. U cilju validacije predloženog pristupa izvršene su sledeće analize: ispitivanje povezanosti indeksa sa prinosima kultura, kako na lokalnom nivou opština tako i na nivou cele teritorije Vojvodine; poređenje stepena slaganja sa prinosima kultura u odnosu na originalni indeks SPEI; komparacija sa opšte priznatim i prihvaćenim indeksima suše (SPI, SPEI i SC-PDSI). Dobijeni rezultati korelacione analize pokazuju da modifikovani SPEI indeks ima dobre performanse u proceni uticaja suše na prinos useva. Prema dobijenim rezultatima postoji značajna veza između pojave suše detektovane modifikovanim indeksom i prinosa posmatranih kultura. Takođe, utvrđen je veći stepen slaganja sa prinosima posmatranih useva u odnosu na originalni indeks SPEI. Poređenjem sa opšte priznatim i prihvaćenim indeksima suše (SPI, SPEI i SC-PDSI) utvrđeno je da $AD-SPEI_{crop}$ indeks može uspešno detektovati sušne i vlažne periode kao i pomenuti indeksi, a sa obzirom da se bazira na vodnom bilansu poljoprivrednih kultura, vrednosti indeksa adekvatnije karakterišu poljoprivrednu sušu. Bazirajući se na dobijenim rezultatima u fazi validacije može se zaključiti da predloženi pristup monitoringu poljoprivredne suše na području Vojvodine baziran na SPEI indeksu može biti uspešno primenjen i sa dobrim performansama, odnosno da indeks $AD-SPEI_{crop}$, dobijen kao rezultat ovog pristupa, predstavlja adekvatan pokazatelj poljoprivredne suše na području Vojvodine.

Kao što je već pomenuto, pri definisanju ovog pristupa, široko primenjivani i prihvaćeni indeks suše SPEI se povezao sa specifičnom kulturom što je omogućilo da se suša odnosno uslovi vlažnosti analiziraju individualno za specifičnu ratarsku ili povrtarsku kulturu. Pristup omogućava, za razliku od originalnog SPEI indeksa, i direktnu transformaciju indeksa u vrednosti klimatskog vodnog bilansa određene kulture. Time indeks odražava potrebe useva za vodom, što može predstavljati osnovu za racionalnije planiranje i upravljanje vodnim resursima za potrebe poljoprivredne proizvodnje. Sagledavanjem suše i sa tog aspekta omogućava analizu mogućnosti sistema za navodnjavanje u borbi protiv suše. Jedna od praktičnih primena predloženog indeksa je analiza mogućnosti zalivnih sistema u odnosu na intenzitet suše odnosno mogućnost sistema da odbrani posmatranu kulturu od pojave suše

određenog intenziteta. Pored navedenog, u rezultatima indeksa mogu se uočiti i razlike među posmatranim kulturama u pojedinim slučajevima.

Rezultat predloženog pristupa odnosno izračunate vrednosti modifikovanog indeksa mogu da se prikažu na brojne načine i sa raznih aspekata u zavisnosti od potreba konkretne analize. U disertaciji su prikazani samo neki od vidova mogućnosti prikazivanja dobijenih rezultata, a fleksibilnost sagledavanja rezultata na različite načine može da bude od velike koristi analitičarima i donosiocima odluka na različitim nivoima u zavisnosti od njihovih specifičnih potreba. Prednost ovog pristupa se ogleda u njegovoj fleksibilnosti da se prilagodi specifičnim lokalnim uslovima i njegovoj mogućnosti da integriše važne informacije i mišljenje eksperata u cilju dobijanja što preciznijih informacija o karakteristikama poljoprivredne suše. Različite regionalne analize, koje primena predloženog pristupa odnosno modifikovanog indeksa omogućava, mogu da služe da se identifikuju najugroženija područja i kulture, da se sagleda razvoj suše u prostoru i vremenu sa aspekta kultura, da se otkrije za koje kulture su bili najlošiji uslovi vlažnosti, da se sagledaju potrebe za navodnjavanjem kultura u prostoru i vremenu itd. Neki od primera ovih analiza za određene specifične godine, kulture ili pojedine regione mogu se videti u disertaciji. Obzirom na to da je cilj u ovoj disertaciji bio razvoj i predstavljanje pristupa monitoringu poljoprivredne suše, pravci budućih istraživanja mogu da se odnose na primenu ovog pristupa odnosno sprovođenje ovih vidova analiza mnogo detaljnije i na nivou cele regije, što bi za rezultat imalo konkretne zaključke koji bi bili od velike koristi pri regionalnom planiranju na području Vojvodine. Navedene mogućnosti primene modifikovanog indeksa u predloženom pristupu mogu biti od značaja kako bi se pri regionalnom planiranju na različitim nivoima donošenja odluka dao prioritet određenim područjima za izgradnju hidromelioracionih objekata, birale kulture otpornije na sušu i blagovremeno planirala poljoprivredna proizvodnja.

Upotrebna vrednost ovog pristupa ogleda se u tome što njegovi rezultati mogu biti od koristi za potrebe upravljanja vodnim resursima u poljoprivredi i merama prilagođavanja poljoprivredne proizvodnje budućim sušnim događajima. Dobijene informacije primenom predloženog pristupa, bazirane na dugogodišnjim istorijskim podacima, mogu da budu od velikog značaja kako bi se u budućnosti predupredile štete od suša, odnosno kako bi se pružila blagovremena informacija i da bi se pripremili i na odgovarajući način reagovali na buduće sušne događaje kako donosioci odluka na državnom i regionalnom nivou, tako i poljoprivredni proizvođači, razne poljoprivredne i trgovačke kompanije, osiguravajuća društva i drugi subjekti pogođeni sušom.

Takođe, iako je pristup monitoringu poljoprivredne suše kreiran za područje Vojvodine u disertaciji je detaljno opisan i generalni pristup koji može da se modifikuje, prilagodi i primeni u bilo kojim drugim klimatskim uslovima na nekom drugom području.

9. LITERATURA

1. Abramowitz M, Stegun A (eds), 1965. Handbook of Mathematical Formulas, Graphs, and Mathematical Tables. Dover Publications, Inc.: New York.
2. Aguarón J, Escobar M.T., Moreno-Jiménez J.M., 2016. The precise consistency consensus matrix in a local AHP-group decision making context. *Annals of Operations Research*, 245(1-2), 245-259.
3. Agwata J.F., 2014. A review of some indices used for drought studies. *Civil and Environmental research*, 6(2), 14-21.
4. Alliot P, Thompson C., Thomson P., 2011. Mixed methods for fitting the GEV distribution. *Water Resources Research*, 47(5).
5. Akaike H., 1974. A new look at the statistical model identification. *IEEE transactions on automatic control*, 19(6), 716-723.
6. Akkala A., Devabhaktuni V., Kumar, A., 2010. Interpolation techniques and associated software for environmental data. *Environmental progress & sustainable energy*, 29(2), 134-141.
7. Aksić M., N. Deletić N. Gudžić N., Gudžić S., Stojković S., 2008. Hidrofitometeorološki indeksi duvana tipa Virdžinija. *Journal of Agricultural Sciences*, 53(2) 91-97.
8. Alexandris S., Kerkides P., Liakatas A., 2006. Daily reference evapotranspiration estimates by the "Copais" approach. *Agricultural Water Management*, 82, 371-386.
9. Alexandris S., Stricevic R., Petkovic S., 2008. Comparative analysis of reference evapotranspiration from the surface of rainfed grass in central Serbia, calculated by six empirical methods against the Penman-Monteith formula. *European Water*, 21(22), 17-28.
10. Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M., 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56., FAO, Rome, Italy.
11. Alley W.M., 1984. The Palmer drought severity index: limitations and assumptions. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23(7), 1100-1109.
12. Amidror I., 2002. Scattered data interpolation methods for electronic imaging systems: a survey. *Journal of electronic imaging*, 11(2), 157-176.
13. Anderson M.C., Hain C., Wardlow B., Pimstein A., Mecikalski J.R., Kustas W.P., 2011. Evaluation of drought indices based on thermal remote sensing of evapotranspiration over the continental United States. *Journal of Climate*, 24(8), 2025-2044.
14. Anderson T.W., Darling D.A., 1952. Asymptotic theory of certain "goodness of fit" criteria based on stochastic processes. *The annals of mathematical statistics*, 23(2), 193-212.
15. Anderson T.W., Darling D.A., 1954. A test of goodness of fit. *Journal of the American statistical association*, 49(268), 765-769.
16. Armenski T., Stankov U., Dolinaj D., Mesaroš M., Jovanović M., Pantelić M., Pavić D., Popov S., Popović L., Frank A., Ćosić Đ., 2014. Social and economic impact of drought on stakeholders in agriculture. *Geographica Pannonica*, 18(2), 34-42.
17. Arshad M., Rasool M.T., Ahmad M.I., 2003. Anderson Darling and Modified Anderson Darling Tests for Generalized Pareto Distribution. *Pakistan Journal of Applied Sciences*, 3(2), 85-88.
18. Azpurua M.A., Ramos K.D., 2010. A comparison of spatial interpolation methods for estimation of average electromagnetic field magnitude. *Progress in electromagnetics research*, 14, 135-145.
19. Bachmair S., Stahl K., Collins K., Hannaford J., Acreman M., Svoboda M., Knutson C., Smith K.H., Wall N., Fuchs B., Crossman N.D., 2016a. Drought indicators revisited: the need for a wider consideration of environment and society. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 3(4), 516-536.
20. Bachmair S., Svensson C., Hannaford J., Barker L.J., Stahl, K., 2016b. A quantitative analysis to objectively appraise drought indicators and model drought impacts. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(7), 2589.
21. Bachmair S., Tanguy M., Hannaford J., Stahl K., 2016c. How useful are meteorological drought indicators to assess agricultural drought impacts across Europe? In *Geophysical Research Abstracts, Proceedings of the EGU General Assembly 2016, Vienna, Austria, 17-22 April, 2016*, 8085.
22. Bachmair S., Tanguy M., Hannaford J., Stahl K., 2018. How well do meteorological indicators represent agricultural and forest drought across Europe? *Environmental Research Letters*, 13(3), 034042.
23. Baltas E., 2007. Spatial distribution of climatic indices in northern Greece. *Meteorological Applications*, 14(1), 69-78.
24. Beguería S., Vicente-Serrano S.M., Angulo-Martínez M., 2010. A multiscalar global drought dataset: the SPEIbase: a new gridded product for the analysis of drought variability and impacts. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 91(10), 1351-1356.
25. Beguería S., Vicente-Serrano S.M., Reig F., Latorre B., 2014. Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring. *International Journal of Climatology*, 34(10), 3001-3023.
26. Benka P., Bezdan A., Grabić J., Gregorič G., Salvai A., 2010. Application of geostatistical interpolation methods for

- drought indices mapping. *Contemporary Agriculture*, 59(3-4), 363-370.
27. Benka P., Bezdan A., Grabić J., Salvai A., 2011. Mogućnost praćenja suše primenom karata SPI. *Melioracije*, 11, 1-9.
 28. Bergman K.H., Sabol P., Miskus, D., 1988. Experimental Indices for Monitoring Global Drought Conditions. *Proceedings of 13th Annual Climate Diagnostics Workshop*, US Department of Commerce, Cambridge, MA.
 29. Bezdan A., 2014. Procena rizika od suficita i deficita vode na melioracionom području. *Doktorska disertacija*. Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
 30. Bezdan A., Benka P., Grabić J., Salvai A., Marković S., 2011. Spatial comparison of drought indices for the region of Serbia, 22nd International Symposium "Food safety production", Bosna i Hercegovina, 19 - 25. Jun., *Proceedings*, University of Novi Sad, Faculty of Agriculture, 22(1), 509 - 511.
 31. Bezdan A., Benka P., Grabić J., Salvai A., 2012. Estimation of Agricultural Drought Vulnerability Using GIS Tools: A Case Study of Vojvodina Region (Serbia). In *Proceedings of the Balwois 2012, Macedonia*, 28 May-2 June 2012.
 32. Bezdan A., Bezdan J., 2019. Comparison of the performance of SPI, STI and SPEI for agricultural drought monitoring in Vojvodina region. In *Geophysical Research Abstracts, Proceedings of the EGU General Assembly 2019*, Vienna, Austria, 7-12 April, 2019, 8516.
 33. Bezdan A., Draginčić J., Pejić B., Blagojević B., Mesaroš M., 2017. Poređenje metoda za izračunavanje referentne evapotranspiracije na području meteorološke stanice Rimski Šančevi. *Letopis naučnih radova Poljoprivrednog fakulteta*, 41(2), 61-67.
 34. Bhalme H.N., Mooley D.A., 1980. Large-scale droughts/floods and monsoon circulation. *Monthly Weather Review*, 108(8), 1197-1211.
 35. Bhuiyan C., 2004. Various drought indices for monitoring drought condition in Aravalli terrain of India. In *Proceedings of the XXth ISPRS Congress*, Istanbul, Turkey, 12-23.
 36. Blagojević B., 2015. Minimizacija odstupanja grupe od individualnih odluka primenom inteligentnih stohastičkih algoritama u problemima vodoprivrede i poljoprivrede. *Doktorska disertacija*. Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
 37. Blagojević B., Srdjević Z., Bezdan A., Srdjević B., 2016. Group decision-making in land evaluation for irrigation: a case study from Serbia. *Journal of Hydroinformatics*, 18(3), 579-598.
 38. Blagojević B., Srđević B., Srđević Z., Zoranović T., 2017. Grupno odlučivanje pomoću Analitičkog hijerarhijskog procesa. *Letopis naučnih radova poljoprivrednog fakulteta*, 41(1), 30-39.
 39. Blagojević B., Srđević Z., Srđević B., Suvočarev K., 2010. Rangiranje korisnika kredita za opremu za navodnjavanje pomoću Analitičkog hijerarhijskog procesa. *Vodoprivreda*, 42(246-248), 213-222.
 40. Blagojević B., Srđević B., Srđević Z., Lakićević M., 2012. Allocation of budget funds on agricultural loan programs: group consensus decision making in the Provincial Fund for Agricultural Development of Vojvodina Province in Serbia. *Industrija*, 40(3), 57-70.
 41. Blaney H.F., Criddle W.D., 1950. Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data. *USDA Soil Cons. Ser. Tech Paper 96*.
 42. Blauhut V., Gudmundsson L., Stahl K., 2015. Towards pan-European drought risk maps: quantifying the link between drought indices and reported drought impacts. *Environmental Research Letters*, 10(1), 014008.
 43. Blauhut V., Stahl K., Stagge J.H., Tallaksen L.M., De Stefano L., 2016. Estimating drought risk across Europe from reported drought impacts, drought indices, and vulnerability factors. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(7), 2779-2779.
 44. Bošnjak Đ., 1982. Evaporacija sa slobodne vodene površine kao osnova zalivnog režima i njen odnos prema ETP kukuruza i soje. *Doktorska disertacija*. Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
 45. Bošnjak Đ., 1983a. Influence of meteorological elements on soybean evapotranspiration in climatic conditions of Vojvodina. *Contemporary agriculture*, 31, 217-232.
 46. Bošnjak Đ., 1983b. Evaporacija sa slobodne vodene površine kao osnova zalivnog režima i njen odnos prema ETP kukuruza i soje. *Arhiv za poljoprivredne nauke*, 44(155), 323-344.
 47. Bošnjak Đ., 1991. Zalivni režim lucerke u agroekološkim uslovima Vojvodine. *Zbornik radova Poljoprivrednog fakulteta, Instituta za ratarstvo i povrtarstvo Novi Sad*, 19, 235-245.
 48. Bošnjak Đ., 1993. Potencijalna evapotranspiracija suncokreta u klimatskim uslovima Vojvodine. *Savremena poljoprivreda*, 40, 51-53.
 49. Bošnjak Đ., 1994. Potrebe krompira za vodom u klimatskim uslovima Vojvodine. *Savremena poljoprivreda*, 42, 436-440.
 50. Bošnjak Đ., 1999. Navodnjavanje poljoprivrednih useva. *Poljoprivredni fakultet, Novi Sad*.
 51. Bošnjak Đ., 2001. Problemi Suše u Vojvodini i mere borbe protiv njih. *Zbornik radova Instituta za ratarstvo i povrtarstvo*, 35, 391-401.
 52. Bošnjak Đ., Gvozdenović D., Moldovan S., 1994. Potrebe za vodom kruške Viljamovke u klimatskim uslovima Vojvodine. *Jugoslovensko voćarstvo*, 28, 47-55.
 53. Botai C.M., Botai J.O., Dlamini L.C., Zwane N.S., Phaduli E., 2016. Characteristics of Droughts in South Africa: A Case Study of Free State and North West Provinces. *Water*, 8(10), 439.
 54. British Columbia Ministry of Agriculture, 2015. Soil Water Storage Capacity and Available Soil Moisture. *Water Conservation Fact Sheet*.
 55. Brouwer C., Heibloem M., 1986. Irrigation water management: irrigation water needs. *Training manual 3*, FAO,

- Rome, Italy.
56. Brown J.F., Wardlow B.D., Tadesse T., Hayes M.J., Reed B.C., 2008. The Vegetation Drought Response Index (VegDRI): a new integrated approach for monitoring drought stress in vegetation. *GIScience & Remote Sensing*, 45, 16–46.
 57. Burnham K.P., Anderson D. R., 2002. *Model Selection and Multimodel Inference: A practical information-theoretic approach* (2nd ed.), Springer-Verlag, New York.
 58. Burrough P.A., McDonnell R., 1988. *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford University Press, Oxford.
 59. Byun H.R., Wilhite D.A., 1996. Daily quantification of drought severity and duration. *Journal of Climate*, 5, 1181–1201.
 60. Chandrasekar K., Sessa Sai M.V.R., Roy P.S., Dwevedi R.S., 2010. Land Surface Water index (LSWI) response to rainfall and NDVI using the MODIS vegetation index product. *International Journal of Remote Sensing*, 31, 3987–4005.
 61. Chapman L., Thornes J.E., 2003. The use of geographical information systems in climatology and meteorology. *Progress in physical geography*, 27(3), 313–330.
 62. Chen H., Sun J., 2015. Changes in drought characteristics over China using the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 28(13), 5430–5447.
 63. Chen T., Xia G., Liu T., Chen W., Chi D., 2016. Assessment of drought impact on main cereal crops using a standardized precipitation evapotranspiration index in Liaoning Province, China. *Sustainability*, 8(10), 1069.
 64. Childs C., 2004. Interpolating surfaces in ArcGIS spatial analyst. *ArcUser*, July–September, 3235, 569.
 65. CIAGRO, 2012. Integrated Center of Agrometeorological Information. <http://www.infoseca.sp.gov.br/>, (pristupljeno: avgust 2018).
 66. Condon E., Golden B., Wasil E., 2003. Visualizing group decisions in the analytic hierarchy process. *Computers & Operations Research*, 30(10), 1435–1445.
 67. Cruz-Blanco M., Lorite I.J., Santos C., 2014. An innovative remote sensing based reference evapotranspiration method to support irrigation water management under semi-arid conditions. *Agricultural water management*, 131, 135–145.
 68. Čekerevac Z., Anđelić S., Glumac S., Dragović N., 2010. Savremene tendencije primene GIS tehnologija. *Međunarodna naučna konferencija: Menadžment 2010*, Kruševac, 17–18.
 69. Červenski J., Takač A., 2012. Growing cabbage as a double crop in Serbia. *Ratarstvo i povrtarstvo*, 49(1), 75–79.
 70. Dai A., 2011. Drought under global warming: a review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2(1), 45–65.
 71. Das P.K., Dutta D., Sharma J.R., Dadhwal V.K., 2016. Trends and behaviour of meteorological drought (1901–2008) over Indian region using standardized precipitation–evapotranspiration index. *International Journal of Climatology*, 36(2), 909–916.
 72. De Martonne, E., 1925. *Traité de Géographie Physique*, A. Colin, Paris.
 73. De Smith M. J., Goodchild M. F., Longley P. A., 2009. *Geospatial Analysis: a Comprehensive Guide to Principles, Techniques and Software Tools*, Leicester, UK.
 74. De Smith M.J., Goodchild M.F., Longley P., 2018. *Geospatial analysis: a comprehensive guide to principles, techniques and software tools*, 6th edition. <http://www.spatialanalysisonline.com>
 75. Delignette-Muller M.L., Dutang C., 2015. *fitdistrplus: An R package for fitting distributions*. *Journal of Statistical Software*, 64(4), 1–34.
 76. Demirović D., 2016. *Konkurentnost Vojvodine kao destinacije ruralnog turizma*, Doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Novi Sad.
 77. Doesken N.J., Garen D., 1991. Drought Monitoring in the Western United States using a Surface Water Supply Index. *Preprints, Seventh Conference on Applied Climatology*, Salt Lake City, UT. American Meteorology Society, 266–269.
 78. Doesken N.J., McKee T.B., Kleist J., 1991. Development of a Surface Water Supply Index for the Western United States. *Climatology Report 91-3*, Colorado Climate Center, Colorado State University.
 79. Dong Y., Zhang G., Hong W.C., Xu, Y., 2010. Consensus models for AHP group decision making under row geometric mean prioritization method. *Decision Support Systems*, 49(3), 281–289.
 80. Doorenbos J., Pruitt W.O., 1977. *Crop water requirement: food and agriculture organization of the United Nations*. FAO Irrigation and Drainage Paper 24.
 81. Dozet G., Crnobarac J., Balešević-Tubić S., Đukić V., Vukosav M., 2008. The influence of row spacing on fertile node number of soybean under irrigation conditions. *Acta Agriculturae Serbica*, 13(25), 33–39.
 82. Draginčić J., Korac N., Blagojević B., 2015. Group multi-criteria decision making (GMCDM) approach for selecting the most suitable table grape variety intended for organic viticulture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 111, 194–202.
 83. Draginčić J., Vranešević M., 2014. AHP-based group decision making approach to supplier selection of irrigation equipment. *Water resources*, 41(6), 782–791.
 84. Draginčić J., Bezdan A., Pejić B., 2018. Comparison of SPEI indices calculated using the different evapotranspiration equations. In *Proceedings of the 7th International Symposium on Agricultural Sciences*

- "AgroReS 2018", Banja Luka, Bosnia and Herzegovina, 28 February–2 March 2018.
85. Draginčić J., Bezdan A., Pejić B., Mesaroš A., Blagojević B., 2017. Analiza pojave suše na području severnog Banata. *Letopis naučnih radova Poljoprivrednog fakulteta*, 41(2), 77-84.
 86. Dragović S., Maksimović L., 1995. Drought phenomenon and its ' impact on crop yields in the Vojvodina Province, Yugoslavia. In: Vermes L., and Mihalyfy A., (eds) *Proceedings of International Workshop on 'Drought in the Carpatians Region'*, 207– 217, Hungarian National Committee on Irrigation and Drainage, Budapest.
 87. Dragović S., 1973. Navodnjavanje šećerne repe u uslovima različitog nivoa ishrane na černozeu. *Doktorska disertacija*, Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
 88. Dragović S., 2001. Potrebe i efekti navodnjavanja na povećanje i stabilizaciju prinosa u poljoprivrednim područjima Srbije. *Zbornik radova Instituta za ratarstvo i povrtarstvo*, (35), 445-456.
 89. Dragović S., 2012. Effect of irrigation on field crops yield under the variable agro-climatic conditions of Serbia. *Agriculture & Forestry*, 54(08), 1-4.
 90. Đuricin S., Savić S., Bodroža D., Cvijanović G., Đorđević S., 2016. Climate change impacts on agricultural water management: challenge for increasing crop productivity in Serbia. *Ekonomika Poljoprivrede*, 63(4), 1333-1346.
 91. Đukić V., Mihailović V., 2012. Kritička analiza savremenih metoda za proračun referentne evapotranspiracije. *Glasnik Šumarskog fakulteta*, 106, 57-70.
 92. Edwards D.C., McKee T.B., 1997. Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. *Atmospheric Science*, 634, 1–30.
 93. Erdogan S., 2009. A comparison of interpolation methods for producing digital elevation models at the field scale. *Earth surface processes and landforms*, 34(3), 366-376.
 94. Erhardt T.M., Czado C., 2015. Standardized drought indices: A novel uni-and multivariate approach. *arXiv preprint arXiv:1508.06476*.
 95. Fan L., Wang H., Wang C., Lai W., Zhao Y., 2017. Exploration of Use of Copulas in Analysing the Relationship between Precipitation and Meteorological Drought in Beijing, China. *Advances in Meteorology*, 2017.
 96. Fisher J.B., Whittaker R.J., Malhi Y., 2011. ET come home: potential evapotranspiration in geographical ecology. *Global Ecology and Biogeography*, 20(1), 1-18.
 97. Food and Agriculture Organization, 1983. *Guidelines: Land evaluation for Rainfed Agriculture*. FAO Soils Bulletin 52, Rome, Italy.
 98. Forman E., Peniwati K., 1998. Aggregating individual judgments and priorities with the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 108(1), 165–169.
 99. Frank A., 2016. Razvoj metodologije za procenu indikatora u cilju unapređenja klimatološke suše. *Doktorska disertacija*, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad.
 100. Frank A., Armenski T., Gocić M., Popov S., Popović L., Trajković S., 2017. Influence of mathematical and physical background of drought indices on their complementarity and drought recognition ability. *Atmospheric Research*, 194, 268-280.
 101. Gallego-Ayala J., Juárez D., 2014. Integrating stakeholders' preferences into water resources management planning in the Incomati river basin. *Water resources management*, 28(2), 527-540.
 102. Ganapuram S., Nagarajan N., Balaji V., 2013. Village-level drought vulnerability assessment using geographic information system (GIS). *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, 3(3), 1-10.
 103. Gao B., 1996. NDWI: A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58(3), 257–266.
 104. Gao S., Zhang Z., Cao C., 2010. Calculating Weights Methods in Complete Matrices and Incomplete Matrices. *JSW*, 5(3), 304-311.
 105. García-Valdecasas Ojeda M., Gámiz-Fortis S.R., Castro-Díez Y., Esteban-Parra M.J., 2017. Evaluation of WRF capability to detect dry and wet periods in Spain using drought indices. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 122(3), 1569-1594.
 106. Gavilan P., Lorite I.J., Tornero S., Berengena J., 2006. Regional calibration of Hargreaves equation for estimating reference ET in a semiarid environment. *Agricultural Water Management*, 81(3), 257-281.
 107. Gavrić M., Sekulić P., 2004. Primena GIS-a i GPS-a u poljoprivredi. *Zbornik radova Instituta za ratarstvo i povrtarstvo*, (40), 171-178.
 108. Gibbs W.J., Maher J.V., 1967. Rainfall Deciles as Drought Indicators. *Bureau of Meteorology Bulletin No. 48*, Melbourne, Australia.
 109. Giles D.E., 2001. A saddlepoint approximation to the distribution function of the Anderson-Darling test statistic. *Communications in Statistics-Simulation and Computation*, 30(4), 899-905.
 110. Gocić M., Trajković S., 2010. Software for estimating reference evapotranspiration using limited weather data. *Computers and Electronics in Agriculture*, 71(2), 158-162.
 111. Gocić M., Petković D., Shamshirband S., Kamsin A., 2016. Comparative analysis of reference evapotranspiration equations modelling by extreme learning machine. *Computers and Electronics in Agriculture*, 127, 56-63.
 112. Gocić M., Trajković S., 2014a. Spatiotemporal characteristics of drought in Serbia. *Journal of Hydrology*, 510, 110-123.
 113. Gocić M., Trajković S., 2014b. Analysis of trends in reference evapotranspiration data in a humid

- climate. *Hydrological Sciences Journal*, 59(1), 165-180.
114. Gocic M., Trajkovic S., 2014c. Drought characterisation based on water surplus variability index. *Water resources management*, 28(10), 3179-3191.
115. Gocic M., Trajkovic S., 2013. Analysis of precipitation and drought data in Serbia over the period 1980–2010. *Journal of Hydrology*, 494, 32-42.
116. Gocic M., Motamedi S., Shamshirband S., Petković D., Ch S., Hashim R., Arif, M., 2015. Soft computing approaches for forecasting reference evapotranspiration. *Computers and Electronics in Agriculture*, 113, 164-173.
117. Gocic M., Motamedi S., Shamshirband S., Petković D., Hashim R., 2015a. Potential of adaptive neuro-fuzzy inference system for evaluation of drought indices. *Stochastic environmental research and risk assessment*, 29(8), 1993-2002.
118. Gong J., Li Z., Zhu Q., Sul H., Zhou Y., 2000. Effects of various factors on the accuracy of DEMs: an intensive experimental investigation. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 66(9), 1113-1118.
119. Gulácsi A., Kovács F., 2015. Drought Monitoring with Spectral Indices Calculated from Modis Satellite Images in Hungary. *Journal of Environmental Geography*, 8(3-4), 11-20.
120. Gumbel E.J., 1963. Statistical forecast of droughts. *Hydrological sciences journal*, 8 (1), 5-23.
121. Gusyev M.A., Hasegawa A., Magome J., Kuribayashi D., Sawano H., Lee S., 2015. Drought Assessment in the Pampanga River Basin, the Philippines. Part 1: A Role of Dam Infrastructure in Historical Droughts. *Proceedings of the 21st International Congress on Modelling and Simulation (MODSIM 2015)*, Broadbeach, Queensland, Australia.
122. Guttman N.B., 1999. Accepting the standardized precipitation index: A calculation algorithm. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 35(2), 311-322.
123. Haboudane D., Miller J.R., Pattey E., Zarco-Tejada P.J., Strachan I.B., 2004. Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: Modeling and validation in the context of precision agriculture. *Remote sensing of environment*, 90(3), 337-352.
124. Halwatura D., Lechner A.M., Arnold S., 2015. Drought severity–duration–frequency curves: a foundation for risk assessment and planning tool for ecosystem establishment in post-mining landscapes. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19(2), 1069-1091.
125. Hansen V.E., Israelsen O.W., Stringham G.E., 1979. *Irrigation principles and practices*. John Wiley and Sons, NY.
126. Hao Z., AghaKouchak A., 2013. Multivariate standardized drought index: a parametric multi-index model. *Advances in Water Resources*, 57, 12-18.
127. Hao Z., AghaKouchak A., Nakhjiri N., Farahmand A., 2014. Global integrated drought monitoring and prediction system. *Scientific Data*, 1, 1–10.
128. Hao Z., Hao F., Singh V.P., Xia Y., Ouyang W., Shen X., 2016. A theoretical drought classification method for the multivariate drought index based on distribution properties of standardized drought indices. *Advances in Water Resources*, 92, 240-247.
129. Hao Z., Singh V.P., 2015. Drought characterization from a multivariate perspective: A review. *Journal of Hydrology*, 527, 668-678.
130. Hargreaves L.G., Hargreaves G.H., Riley J.P., 1985. Irrigation water requirements for Senegal river basin. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 111(3), 265–275.
131. Hargreaves G.H., Samani Z.A., 1982. Estimating potential evapotranspiration. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, 108, 223-230.
132. Hargreaves G.H., Samani Z.A., 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied engineering in agriculture*, 1(2), 96-99.
133. Harker P.T., 1987. Incomplete pairwise comparisons in the analytic hierarchy process. *Mathematical Modelling*, 9(11), 837-848.
134. Hayes M., Svoboda M., Wall N., Widhalm M., 2011. The Lincoln declaration on drought indices: universal meteorological drought index recommended. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 92(4), 485-488.
135. Hayes M.J., 2006. Drought Indices. *Van Nostrand's Scientific Encyclopedia*. John Wiley & Sons, Inc.
136. Hayes M.J., Svoboda M.D., Wardlow B.D., Anderson M.C., Kogan F., 2012. Drought monitoring: Historical and current perspectives.
137. Hazaymeh K., Hassan Q.K., 2016. Remote sensing of agricultural drought monitoring: a state of art review. *AIMS Environmental Science*, 3(4), 604-630.
138. Heim Jr.R.R. 2002. A review of twentieth-century drought indices used in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(8), 1149-1165.
139. Henry A.J., 1906. *The Climatology of the United States*. Washington: Government print off.
140. Heo J.H., Shin H., Nam W., Om J., Jeong C., 2013. Approximation of modified Anderson–Darling test statistics for extreme value distributions with unknown shape parameter. *Journal of hydrology*, 499, 41-49.
141. Herold N., Ekström M., Kal, J., Goldie J., Evans J.P., 2018. Australian climate extremes in the 21st century according to a regional climate model ensemble: Implications for health and agriculture. *Weather and climate extremes*, 20, 54-68.
142. Heywood I., Cornelius S, Carver S., 1998. *An Introduction to Geographical Information Systems*. Upper Saddle Creek, New Jersey: Prentice Hall.

143. Hill J.D., Strommen N.D., Sakamoto C.M., Leduc S.K., 1980. LACIE—An application of meteorology for United States and foreign wheat assessment. *Journal of Applied Meteorology*, 19(1), 22-34.
144. Ho W., 2008. Integrated analytic hierarchy process and its applications—A literature review. *European Journal of operational research*, 186(1), 211-228.
145. Hosking J.R.M., (1986). The theory of probability weighted moments. Research Report RC12210, IBM Research Division, Yorktown Heights, N.Y.
146. Hosking J.R.M., Wallis J.R., 1995. A Comparison of Unbiased and Plotting-Position Estimators of L Moments, *Water Resources Research*, 31(8), 2019-2025.
147. Hosking J.R., Wallis J.R., Wood E.F., 1985. Estimation of the generalized extreme-value distribution by the method of probability-weighted moments. *Technometrics*, 27(3), 251-261.
148. Hosking J.R.M., 1990. L-Moments: Analysis and Estimation of Distributions Using Linear Combinations of Order Statistics. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 52, 105-124.
149. Hrnjak I., Lukić T., Gavrilov, M.B., Marković S.B., Unkašević M., Tošić I., 2014. Aridity in Vojvodina, Serbia. *Theoretical and applied climatology*, 115(1-2), 323-332.
150. <http://www.real-statistics.com> (pristupljeno: oktobar 2018.)
151. <http://www.vodevojvodine.com/> (pristupljeno: april 2017.)
152. Huete A., Didan K., Miura T., Rodriguez E.P., Gao X., Ferreira L.G., 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 83(1), 195–213.
153. Huete A.R., 1988. A Soil-adjusted Vegetation Index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25(3), 295–309.
154. Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, 2015. Strategija upravljanja vodama na teritoriji Republike Srbije - analiza i istraživanja, Vlada Republike Srbije, Ministarstvo poljoprivrede i zaštite životne sredine, Beograd.
155. Irmak S., Allen R.G., Whitty E.B., 2003. Daily grass and alfalfa-reference evapotranspiration estimates and alfalfa-to-grass evapotranspiration ratios in Florida. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 129(5), 360-370.
156. Ishizaka A., Labib A., 2011. Review of the main developments in the analytic hierarchy process. *Expert systems with applications*, 38(11), 14336-14345.
157. Jackson R.D., Kustas W.P., Choudhury B.J., 1988. A reexamination of the crop water stress index. *Irrigation Science*, 9(4), 309–317.
158. Jaćimović G., (2012). Optimiranje mineralne ishrane pšenice u zavisnosti od vremenskih uslova godine. Doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
159. Jaćimović G., Malešević M., Aćin V., Marinković B., Crnobarac J., Latković D., Lalić B., Pejić B., 2013. Effects of drought on yield of winter wheat in long-term field trial and Vojvodina province. *Research Journal of Agricultural Science*, 45(3), 98-107.
160. Josimov-Dunđerski J., 2009. Eko-hidrološki uslovi za primenu mokrih polja u Vojvodini. Doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
161. Jensen M.E., Haise H.R., 1963. Estimating evapotranspiration from solar radiation. *Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 89, 15-41.
162. Jensen M.E., Burman, R.D., Allen, R.G., 1990. *Evapotranspiration and irrigation water requirements*. ASCE, New York, NY.
163. Jiang R., Xie J., He H., Luo J., Zhu J., 2015. Use of four drought indices for evaluating drought characteristics under climate change in Shaanxi, China: 1951–2012. *Natural Hazards*, 75(3), 2885-2903.
164. Karl T.R., 1986. The Sensitivity of the Palmer Drought Severity Index and Palmer's Z-Index to Their Calibration Coefficients Including Potential Evapotranspiration. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 25(1), 77-86.
165. Katić B., Popov Z., Čorba Z., Dumnić B., Porobić V., Ruman A., Nenadov V., Belić D., Ivanković D., Drašković M., 2008. Atlas vetrova AP Vojvodine. Novi Sad: Fakultet tehničkih nauka, Pokrajinski sekretarijat za energetiku i mineralne sirovine, Novi Sad.
166. Katić P., Đukanović D., Đaković P., 1979. Klima SAP Vojvodine, Poljoprivredni fakultet u Novom Sadu-Institut za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad.
167. Katz R.W., Glatz M.H., 1986. Anatomy of a rainfall index. *Monthly Weather Review*, 114(4), 764–771.
168. Keetch J.J., Byram, G.M., 1968. A Drought Index for Forest Fire Control. United States Department of Agriculture, Forest Service Research Paper SE-38, Southeastern Forest Experiment Station, Asheville, NC.
169. Keyantash J., Dracup J.A., 2002. The quantification of drought: an evaluation of drought indices. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(8), 1167-1180.
170. Keyantash J.A., Dracup, J.A., 2004. An aggregate drought index: assessing drought severity based on fluctuations in the hydrologic cycle and surface water storage. *Water Resources Research*, 40(9), W09304.
171. Kišgeci J., 1974. Vodni režim biljaka hmelja u različitim uslovima navodnjavanja i mineralne ishrane. Doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
172. Kogan F.N., 1990. Remote sensing of weather impacts on vegetation in non-homogeneous areas. *International Journal of Remote Sensing*, 11(8), 1405–1419.
173. Kogan F.N., 1995a. Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polarorbiting satellite data. *Bulletin of the American Meteorology Society*, 76(5), 655–668.
174. Kogan F.N., 1995b. Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. *Advances in Space Research*, 15(11), 91–100.

175. Kogan F.N., 1997. Global drought watch from space. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78, 621–636.
176. Kogan F.N., 2001. Operational space technology for global vegetation assessments. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 82(9), 1949–1964.
177. Kolaković S., 2006. Sistemi za navodnjavanje. Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad.
178. Kraus E.B., 1977. Subtropical droughts and cross-equatorial energy transports. *Monthly Weather Review*, 105(8), 1009–1018.
179. Kroll C.N., Vogel R.M., 2002. Probability distribution of low streamflow series in the United States. *Journal of Hydrologic Engineering*, 7(2), 137–146.
180. Kumar M., Raghuvanshi N.S., Singh R., 2011. Artificial neural networks approach in evapotranspiration modeling: a review. *Irrigation science*, 29(1), 11–25.
181. Labudová L., Labuda M., Takáč J., 2017. Comparison of SPI and SPEI applicability for drought impact assessment on crop production in the Danubian Lowland and the East Slovakian Lowland. *Theoretical and applied climatology*, 128(1-2), 491–506.
182. Laio F., 2004. Cramer–von Mises and Anderson–Darling goodness of fit tests for extreme value distributions with unknown parameters. *Water Resources Research*, 40(9).
183. Lalić B., Mihailović D.T., Podrašćanin Z., 2011. Buduće stanje klime u Vojvodini i očekivani uticaj na ratarsku proizvodnju. *Field & Vegetable Crops Research/Ratarstvo i povrtarstvo*, 48(2), 403–418.
184. Lee S.H., Maeng S.J., 2003. Frequency analysis of extreme rainfall using L-moment. *Irrigation and Drainage*, 52, 219–230.
185. Lessel J., Sweeney A., Ceccato P., 2016. An agricultural drought severity index using quasi-climatological anomalies of remotely sensed data. *International Journal of Remote Sensing*, 37(4), 913–925.
186. Lin C., Kou G., 2015. Bayesian revision of the individual pair-wise comparison matrices under consensus in AHP–GDM. *Applied soft computing*, 35, 802–811.
187. Linseley Jr. R.K., Kohler M.A., Paulhus J.L.H., 1959. *Applied Hydrology*. McGraw Hill, New York.
188. Liu X., Zhu X., Pan Y., Li S., Liu Y., Ma Y., 2016. Agricultural drought monitoring: Progress, challenges, and prospects. *Journal of Geographical Sciences*, 26(6), 750–767.
189. Liu W.T., Kogan F.N., 1996. Monitoring regional drought using the Vegetation Condition Index. *International Journal of Remote Sensing*, 17(14), 2761–2782.
190. Liu X., Pan Y., Zhu X., Yang T., Bai J., Sun Z., 2018. Drought evolution and its impact on the crop yield in the North China Plain. *Journal of hydrology*, 564, 984–996.
191. Lloyd-Hughes B., Saunders M.A., 2002. A drought climatology for Europe. *International journal of climatology*, 22(13), 1571–1592.
192. Lobell D.B., Asner G.P., 2003. Climate and management contributions to recent trends in US agricultural yields. *Science*, 299(5609), 1032–1032.
193. Löpemier F.J., 1994. The calculation of soil moisture and evapotranspiration with agro-meteorological models. *Zeitschrift f. Bewässerungswirtschaft*, 29, 157–167.
194. Lu L.H., Stedinger J.R., 1992. Variance of two-and three-parameter GEV/PWM quantile estimators: formulae, confidence intervals, and a comparison. *Journal of Hydrology*, 138(1-2), 247–267.
195. Ly S., Charles C., Degré A., 2013. Different methods for spatial interpolation of rainfall data for operational hydrology and hydrological modeling at watershed scale: a review. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, 17(2), 392–406.
196. Lyon B., 2004. The strength of El Niño and the spatial extent of tropical drought. *Geophysical Research Letters*, 31(21).
197. Ma M., Ren L., Yuan F., Jiang S., Liu Y., Kong H., Gong L., 2014. A new standardized Palmer drought index for hydro-meteorological use. *Hydrological processes*, 28(23), 5645–5661.
198. Maksimović L., Pejić B., Milić S., Radojević V., 2005. Efekat navodnjavanja na evapotranspiraciju i prinos soje. *Vodoprivreda*, 37, 239–244.
199. Maksimović L., Dragović S., 2002. Effect of sugar beet irrigation in different environmental growing conditions. *Zbornik radova Instituta za ratarstvo i povrtarstvo*, (36), 43–56.
200. Maksimović L., Karagić Đ., Bošnjak Đ., 2006. Određivanje bioklimatskih koeficijenata kupusa. *Zbornik Radova-A Periodical of Scientific Research on Field & Vegetable Crops*, 42(2), 99–107.
201. Manić E., 2010. Geografski informacioni sistemi i prostorne analize u trgovini, CID – Ekonomski fakultet Univerzitet u Beogradu, Beograd.
202. Manić E., Gajović V., Popović S., 2016. Geografski Informacioni Sistemi U Poljoprivredi (The Geographic Information Systems In Agriculture). *Ekonomске ideje i praksa*, 21,45–58.
203. Marinčić D., 2007. 3D modeli i vizualizacija u GIS-okružju. *Geodetski list*, 61(4), 273–282.
204. Marinković B., Crnobarac J., Brdar S., Antić B., Jaćimović G., Crnojević V., 2009. Data mining approach for predictive modeling of agricultural yield data. In *Proc. First Int Workshop on Sensing Technologies in Agriculture, Forestry and Environment (BioSense09)*, Novi Sad, Serbia, 1–5.
205. Marković V., Nagy I., Sik A., Perge K., Laszlo P., Papatoma-Köhle M., Promper C., Glade, T., 2016. Assessing drought and drought-related wildfire risk in Kanjiza, Serbia: the SEERISK methodology. *Natural Hazards*, 80(2),

- 709-726.
206. Martínez-Fernández J., González-Zamora A., Sánchez N., Gumuzzio A., Herrero-Jiménez C.M., 2016. Satellite soil moisture for agricultural drought monitoring: Assessment of the SMOS derived Soil Water Deficit Index. *Remote Sensing of Environment*, 177, 277-286.
 207. McKee T.B., Doesken N.J., Kleist J., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, 17 (22), 179-184.
 208. Me Zhensheng, Ding Yuguo, 1990. *Climate Statistics, 1963*. Beijing: Science Press, 1990. (in Chinese)
 209. Medved I., Pribičević B., Medak D., Kuzmanić I., 2010. Usporedba metoda interpolacije batimetrijskih mjerenja za praćenje promjena volumena jezera. *Geodetski list*, 64(2), 71-86.
 210. Mendicino G., Versace P., 2007. Integrated drought watch system: a case study in Southern Italy. *Water resources management*, 21(8), 1409-1428.
 211. Mesaroš M., Pavić D., 2006. Mogućnosti upotrebe GIS-a u geomorfološkim proučavanjima na primeru Fruške gore, *Zbornik radova Departmana za geografiju, turizam i hotelijerstvo*, 35, 237-245.
 212. Meshram S.G., Gautam R., Kahya E., 2017. Drought analysis in the Tons River Basin, India during 1969-2008. *Theoretical and Applied Climatology*, 132(3-4), 939-951.
 213. Meyer S.J., K.G. Hubbard, Wilhite, D.A., 1993. A Crop-specific Drought Index for corn. I. Model development and validation. *Agronomy Journal*, 85, 388-395.
 214. Meza F.J., 2013. Recent trends and ENSO influence on droughts in Northern Chile: An application of the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *Weather and Climate extremes*, 1, 51-58.
 215. Miah M.G., Abdullah H.M., Jeong C., 2017. Exploring standardized precipitation evapotranspiration index for drought assessment in Bangladesh. *Environmental monitoring and assessment*, 189(11), 547.
 216. Mihailović D.T., 1988. *Osnove meteoroloških osmatranja i obrade podataka*. Poljoprivredni fakultet, Institut za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad.
 217. Mihailović D.T., Lalić B., Arsenić I., Malinović S., 2004. Klimatski uslovi za proizvodnju semena. U: Milošević M., Malešević M. (ured.), *Semenarstvo*. Naučni institut za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad, 1, 243-266.
 218. Mihailović D.T., Lalić B., Drešković N., Mimić G., Djurdjević V., Jančić M., 2015. Climate change effects on crop yields in Serbia and related shifts of Köppen climate zones under the SRES-A1B and SRES-A2. *International Journal of Climatology*, 35(11), 3320-3334.
 219. Milanovic M., Gocic M.L., Trajkovic S., 2015. Analysis of meteorological and agricultural droughts in Serbia. *Facta Universitatis, Series: Architecture and Civil Engineering*, 253-264.
 220. Milovanov D., 1972. *Hidrosistem Dunav-Tisa-Dunav, Vodoprivredno preduzeće Dunav-Tisa-Dunav*, 1972.
 221. Mir S.A., Padma T., 2017. Evaluation and prioritization of rice production practices and constraints under temperate climatic conditions using Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP). *Spanish Journal of Agricultural Research*, 14(4), 0909.
 222. Misaghian N., Shamsirband S., Petković D., Gocic M., Mohammadi K., 2017. Predicting the reference evapotranspiration based on tensor decomposition. *Theoretical and Applied Climatology*, 130(3-4), 1099-1109.
 223. Mishra A.K., Ines A.V., Das N.N., Khedun C.P., Singh V.P., Sivakumar B., Hansen J.W., 2015. Anatomy of a local-scale drought: Application of assimilated remote sensing products, crop model, and statistical methods to an agricultural drought study. *Journal of Hydrology*, 526, 15-29.
 224. Mishra A.K., Desai V.R., 2005. Spatial and temporal drought analysis in the Kansabati river basin, India. *International Journal of River Basin Management*, 3(1), 31-41.
 225. Mishra A.K., Singh V.P., 2010. A review of drought concepts. *Journal of hydrology*, 391(1), 202-216.
 226. Mitchell K.E., Lohman D., Houser P.R., Wood E.F., Schaake J.C., Robock A., Cosgrove B.A., Sheffield J., Duan Q., Luo L., Higgins R.W., Pinker J., Tarpley D., Lettenmaier D., Marshall C., Entin J., Pan M., Shi W., Koren V., Meng J., Ramsay B., Bailey A., 2004. The multi-institution North American Land Data Assimilation System (NLDAS): utilizing multiple GCIP products and partners in a continental distributed hydrological modelling system. *Journal of Geophysical Research*, 109.
 227. Modarres R., 2007. Streamflow drought time series forecasting. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 21, 223-233.
 228. Mohammed A.A., Naugler C., Far B.H., 2015. Emerging business intelligence framework for a clinical laboratory through big data analytics. *Emerging trends in computational biology, bioinformatics, and systems biology: algorithms and software tools*. New York: Elsevier/Morgan Kaufmann, 577-602.
 229. Montazar A., Zadbagher E., 2010. An analytical hierarchy model for assessing global water productivity of irrigation networks in Iran. *Water resources management*, 24(11), 2817-2832.
 230. Moorhead J. E., 2012. *Crop-specific drought indices for groundwater management in the Texas High Plains*. Doctoral dissertation. Canyon, Tex.: West Texas A&M University, Department of Agriculture.
 231. Moorhead J.E., Gowda P.H., Marek T.H., Porter D.O., Howell T.A., Singh V.P., Stewart, B.A., 2013. Use of Crop-Specific Drought Indices for Determining Irrigation Demand in the Texas High Plains. *Applied engineering in agriculture*, 29(6), 905-916
 232. Moorhead J.E., Gowda P.H., Singh V.P., Porter D.O., Marek T.H., Howell T.A., Stewart B.A., 2015. Identifying and Evaluating a Suitable Index for Agricultural Drought Monitoring in the Texas High Plains. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 51(3), 807-820.

233. Moran M. S., Clarke T. R., Inoue Y., Vidal A., 1994. Estimating crop water deficit using the relation between surface-air temperature and spectral vegetation index. *Remote Sensing of Environment*, 49(3), 246–263.
234. Morid S., Smakhtin V., Moghaddasi M., 2006. Comparison of seven meteorological indices for drought monitoring in Iran. *International journal of climatology*, 26(7), 971-985.
235. Nalbantis I., Tsakiris G., 2008. Assessment of hydrological drought revisited. *Water Resources Management*, 23(5), 881–897.
236. Nam W.H., Choi J.Y., Yoo S.H., Engel B.A., 2012. A real-time online drought broadcast system for monitoring soil moisture index. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 16(3), 357-365.
237. Narasimhan B., Srinivasan R., 2005. Development and evaluation of Soil Moisture Deficit Index (SMDI) and Evapotranspiration Deficit Index (ETDI) for agricultural drought monitoring. *Agricultural and Forest Meteorology*, 133(1), 69–88.
238. Naumann G., Dutra E., Barbosa P., Pappenberger F., Wetterhall F., Vogt J. V., 2014. Comparison of drought indicators derived from multiple data sets over Africa. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18, 1625–1640.
239. Naumann G., Spinoni J., Vogt J.V., Barbosa P., 2015. Assessment of drought damages and their uncertainties in Europe. *Environmental Research Letters*, 10(12), 124013.
240. NDMC (National Drought Mitigation Center), 2013. U.S. Drought Monitor. <https://droughtmonitor.unl.edu/> (pristupljeno: mart 2018.)
241. Niemeier S., 2008. New drought indices. *Options Méditerranéennes. Série A: Séminaires Méditerranéens*, 80, 267-274.
242. NIST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods, <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/> (pristupljeno: februar 2019.)
243. Okada H., Styles S.W., Grismer M.E., 2008. Application of the Analytic Hierarchy Process to irrigation project improvement: Part I. Impacts of irrigation project internal processes on crop yields. *Agricultural Water Management*, 95(3), 199-204.
244. Palchadhuri M., Biswas S., 2013. Analysis of meteorological drought using Standardized Precipitation Index: a case study of Puruliya District, West Bengal, India. *International Journal of Environmental Earth Science and Engineering*, 7(3), 6-13.
245. Palmer W.C., 1965. *Meteorological drought* (Vol. 30). Washington, DC: US Department of Commerce, Weather Bureau.
246. Palmer W.C., 1968. Keeping Track of Crop Moisture Conditions, Nationwide: The New Crop Moisture Index. *Weatherwise*, 21(4), 156-161.
247. Pavlović A., 2012. Posledice suše u Srbiji. U: Centar za upravljanje sušom za jugoistočnu Evropu – DMCSEE, Rezime rezultata projekta, Republički hidrometeorološki zavod Srbije, Beograd.
248. Pedro-Monzonis M., Solera A., Ferrer J., Estrela T., Paredes-Arquiola J., 2015. A review of water scarcity and drought indexes in water resources planning and management. *Journal of Hydrology*, 527, 482-493.
249. Peel M.C., Wang Q.J., Vogel R.M., McMahon T.A., 2001. The utility of L-moment ratio diagrams for selecting a regional probability distribution. *Hydrological Sciences Journal*, 46(1), 147-155.
250. Pei W., Fu Q., Liu D., Li T., 2019. A Drought Index for Rainfed Agriculture: the Standardized Precipitation Crop Evapotranspiration Index (SPCEI). *Hydrological Processes*, 33(5), 803-815.
251. Pejić B., 1993. Analiza vodnog bilansa i vlažnosti zemljišta kao osnove zalivnog režima soje. Magistarski rad, Univerzitet u Novom sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
252. Pejić B., Bošnjak Đ., Mačkić K., Stričević R., Simić D., Drvar A., 2009a. Osetljivost kukuruza (*Zea mays* L.) na deficit vode u zemljištu u određenim podperiodima vegetacije. *Letopis naučnih radova Poljoprivrednog fakulteta*, 33(1), 155-166.
253. Pejić B., Bošnjak Đ., Mačkić K., Rajić M., Josipović M., Jug I., Maksimović L., 2012a. Yield and water use efficiency of irrigated soybean in Vojvodina, Serbia. *Ratarstvo i povrtarstvo*, 49(1), 80-85.
254. Pejić B., Bošnjak Đ., Mačkić K., Gvozdanović-Varga J., Stričević R., Janković D., 2012b. Effect of deficit readily available water in soil on morphological characteristics, yield and yield components of onion. *Letopis naučnih radova Poljoprivrednog fakulteta*, 36(1), 44-52.
255. Pejić B., Gajić B., 2006. Water balancing-bioclimatic method as a functional approach to precise irrigation. *Journal of the Romanian National Society of Soil Science*, 40(1), 45-50.
256. Pejić B., Gvozdanović-Varga J., Vasić M., Milić S., 2008. Water balance, bioclimatic method as a base of rational irrigation regime of onion. In IV Balkan Symposium on Vegetables and Potatoes 830, 355-362.
257. Pejić B., Čupina B., Dimitrijević M., Petrović S., Milić S., Krstić Dj., Jaćimović G., 2011b. Response of sugar beet to water deficit. *Romanian Agricultural Research*, 28, 151-155.
258. Pejić B., Jaćimović G., Latković D., Bošnjak Đ., Marinković B., Mačkić K., 2011f. Indeks aridnosti kao osnova analize uticaja režima padavina i temperature vazduha na prinose kukuruza u Vojvodini. *Ratar. Povrt*, 48(1), 195-202.
259. Pejić B., Kresović B., Tapanarova A., Gajić B., Mačkić K., 2013. Effects of water stress on water use and yield of maize. *Contemporary Agriculture - Savremena Poljoprivreda*, 62(1-2), 35-45.
260. Pejić B., Maheshwari B. L., Šeremešić S., Stričević R., Pacureanu-Joita M., Rajić M., Čupina B., 2011d. Water-yield relations of maize (*Zea mays* L.) in temperate climatic conditions. *Maydica*, 56 (4), 315-321.

261. Pejić B., Maksimović L., Cimpeanu S., Bucur D., Milic S., Cupina B., 2011a. Response of soybean to water stress at specific growth stages. *Journal of Food Agriculture & Environment*, 9(1), 280-284.
262. Pejić B., Mačkić K., Mikić A., Čupina B., Peksen E., Krstić D., Antanasović S., 2013b. Effect of water stress on the yield of cowpea (*Wigna unguiculata* (L.) Walp.) in temperate climatic conditions. *Contemporary Agriculture*, 62(3-4), 160-168.
263. Pejić B., Maksimović L., Karagić Đ., Milić S., Cupina B., 2006. Vodni bilans, bioklimatski postupak kao osnova racionalanog režima zalivanja sudanske trave. *Zbornik Radova-A Periodical of Scientific Research on Field & Vegetable Crops*, 42(2), 51-60.
264. Pejić B., Maksimović L., Škorić D., Milić S., Stričević R., Čupina B., 2009b. Effect of water stress on yield and evapotranspiration of sunflower/Effecto del estrés hídrico sobre el rinde y apotranspiración de girasol/Effet du stress hydrique sur le rendement et l'évapotranspiration du tournesol. *Helia*, 32(51), 19-32.
265. Pejić B., Rajić M., Bošnjak Đ., Mačkić K., Jaćimović G., Jug D., Stričević R., 2011c. Primena referentne evapotranspiracije za obračun utroška vode na evapotranspiraciju kukuruza u klimatskim uslovima vojvodine. *Letopis naučnih radova Poljoprivrednog fakulteta*, 35(1), 32-46.
266. Pejić B., Vujkov N., 2002. The effect of irrigation on morphological characteristics, yield components and yield of forage maize. *Letopis naučnih radova Poljoprivrednog fakulteta*, 26(1), 111-117.
267. Peters A.J., Walter-Shea E.A., Vina L. Ji, A., Hayes M., Svoboda M.D., 2002. Drought Monitoring with NDVI-Based Standardized Vegetation Index. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 68(1), 71-75.
268. Popović Lj., 2017. Model osiguranja useva od rizika suše. *Doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*.
269. Potop V., Boroneanț C., Možný M., Štěpánek P., Skalák, P., 2014. Observed spatiotemporal characteristics of drought on various time scales over the Czech Republic. *Theoretical and applied climatology*, 115(3-4), 563-581.
270. Potop V., Možný M., 2011a. Examination of the effect of evapotranspiration as an output parameter in SPEI drought index in Central Bohemian region. In *Bioclimate: source and limit of social development. International Scientific Conference, Topolčianky, Slovakia*, 6-9.
271. Potop V., Možný M., 2011b. The application a new drought index—Standardized precipitation evapotranspiration index in the Czech Republic. *Mikroklima a mezoklima krajinných struktur a antropogenních prostředí*, 2, 2-14.
272. Potopová V., Štěpánek P., Možný M., Türkott L., Soukup J., 2015. Performance of the standardised precipitation evapotranspiration index at various lags for agricultural drought risk assessment in the Czech Republic. *Agricultural and Forest Meteorology*, 202, 26-38.
273. Potopová V., Boroneanț C., Boincean B., Soukup J., 2016. Impact of agricultural drought on main crop yields in the Republic of Moldova. *International Journal of Climatology*, 36(4), 2063-2082.
274. Priestley C.H.B., Taylor R.J., 1972. On the assessment of surface heatflux and evaporation using largescale parameters. *Monthly Weather Review*, 100, 81-92.
275. Pržulj N., Dragović S., Malešević M., Momčilović V., Mladenov N., 1998. Comparative performance of winter and spring malting barleys in semiarid growing conditions. *Euphytica*, 101(3), 377-382.
276. Quiring S.M., 2009. Monitoring drought: an evaluation of meteorological drought indices. *Geography Compass*, 3(1), 64-88.
277. Radić Z.M., Mihailović V., 2010. Marginalne raspodele dnevnih proticaja na reprezentativnim profilima u Srbiji. *Vodoprivreda*, 42(243-245), 17-38.
278. Rajić M., Rajić R., 2005. A comparison of methods for estimating reference crop evapotranspiration in south Backa region. *Savremena poljoprivreda*, 54(3-4), 492-497.
279. Rajić M., Zemunac R., 2017. Poređenje različitih metoda za ocenu suše na području Južne Bačke. *Letopis naučnih radova poljoprivrednog fakulteta*, 42(1), 68-76.
280. Ramanathan R., Ganesh L.S., 1994. Group preference aggregation methods employed in AHP: an evaluation and an intrinsic process for deriving members' weightages. *European Journal of Operational Research*, 79, 249-265.
281. Ravindranath A., Devineni N., Lall U., Concha Larrauri P., 2018. Season-ahead forecasting of water storage and irrigation requirements—an application to the southwest monsoon in India. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(10), 5125-5141.
282. Razal, N.M., Wah Y.B., 2011. Power comparisons of shapiro-wilk, kolmogorov-smirnov, lilliefors and anderson-darling tests. *Journal of statistical modeling and analytics*, 2(1), 21-33.
283. Regan H.M., Colyvan M., Markovchick-Nicholls L., 2006. A formal model for consensus and negotiation in environmental management. *Journal of environmental management*, 80(2), 167-176.
284. Republički hidrometeorološki zavod Srbije, <http://www.hidmet.gov.rs>. (pristupljeno: mart 2019.)
285. Rodell M., Houser P., Jambor U., Gottschalck J., Mitchell K., Meng C.-J., Arsenault K., Cosogrove B., Radakovich J., Bosilovich M., Entin J., Walker J., Lohmann D., Toll D., 2004. The Global Land Data Assimilation System. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 85(3), 381-394.
286. Royston P., 1992. Approximating the Shapiro-Wilk W-Test for non normality. *Statistics and Computing*, 2(3), 117-119.
287. Saaty T., 1977. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology* 15, 234-281.

288. Saaty T.L., 1980. The analytic hierarchy process. McGraw-Hill, New York.
289. Samani Z., 2000. Estimating solar radiation and evapotranspiration using minimum climatological data. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 126(4), 265-267.
290. Sandholt I., Rasmussen K., Andersen J., 2002. A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status. *Remote Sensing of Environment*, 79(2), 213-224.
291. Savić R., Pejić B., Ondrašek G., Vranešević M., Bezdan A., 2013. Iskorišćenost prirodnih resursa Vojvodine za navodnjavanje. *Agroznanje*, 14(1), 133-142.
292. Schneider S.H. (Ed.), 1996. *Encyclopaedia of Climate and Weather*. Oxford University Press, New York.
293. Selyaninov G.T., 1928. About climate agricultural estimation. *Proceedings on Agricultural Meteorology*, 20, 165-177.
294. Sepulcre-Canto G., Horion S., Singleton A., Carrao H., Vogt, J., 2012. Development of a Combined Drought Indicator to detect agricultural drought in Europe. *Natural Hazards and Earth Systems Sciences*, 12, 3519-3531.
295. Shafer B.A., Dezman L.E., 1982. Development of a Surface Water Supply Index (SWSI) to Assess the Severity of Drought Conditions in Snowpack Runoff Areas. *Proceedings of the Western Snow Conference* 50, 164-175.
296. Shahid S., Behrawan H., 2008. Drought risk assessment in the western part of Bangladesh. *Natural Hazards*, 46(3), 391-413.
297. Shahidian S., Serralheiro R., Serrano J., Teixeira J., Haie N., Santos F., 2012. Hargreaves and other reduced-set methods for calculating evapotranspiration. *Evapotranspiration-Remote Sensing and Modeling*. A. Irmak (Ed.) In Tech, 4, 59-80.
298. Shapiro S.S., Wilk M.B., 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52(3-4), 591-611.
299. Shuttleworth W.J., Wallace J.S., 1985. Evaporation from sparse crops - an energy combination theory. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 111, 839-855.
300. Singh V.P., Guo H., Yu F.X., 1993. Parameter estimation for 3-parameter log-logistic distribution (LLD3) by Pome. *Stochastic Hydrology and Hydraulics*, 7(3), 163-177.
301. Sivakumar M., Motha R., Wilhite D., Wood D., 2010. Agricultural Drought indices proceedings of an expert meeting. 2-4 June 2010, Murcia, Spain. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.
302. Sivakumar M.V.K., Motha R.P., Wilhite D.A., Wood D.A. (Editors), 2011. *Agricultural Drought Indices*. Proceedings of the WMO/UNISDR Expert Group Meeting on Agricultural Drought Indices, June 2-4, 2010, Murcia, Spain. WMO, Geneva, Switzerland. AGM-11, WMO/TD No. 1572; WAOB-2011, 219.
303. Spinoni J., Antofie T., Barbosa P., Bihari Z., Lakatos M., Szalai S., Szentimrey T., Vogt J., 2013. An overview of drought events in the Carpathian Region in 1961-2010. *Advances in Science and Research*, 10(1), 21-32.
304. Spinoni J., Naumann G., Vogt J., Barbosa P., 2015a. European drought climatologies and trends based on a multi-indicator approach. *Global and Planetary Change*, 127, 50-57.
305. Spinoni J., Naumann G., Vogt J.V., Barbosa P., 2015b. The biggest drought events in Europe from 1950 to 2012. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 3, 509-524.
306. Srdjevic B., 2005. Combining different prioritization methods in the analytic hierarchy process synthesis. *Computers & Operations Research*, 32(7), 1897-1919.
307. Srdevic Z., Blagojevic B., Srdevic B., 2011. AHP based group decision making in ranking loan applicants for purchasing irrigation equipment: a case study. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 17(4), 531-543.
308. Srdjevic B., Medeiros Y.D.P., 2008. Fuzzy AHP assessment of water management plans. *Water Resources Management*, 22(7), 877-894.
309. Stagge J.H., Tallaksen L.M., Gudmundsson L., Van Loon A.F., Stahl K., 2016. Response to comment on 'Candidate Distributions for Climatological Drought Indices (SPI and SPEI)'. *International Journal of Climatology*, 36(4), 2132-2138.
310. Stagge J.H., Tallaksen L.M., Gudmundsson L., Van Loon A.F., Stahl K., 2015. Candidate distributions for climatological drought indices (SPI and SPEI). *International Journal of Climatology*, 35(13), 4027-4040.
311. Stagge J.H., Tallaksen L.M., Xu C.Y., Van Lanen H.A.J., 2014. Standardized precipitation-evapotranspiration index (SPEI): Sensitivity to potential evapotranspiration model and parameters. *Proceedings of FRIEND-Water*, 367-373.
312. Staudinger M., Stahl K., Seibert J., 2014. A drought index accounting for snow. *Water Resources Research*, 50, 7861-7872.
313. Stedinger J.R., Vogel R.M., Foufoula-Georgiou E., 1993. Frequency analysis of extreme events, Chapter 18 in *Handbook of Hydrology*, edited by DR Maidment, McGraw-Hill, New York.
314. Stephens M.A., 1986. Tests based on EDF statistics, in *Goodness-of-Fit Techniques*, edited by R. B. D'Agostino, and A. M. Stephens, 97-194, Marcel Dekker, New York.
315. Stephens M.A., 1979. The Anderson-Darling Statistic (No. TR-39). Stanford Univ CA Dept of Statistics.
316. Stojanović D., Levanić T., Matović B., 2015. Korelacija različitih klimatskih elemenata i indeksa sa širinom godova cera (*Quercus cerris* L.). *Topola*, 196(195-196), 23-29.
317. Stojanović Ž., Rakonjac Antić T., Popović S., Manić E., Ranđelović S., Janković I., Jovović M., Ristić B., 2016. University of Belgrade, Draft national report SUFISA https://www.sufisa.eu/wp-content/uploads/2018/09/D_2.2-Serbia-National-Report.pdf
318. Stričević R., 2007. Navodnjavanje: osnove projektovanja i upravljanja sistemima, Univerzitet u Beogradu,

- Poljoprivredni fakultet, Beograd.
319. Stricevic R., Cosic M., Djurovic N., Pejic B., Maksimovic L., 2011a. Assessment of the FAO AquaCrop model in the simulation of rainfed and supplementally irrigated maize, sugar beet and sunflower. *Agricultural Water Management*, 98(10), 1615-1621.
 320. Stricevic R., Djurovic N., 2013. Determination of spatiotemporal distribution of agricultural drought in Central Serbia (Sumadija). *Scientific Research and Essays*, 8 (11), 438-446.
 321. Stricevic R., Djurovic N., Djurovic Z., 2011b. Drought classification in Northern Serbia based on SPI and statistical pattern recognition. *Meteorological applications*, 18(1), 60-69.
 322. Strommen N.D., Motha R.P., 1987. An operational early warning agricultural weather system. In: *Planning for Drought: Toward a Reduction of Societal Vulnerability* (D.A. Wilhite, W.E. Easterling, Wood, D.A., eds.). Boulder, CO, Westview Press.
 323. Sun L., Mitchell S.W., Davidson A., 2012. Multiple drought indices for agricultural drought risk assessment on the Canadian prairies. *International Journal of Climatology*, 32(11), 1628-1639.
 324. Svoboda M.D., Fuchs B.A., Poulsen C.C., Nothwehr J.R., 2015. The drought risk atlas: enhancing decision support for drought risk management in the United States. *Journal of Hydrology*, 526, 274-286.
 325. Svoboda M., Lecomte D., Hayes M., Heim R., Gleason K., Angel J., Rippey B., Tinker R., Palecki M., Stooksbury D., Miskus D., Stephens, S., 2002. The drought monitor. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(8), 1181-1190.
 326. Szalai S., 2012. Definitions of drought. In: *Drought Management Centre for South-East Europe – DMCSEE: Summary of the result of the project*, 7-11. Slovenian Environmental Agency.
 327. Škorić M., Stojić M., Tabakov J., Rajić M., Belić S., Belić A., Pokrić V., Srđević B., Zoranović T., Potkonjak S., Conić J., 1995. Navodnjavanje u Vojvodini. Monografija Hidrotehničke melioracije u Vojvodini, Univerzitet u Novo Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
 328. Šovljanski A., Radovanović S., 2012. Posledice suše u Srbiji. U: *Centar za upravljanje sušom za jugoistočnu Evropu - DMCSEE: Rezime rezultata projekta*, Republički hidrometeorološki zavod Srbije, Beograd.
 329. Tabari H., Grismer M.E., Trajkovic S., 2013. Comparative analysis of 31 reference evapotranspiration methods under humid conditions. *Irrigation Science*, 31(2), 107-117.
 330. Tadess T., Champagne C., Wardlow B.D., Hadwen T.A., Brown J.F., Demisse G.B., Bayissa Y.A., Davidson A.M., 2017. Building the vegetation drought response index for Canada (VegDRI-Canada) to monitor agricultural drought: first results. *GIScience Remote Sens.* 54, 230-257.
 331. Tan C., Yang J., Li M., 2015. Temporal-spatial variation of drought indicated by SPI and SPEI in Ningxia Hui Autonomous Region, China. *Atmosphere*, 6(10), 1399-1421.
 332. Tang J., Xu J., Wan S., Ma D., 2011. Comprehensive Evaluation and Selection System of Coal Distributors with Analytic Hierarchy Process and Artificial Neural Network. *JCP*, 6(2), 208-215.
 333. Tao H., Borth H., Fraedrich K., Su B., Zhu X., 2014. Drought and wetness variability in the Tarim River Basin and connection to large-scale atmospheric circulation. *International Journal of Climatology*, 34(8), 2678-2684.
 334. Tao T.A.O., Chocat B., Suiqing L.I.U., Kunlun X.I.N., 2009. Uncertainty analysis of interpolation methods in rainfall spatial distribution—a case of small catchment in Lyon. *Journal of Water Resource and Protection*, 1(2), 136-144.
 335. Tarpley J.D., Schneider S.R., Money R.L., 1984. Global vegetation indices from the NOAA-7 meteorological satellite. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23, 491-494.
 336. Tatalovich Z., Wilson J.P., Cockburn M., 2006. A comparison of Thiessen polygon, kriging, and spline models of potential UV exposure. *Cartography and Geographic Information Science*, 33(3), 217-231.
 337. Telesca L., M. Lovallo I. Lopez-Moreno Vicente-Serrano S., 2012. Investigation of scaling properties in monthly streamflow and Standardized Streamflow Index time series in the Ebro basin (Spain). *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 391(4), 1662-1678.
 338. Thapa R.B., Murayama Y., 2008. Land evaluation for peri-urban agriculture using analytical hierarchical process and geographic information system techniques: A case study of Hanoi. *Land use policy*, 25(2), 225-239.
 339. Thom H.C.S., 1958. A note on the gamma distribution. *Monthly Weather Review*. 86, 117 - 122.
 340. Thornthwaite C. W., 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38, 55-94.
 341. Tian L., Yuan S., Quiring S.M., 2018. Evaluation of six indices for monitoring agricultural drought in the south-central United States. *Agricultural and Forest Meteorology*, 249, 107-119.
 342. Tigkas D., Vangelis H., Tsakiris, G., 2015. DrinC: a software for drought analysis based on drought indices. *Earth Science Informatics*, 8(3), 697-709.
 343. Tigkas D., Vangelis H., Tsakiris, G., 2016. Introducing a modified reconnaissance drought index (RDIE) incorporating effective precipitation. *Procedia Engineering*, 162, 332-339.
 344. Tigkas D., Vangelis H., Tsakiris G., 2017. An enhanced effective Reconnaissance drought index for the characterisation of agricultural drought. *Environmental Processes*, 4(1), 137-148.
 345. Tobler W., 1970. A computer movie simulating urban growth in the Detroit region, *Economic Geography* 46(2), 234-240.
 346. Trajkovic S., 2005. Temperature-based approaches for estimating reference evapotranspiration. *Journal of*

- irrigation and drainage engineering, 131(4), 316-323.
347. Trajkovic S., 2007. Hargreaves versus Penman-Monteith under humid conditions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 133(1), 38-42.
348. Trajković S., 2009a. Metode proračuna potreba za vodom u navodnjavanju. Građevinsko-arhitektonski fakultet Niš, Niš.
349. Trajkovic S., 2009b. Comparison of radial basis function networks and empirical equations for converting from pan evaporation to reference evapotranspiration. *Hydrological processes*, 23(6), 874-880.
350. Trajkovic S., Kolakovic S., 2009a. Evaluation of reference evapotranspiration equations under humid conditions. *Water Resources Management*, 23(14), 3057.
351. Trajkovic S., Kolakovic S., 2009b. Estimating reference evapotranspiration using limited weather data. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 135(4), 443-449.
352. Trajkovic S., Kolakovic S., 2009c. Wind-adjusted Turc equation for estimating reference evapotranspiration at humid European locations. *Hydrology research*, 40(1), 45-52.
353. Trajković S., Stojnić V., 2007. Effect of wind speed on accuracy of Turc method in a humid climate. *Facta universitatis-series: Architecture and Civil Engineering*, 5(2), 107-113.
354. Trajković S., Živković S., 2009. Effect of actual vapor pressure on estimating evapotranspiration at Serbia. *Facta universitatis-series: Architecture and Civil Engineering*, 7(2), 171-178.
355. Tsakiris G., Vangelis H., 2005. Establishing a Drought Index Incorporating Evapotranspiration. *European Water* 9(10), 3-11
356. Turc L., 1961. Estimation of Irrigation Water Requirements, Potential Evapotranspiration: A Simple Climatic Formula Evolved Up to Date. *Ann. Agronomy*, 12, 13-49.
357. UN Secretariat General, 1994. The United Nations Convention to Combat Desertification in Those Countries Experiencing Serious Drought and/or Desertification, Particularly in Africa (UNCCD).
358. Utset A., Farre I., Martinez-Cob A., Cavero J., 2004. Comparing Penman- Monteith and Priestley-Taylor approaches as reference evapotranspiration inputs for modeling maize water use under Mediterranean conditions. *Agricultural Water Management*, 66(3), 205-219.
359. Valipour M., 2015. Temperature analysis of reference evapotranspiration models. *Meteorological Applications*, 22(3), 385-394.
360. Van Rooy M.P., 1965. A Rainfall Anomaly Index independent of time and space. *Notos*, 14, 43-48.
361. Verdin J., Klaver R., 2002. Grid-cell-based crop water accounting for the famine early warning system. *Hydrological Processes*, 16(8), 1617-1630.
362. Vicente-Serrano S.M., Beguería S., López-Moreno J.I., 2010. A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of climate*, 23(7), 1696-1718.
363. Vicente-Serrano S.M., Beguería S., Lorenzo-Lacruz J., Camarero J.J., López-Moreno J.I., Azorin-Molina C., Revuelto J., Morán-Tejada E., Sanchez-Lorenzo A., 2012a. Performance of drought indices for ecological, agricultural, and hydrological applications. *Earth Interactions*, 16(10), 1-27.
364. Vicente-Serrano S.M., Beguería S., Gimeno L., Eklundh L., Giuliani G., Weston D., Kenawy A.E., López-Moreno J.I., Nieto R., Ayenew T., Konte D., Ardo J., Pegram G.S., 2012b. Challenges for drought mitigation in Africa: the potential use of geospatial data and drought information systems. *Applied Geography*, 34, 471-486.
365. Vicente-Serrano S.M., Saz-Sánchez M.A., Cuadrat J.M., 2003. Comparative analysis of interpolation methods in the middle Ebro Valley (Spain): application to annual precipitation and temperature. *Climate research*, 24(2), 161-180.
366. Viglione A., Hosking J.R., Laio F., Miller A., Gaume E., Payrastre O., Salinas J.L., N'guyen C.C., Halbert K., Viglione M.A., 2018. Package 'nsRFA'. Non-supervised Regional Frequency Analysis. CRAN Repository. <https://cran.r-project.org/package=nsRFA>
367. Vlada Republike Srbije, 2014. Strategija poljoprivrede i ruralnog razvoja Republike Srbije za period 2014-2024. godine ("Sl. glasnik RS", br. 85/201).
368. Vučić N., 1971. Bioklimatski koeficijenti i zalivni režim-teorija i praktična primena. *Vodoprivreda* 6-8, 45-54.
369. Vučić N., 1976. Navodnjavanje poljoprivrednih kultura. Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
370. Vučić N., Bošnjak Dj., 1980. Potencijalna evapotranspiracija soje u klimatskim uslovima Vojvodine. *Arhiv za poljoprivredne nauke*, Novi Sad, 41, 144, 569-575.
371. Vučić N., Jocić B., 1970. Prilog određivanja vremena zalivanja kukuruza na osnovu svakodnevnog utroška vode na evapotranspiraciju. *Arhiv za poljoprivredne nauke*, 23, 56-65.
372. Vučić N., 1973. Bioclimatic Method for Scheduling Irrigation: Experiment with Maize in Vojvodina, Yugoslavia. In *Physical Aspects of Soil Water and Salts in Ecosystems (287-291)*. Springer, Berlin, Heidelberg.
373. Vučić N., Milovankić M., Vasiljević Z., 1980. Uticaj navodnjavanja veštačkom kišom na prinos jabuka u Subotičko-horgoškom rejonu. *Privredna komora Vojvodine*, 41-47.
374. Vučić N., Milovankić M., Vasiljević Z., 1981. Uticaj navodnjavanja veštačkom kišom na prinos jabuka u Subotičko-horgoškom rejonu. *Savetovanje o unapređenju voćarske proizvodnje u Vojvodini*. Privredna komora Novi Sad, 41-47.
375. Wang Jinsong, Guo Jiangyong, Qing Jizu, 2007. Application of a kind of K drought index in the spring drought

- analysis in Northwest China. *Journal of Natural Resources*, 22(5), 709–717. (in Chinese)
376. Wang H., Vicente-Serrano S.M., Tao F., Zhang X., Wang P., Zhang C., Chen Y., Zhu D., El Kenawy A., 2016. Monitoring winter wheat drought threat in Northern China using multiple climate-based drought indices and soil moisture during 2000–2013. *Agricultural and Forest Meteorology*, 228, 1-12.
377. Weghorst K., 1996. *The Reclamation Drought Index: Guidelines and Practical Applications*. Bureau of Reclamation, Denver, CO.
378. Wells N, Goddard S, Hayes M J, 2004. A self-calibrating Palmer drought severity index. *Journal of Climate*, 17(12), 2335–2351.
379. Wilhite D.A., Glantz M.H., 1985. Understanding: the drought phenomenon: the role of definitions. *Water international*, 10(3), 111-120.
380. Wilhite D.A., Svoboda M.D., 2000. Drought early warning systems in the context of drought preparedness and mitigation. *Early warning systems for drought preparedness and drought management*, 1-16.
381. Wilhite D.A., 1996. A methodology for drought preparedness. *Natural Hazards*, 13(3), 229-252.
382. Wilhite D.A., 2000. Drought as a natural hazard: Concepts and definitions. In: Wilhite, D.A. (Ed.), *Drought: A Global Assessment*, vol. 1. Routledge, New York,
383. Wilhite D.A., Svoboda M.D., Hayes M.J., 2007. Understanding the complex impacts of drought: a key to enhancing drought mitigation and preparedness. *Water resources management*, 21(5), 763-774.
384. Woli P., Jones J.W., Ingram K.T., Fraise, C.W., 2012. Agricultural Reference Index for Drought (ARID). *Agronomy Journal*, 104, 287–300.
385. World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP), 2016. *Handbook of Drought Indicators and Indices* (M. Svoboda, B.A. Fuchs). Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2. Geneva.
386. World Meteorological Organization (WMO), 1986. *Report on Drought and Countries Affected by Drought During 1974–1985*, WMO, Geneva.
387. Wu H., Wilhite, D.A., 2004. An operational agricultural drought risk assessment model for Nebraska, USA. *Natural Hazards*, 33(1), 1-21.
388. Wu D., Yan D.H., Yang G.Y., Wang X.G., Xiao W.H., Zhang H.T., 2013. Assessment on agricultural drought vulnerability in the Yellow River basin based on a fuzzy clustering iterative model. *Natural hazards*, 67(2), 919-936.
389. Wu H., Hubbard K.G., Wilhite D.A., 2004. An agricultural drought risk-assessment model for corn and soybeans. *International Journal of Climatology*, 24(6), 723-741.
390. Wu H., Hayes M.J., Weiss A., Hu Q., 2001. An evaluation of the Standardized Precipitation Index, the China-Z Index and the statistical Z-score. *International Journal of Climatology*, 21, 745–758.
391. Xia Y., Mitchell K., Ek M., Sheffield J., Cosgrove B., Wood E., Luo L., Alonge C., Wei H., Meng J., Livneh B., Lettenmaier D., Koren V., Duan Q., Mo K., Fan Y., Mocko D., 2012. Continental-scale water and energy flux analysis and validation for the North American Land Data Assimilation System project phase 2 (NLDAS-2): 1. Intercomparison and application of model products. *Journal of Geophysical Research*, 117, D03109.
392. Xystrakis F., Matzarakis A., 2010. Evaluation of 13 empirical reference potential evapotranspiration equations on the island of Crete in southern Greece. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 137(4), 211-222.
393. Yang T., Yang D., Chao X., 2018. A preference aggregation model and application in AHP-group decision making. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1955, No. 1, p. 040140). AIP Publishing.
394. Yihdego Y., Vaheddoost B., Al-Weshah R.A., 2019. Drought indices and indicators revisited. *Arabian Journal of Geosciences*, 12(3), 69.
395. Yuen K.K.F., 2010. Analytic hierarchy prioritization process in the AHP application development: A prioritization operator selection approach. *Applied Soft Computing*, 10(4), 975-989.
396. Zargar A., Sadiq R., Naser B., Khan F.I., 2011. A review of drought indices. *Environmental Reviews*, 19, 333-349.
397. Zhang Q., Qi T., Singh V.P., Chen Y.D., Xiao, M., 2015. Regional frequency analysis of droughts in China: a multivariate perspective. *Water Resources Management*, 29(6), 1767-1787.
398. Zhang Qiang, Ju Xiaosheng, Li Shuhua, 1998. Comparison of three drought indices to determine and the new index. *Meteorological Science and Technology*, 2, 49–53.
399. Zhang B., Wang Z., Chen G., 2017. A sensitivity study of applying a two-source potential evapotranspiration model in the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index for drought monitoring. *Land Degradation & Development*, 28(2), 783-793.
400. Zhao H., Xu Z., Zhao J., Huang, W., 2017. A drought rarity and evapotranspiration-based index as a suitable agricultural drought indicator. *Ecological Indicators*, 82, 530-538.