



Poređenje različitih metoda za ocenu suše na području Južne Bačke

Milica Rajić^{a*}, Radoš Zemunac^a

^aUniverzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Departman za uređenje voda, Novi Sad, Srbija

*Autor za kontakt: milica@polj.uns.ac.rs

SAŽETAK

Kao rezultat klimatskih promena u sadejstvu sa globalnim zagrevanjem, suša je rastući problem u mnogim delovima sveta. Ona je prirodni fenomen koji je integralni deo klime i njene varijabilnosti. Među ekstremnim meteorološkim pojavama, suša se najsporije razvija i dugo traje, i verovatno je najmanje predvidiva od svih atmosferskih nepogoda. Mnoge definicije i pokazatelji suše su poznati. Indeksi suše čine se najjednostavnijim alatom pri analizi suše. U radu se daje pregled indeksa koji se koriste za identifikaciju pojave suše u agrometeorološkoj praksi. Istraživanja pojave sušnih godina sprovedena su za meteorološku stanicu Rimski Šančevi, na području južne Bačke u periodu 1971-2014. godine. Za identifikaciju suše primenjeno je osam indeksa: kišni faktor Langa, De Martonne-ov indeks suše, hidrotermički koeficijent Seljaninova, UNESCO indeks aridnosti, standardizovani indeks padavina, standardizovani indeks klimatskog vodnog bilansa, Palfajev indeks suše i indeks neravnomernosti (anomalija) padavina. Primenjene metode za ocenu suše potvrdile su složenost pojave suše kao i različitost metoda za njenu kvantifikaciju. Rezultati su pokazali da svaka od metoda ima svoje specifičnosti i da se ni jedna metoda ne može istaći kao apsolutno pouzdana. Istraživanja indeksa su pokazala ograničenost u podudaranju među indeksima suše.

KLJUČNE REČI

klima, suša, indeksi suše, sušne godine, meteorološka suša

Uvod

Prirodne nepogode pojavljuju se u nepravilnim razmacima i nije ih moguće mnogo ranije predvideti. Tu se pre svega misli na dve ekstremne hidrološke pojave - suše i poplave. One predstavljaju prirodne pojave koje u mnogim delovima sveta prouzrokuju značajne štete, kako u privrednim tako i neprivrednim granama - industriji, vodoprivredi, poljoprivredi, šumarstvu, turizmu, zaštiti životne sredine i drugim. Među ekstremnim meteorološkim pojavama, suša se najsporije razvija i dugo traje, i verovatno je najmanje predvidiva od svih atmosferskih nepogoda. Ona je prirodni fenomen koji je integralni deo klime i njene varijabilnosti. Njen uticaj na životnu sredinu ogleda se u degradaciji zemljišta koju prati smanjenje prirodnog potencijala područja i osiromašenje resursa površinskih i podzemnih voda. Ali, iznad svega, negativan uticaj se odražava na uslove života i ekonomski napredak ljudi koji su ovome izloženi. Iako je glavni uzrok suša nedostatak padavina nad razmatranim slivom, manifestacija suša je dosta različita, pa je zbog toga taj pojam definisan i u nekoliko naučnih disciplina (WMO, 1992; Heim, 2002). Analiza i podaci o sušama daju važne informacije koje mogu da se koriste za poboljšanje strategije upravljanja vodama, zaštiti životne sredine, planiranje poljoprivredne proizvodnje i uopšte utiču na ekonomski razvoj određenog područja.

Zbog svog karaktera, suša zaslužuje najveća naučna i praktična istraživanja. Identifikacija i kvantifikacija suše sprovodi se primenom različitih metoda, pri čemu se indeksi suše čine najjednostavnijim alatom pri nenoj analizi. Skala u odnosu na koju se određuje suša i njen intenzitet treba da je jasno predstavljena i povezana sa konkretnim posledicama koje mogu da se dese. S obzirom na različitost u definisanju suše, vrlo je teško naći univerzalni indeks. Takođe, zbog složenosti suše, ni jedan indeks ne može opisati sušu u potpunosti. Standardizovani indeks padavina (SPI) je razvijen za potrebe definisanja i osmatranja suše (McKee et al., 1993). Za njegovo određivanje koriste se samo podaci o količini padavina. Standardizovani indeks klimatskog vodnog bilansa (Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index, SPEI) je razvijen za potrebe kvantifikovanja stanja suše na posmatranom području (Vicente-Serrano et al., 2010). Za njegovo određivanje koriste se dugogodišnji nizovi (najmanje 30-to godišnji niz) mesečnih podataka o količini padavina i srednjim mesečnim temperaturama vazduha. Palfajev indeks aridnosti je razvijen u Mađarskoj za korisnike iz oblasti poljoprivrede i upravljanja vodama. Izračunavanje ovog indeksa zasnovano je na srednjoj mesečnoj temperaturi vazduha i mesečnoj sumi padavina, (Palfai and Herceg, 2011; Herceg, 2012). U teoriji i praksi postoje brojni hidrološki, ali i drugi metodi kojima se teži da se kvalitativno definišu ekstremi. Mishra and Singh (2011) ističu da je poslednjih tridesetak godina evidentan značajan napredak u

modeliranju suša i daju prikaz metoda korišćenih za modeliranje različitih komponenti suša, koje mogu biti od koristi u različitim sektorima koji se direktno ili indirektno bave vodom. Analizom suše u Vojvodini bavilo se više autora. Neki od njih bavili su se samo padavinama, dok su drugi proučavali vodni bilans. Tako Berić et al. (1990) i Rajić and Bezdan (2012), analizom perioda bez kiše dužih od 15 dana, utvrđuju da se maksimalni sušni periodi u Vojvodini u toku vegetacione sezone najčešće javljaju u periodu druge polovine avgusta i tokom septembra. Koristeći indeks suše (PAI), koji izražava padavinske i temperaturne uslove na osnovu promenljivih potreba biljne proizvodnje za vodom u različitim mesecima, kao i relativni položaj nivoa prve izdani, Palfai i Darnai (1990) analiziraju sušu u Vojvodini u 1990-oj godini i zaključuju da je u pomenutoj godini suše bilo u celoj Vojvodini. Da bi se odredile sušne godine na području Vojvodine korišćen je odnos sume padavina i evapotranspiracije za godinu i za vegetacioni period, zatim indeks suše De Martonne-a, kišni faktor Langa i hidrotermički koeficijent Seljanin-ova (Rajić et al., 2006; Rajić i Štula, 2007). Prema ovim pokazateljima suše, uočava se učestalija pojava sušnih godina nakon 1981. godine. S obzirom da je Vojvodina poljoprivredni region i da poslednjih godina poljoprivreda trpi velike štete od suše, to je na primeru dela ovog područja ispitana pogodnost primene metoda koji se najčešće koriste za analizu suše. U ovom radu je prikazano osam metoda za ocenu suše: kišni faktor Langa, De Martonne-ov indeks suše, hidrotermički koeficijent Seljaninova, UNESCO indeks aridnosti, standardizovani indeks padavina, standardizovani indeks klimatskog vodnog bilansa, Palfajev indeks suše i indeks neravnomernosti (anomalija) padavina. Sve navedene metode primenjene su za meteorološku stanicu Rimski Šančevi i za isti niz podataka (1971-2014).

Materijal i metod rada

Kišni faktor Langa

Kišni faktor Langa je koeficijent koji predstavlja odnos godišnje sume padavina i srednje godišnje temperature vazduha. Pomoću kišnog faktora utvrđuje se koliko bi bio visok sloj vode u mm, kada ne bi bilo isparavanja, površinskog oticanja i poniranja u zemljište. Izračunava se prema sledećoj relaciji:

$$Kf = \frac{P}{t} \quad (1)$$

Gde su:

P - godišnja suma padavina u mm;

t - srednja godišnja temperatura vazduha u °C.

Prema veličini kišnog faktora, Lang 1920. godine izdvaja 6 osnovnih tipova klime. Međutim Gračanin je 1950. godine, pojednostavio Langovu klasifikaciju klime na osnovu godišnjeg kišnog faktora, da bi se dobila što preciznija ocena aridnosti odnosno humidnosti klime (Komljenović i Kondić, 2011). Nedostatak Langovog kišnog faktora je u tome što pri niskim temperaturama postaje nesrazmerno velik. Granične vrednosti za kategorije suše su: <40 - aridna klima, 40-60 - semiaridna, 60-80 - semihumidna, 80-160 - humidna i >160 - perhumidna klima.

De Martonne-ov indeks suše

Da bi se izbegao nedostatak Langovog kišnog faktora pri niskim temperaturama, De Martonne je formulisao indeks suše (I). Pomoću ovog indeksa mogu se odrediti sušne, vlažne i umerene oblasti. Izračunava se prema sledećem izrazu:

$$I = \frac{P}{t + 10} \quad (2)$$

Gde su:

P - godišnja suma padavina u mm;

t - srednja godišnja temperatura vazduha u °C.

Broj 10 u imeniocu se nalazi kako bi se izbegle negativne vrednosti indeksa jer se pretpostavlja da srednja godišnja temperatura neće biti ispod -10°C, budući da takve temperature nemaju značaja za indeks suše.

Klasifikacija suše prema indeksu suše De Martonne-a, izvršena je na sledeći način (Hrnjak et al., 2014): <10 - aridna klima; 10-20 - semiaridna, 20-24 - mediteranska, 24-28 - semihumidna, 28-35 - humidna, 35-55 - vrlo humidna i >55 - ekstremno humidna klima.

Hidrotermički koeficijent Seljaninova

Sa stanovišta uspešne biljne proizvodnje, posebna važnost se pridaje padavinama u toku vegetacionog perioda iako značajnu ulogu imaju i padavine koje padaju van vremena vegetacije. Metoda Seljaninova nastoji utvrditi veze između isparavanja i atmosferskih prilika pod pretpostavkom da je utrošak vode na isparavanje u toplim mesecima približno jednak temperaturnoj sumi umanjenoj 10 puta. Odnos sume padavina za određeni period prema sumi isparavanja vode iz zemljišta za isti period daje hidrotermički koeficijent Seljaninova ili uslovni bilans koji odražava osiguranje nekog mesta vlagom (Komljenović i Kondić, 2011). Hidrotermički koeficijent Seljaninova (K_s) može se prikazati sledećim izrazom:

$$K_s = \frac{\sum P}{\sum t} \cdot 10 \quad (3)$$

Gde su:

$\sum P$ - suma padavina u periodu vegetacije, izražena u mm;

$\sum t$ - suma srednjih dnevnih temperatura u °C, za vegetacioni period.

Klasifikacija klime prema indeksu suše Seljaninova, izvršena je na sledeći način: > 1,3 - zona suviše vlažnosti; 1,0-1,3 - zona dovoljne vlažnosti; 0,7-1,0 - sušna zona sa jako izraženim nedostatkom vlage; 0,5-0,7 - zona suvog ratarenja; < 0,5 - zona navodnjavanja, pustinje i polupustinje.

UNESCO indeks aridnosti

Indeks aridnosti (Aridity Index, AI), (UNESCO, 1979), baziran je na odnosu sume padavina i potencijalne evapotranspiracije za godinu ili vegetacioni period:

$$AI = \frac{P}{ET_{o-PM}} \quad (4)$$

Gde su:

P - suma padavina, izražena u mm;

ET_{o-PM} - referentna evapotranspiracija po metodi Penman-Monteith, izražena u mm (Allen et al., 1998).

Razlikuje se pet stepeni aridnosti (UNESCO, 1979): AI < 0,03 - hiper aridna zona; 0,03 < AI < 0,20 - aridna zona; 0,20 < AI < 0,50 - semi aridna zona; 0,50 < AI < 0,75 - subhumidna zona i AI > 0,75 - humidna zona.

Standardizovani indeks padavina

Standardizovani indeks padavina (Standardised Precipitation Index, SPI) je razvijen za potrebe definisanja i osmatranja suše (McKee et al., 1993). Za njegovo određivanje koriste se samo podaci o količini padavina. Njegova osnovna karakteristika je da može biti izračunat za različite vremenske intervale (1, 3, 6, 9, 12, 24 i 48 meseci), (Guttman, 1999). To omogućava da SPI prati kratkoročne rezerve vode (bitno za poljoprivredu) i dugoročne rezerve vode koje su povezane sa protocima vode u rekama, nivoima vode u jezerima i bunarima podzemnih voda (bitno za hidrologiju). Osobina SPI koja omogućava da se posmatraju različiti vremenski intervale omogućava da se suša pravovremeno registruje i prati tokom trajanja. Računanje SPI za određeni vremenski period na bilo kojoj lokaciji zahteva dugi niz mesečnih podataka o količini padavina, najmanje 30-to godišnji niz. Funkcija raspodele verovatnoća je određena iz dugogodišnjih podataka. Raspodela kumulativnih verovatnoća se transformiše, koristeći jednaku verovatnoću kumulativnih verovatnoća, u normalnu raspodelu sa srednjom vrednošću jednakom 0 i standardnom devijacijom 1, tako da su vrednosti SPI zapravo izražene u standardnim devijacijama. Ukupna količina padavina za određeni vremenski period se onda povezuje sa određenim vrednostima SPI, u skladu sa vrednostima kumulativne verovatnoće. Pozitivne vrednosti SPI pokazuju da je količina padavina u određenom vremenskom periodu veća od

medijane dobijene iz višegodišnjih merenja količina padavina, dok negativne vrednosti SPI pokazuju da je količina padavina u određenom vremenskom periodu manja od medijane.

McKee et al. (1993) predlažu skalu za SPI: $2,0 \leq \text{SPI}$ - ekstremno kišno; $1,5 \leq \text{SPI} \leq 1,99$ - vrlo kišno; $1,0 \leq \text{SPI} \leq 1,49$ - umereno kišno; $-0,99 \leq \text{SPI} \leq 0,99$ - u granicama normale; $-1,0 \leq \text{SPI} \leq -1,49$ - umereno sušno; $-1,5 \leq \text{SPI} \leq -1,99$ - vrlo sušno i $\text{SPI} \leq -2,0$ - ekstremno sušno. Za ispravnu interpretaciju vrednosti SPI potrebno je poznavati klimatologiju područja koje se posmatra.

Jedna od najčešće primenjenih metoda je upravo indeks standardizovanih padavina (SPI), i to u svim delovima sveta bez obzira na klimatske ili topografske karakteristike. SPI indeks omogućava poređenje vrednosti iz regiona u region, jer ne zahteva podešavanje po klimatskim uslovima, već je baziran na statističkom pristupu, te stoga WMO zahteva od svih hidrometeoroloških organizacija da ga proračunavaju (Frank, 2016). Od 2010. godine i Republički Hidrometeorološki zavod Srbije je uvrstio u operativne procedure određivanje vrednosti SPI.

Standardizovani indeks klimatskog vodnog bilansa

Standardizovani indeks klimatskog vodnog bilansa (Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index, SPEI) je razvijen za potrebe kvantifikovanja stanja suše na posmatranom području (Vicente-Serrano et al., 2010). Za njegovo određivanje koriste se dugogodišnji nizovi (najmanje 30-to godišnji niz) mesečnih podataka o količini padavina i srednjim mesečnim temperaturama vazduha. Korišćenje podataka o temperaturi vazduha pored podataka o padavinama, za razliku od standardizovanog indeksa padavina (SPI) koji koristi samo podatke o padavinama, omogućava kompletnije sagledavanje efekata globalnog zagrevanja i klimatskih promena na pojavu suše. SPEI, slično kao i SPI se može izračunati za različite vremenske intervale (1, 3, 6, 9, 12, 24 i 48 meseci) omogućavajući praćenje kratkoročnih rezervi vode (bitno za poljoprivredu) i dugoročnih rezervi (bitno za hidrologiju). SPEI se zapravo bazira na mesečnim vrednostima klimatskog vodnog bilansa sračunatog po metodi Thornthwaite-a, gde se vodni bilans računa kao razlika padavina i potencijalne evapotranspiracije. Procedura proračuna SPEI se zasniva na originalnoj proceduri proračuna SPI. Funkcija raspodele verovatnoća određuje se iz niza dugogodišnjih podataka. Prethodna istraživanja (Vicente-Serrano et al., 2010) su pokazala da vrednosti klimatskog vodnog bilansa podležu zakonu 3-parametarske Log-logističke raspodele i da je ona pogodna za računanje SPEI. Raspodela kumulativnih verovatnoća se transformiše, koristeći jednaku verovatnoću kumulativnih verovatnoća, u normalnu raspodelu sa srednjom vrednošću 0 i standardnom devijacijom 1, tako da su vrednosti SPEI zapravo izražene u standardnim devijacijama. Vrednost klimatskog vodnog bilansa za određeni vremenski period se onda povezuje sa određenim vrednostima SPEI, u skladu sa vrednostima kumulativne verovatnoće. Pozitivne vrednosti SPEI pokazuju da je vrednost klimatskog vodnog bilansa u određenom vremenskom periodu veća od medijane dobijene iz višegodišnjih vrednosti klimatskog vodnog bilansa, dok negativne vrednosti SPEI pokazuju da je vrednost klimatskog vodnog bilansa u određenom vremenskom periodu manja od medijane. Kategorizacija uslova vlažnosti na osnovu SPEI je preuzeta od McKee et al. (1993) koji su predložili kategorizaciju uslova vlažnosti na osnovu SPI.

Palfajev indeks suše

Palfajev indeks aridnosti (Palfai Aridity Index, PAI) je razvijen u Mađarskoj za korisnike iz oblasti poljoprivrede i upravljanja vodama, a počeo je da se koristi za numeričku karakterizaciju suše početkom 80-tih godina prošlog veka. Ovaj indeks opisuje jačinu suše tokom poljoprivedne godine jednom numeričkom vrednošću, koja korespondira sa lošim stanjem useva. Računanje osnovne vrednosti PAI indeksa u suštini je jednostavno, budući da zahtevi za podacima mogu lako da budu ispunjeni. Za izračunavanje ovog indeksa neophodno je imati samo podatke o srednjoj mesečnoj temperaturi i sumi padavina. Međutim, u formuli PAI indeksa teško je odrediti tri korekciona faktora zasnovana na dnevnim vrednostima temperature i padavina, kao i na nivou podzemnih voda. Radi lakše praktične upotrebe razvijen je novi, jednostavniji metod izračunavanja tih faktora, zasnovan na srednjoj mesečnoj temperaturi vazduha i mesečnoj sumi padavina, (Palfai and Herceg, 2011; Herceg, 2012). Jednačina za proračun osnovne vrednosti tog modifikovanog indeksa, nazvanog Palfajev indeks suše (Palfai's Drought Index - PaDI), glasi:

$$\text{PaDI}_0 = \frac{\left[\sum_{i=\text{apr}}^{\text{aug}} T_i \right]}{c + \sum_{i=\text{oct}}^{\text{sep}} (P_i w_i)} \quad (5)$$

Gde su:

PaDI₀ - osnovna vrednost indeksa suše, izražena u °C/100 mm;

T_i - srednja mesečna temperatura od aprila do avgusta, izražena u °C;

P_i - mesečna suma padavina od oktobra do septembra, izražena u mm;

w_i – težinski koeficijent (Palfai and Herceg, 2011);

c – konstanta (10 mm).

Palfajev indeks suše (PaDI) se računa sledećom formulom:

$$\text{PaDI} = \text{PaDI}_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \quad (6)$$

Gde je k₁ korekcionni faktor temperature, a k₂ i k₃ su korekcionni faktori padavina (Palfai and Herceg, 2011).

Klasifikacija suše po jačini prema indeksu PaDI (°C/100 mm) obuhvata više kategorija: <4 - godina bez suše; 4-6 - blaga suša; 6-8 - umerena suša; 8-10 - umereno jaka suša; 10-15 - jaka suša; 15-30 - vrlo jaka suša i >30 - ekstremna suša.

Indeks neravnomernosti (anomalija) padavina

Indeks neravnomernosti (anomalija) padavina (Rainfall Anomaly Index, RAI), razvijen je od strane van Rooy-a (1965). Može se svrstati u grupu meteoroloških indeksa za identifikaciju suše, jer koristi samo padavine kao ulaznu promenljivu (Zargar et al., 2011). U zavisnosti od rasporeda padavina na ispitivanom području, RAI može da se računa za različite vremenske skale, nedelju, mesec ili godinu. Za područja sa dužim sušnim periodima, koristi se veća vremenska skala nego za područja sa kratkim sušnim periodima (Wanders et al., 2010). Prilikom izračunavanja RAI, vrši se poseban proračun za pozitivne i negativne anomalije. Tako izraz za pozitivne anomalije glasi:

$$\text{RAI} = 3 \cdot \frac{P - \bar{P}}{M - \bar{P}}, \quad (7)$$

a za negativne:

$$\text{RAI} = -3 \cdot \frac{P - \bar{P}}{m - \bar{P}} \quad (8)$$

Gde su:

\bar{P} - srednja vrednost suma padavina čitavog posmatranog perioda, izražena u mm;

P - suma padavina određene godine, izražena u mm;

\bar{M} - srednja vrednost 10 maksimalnih zabeleženih suma godišnjih padavina unutar posmatranog perioda, izražena u mm;

\bar{m} - srednja vrednost 10 minimalnih zabeleženih suma godišnjih padavina unutar posmatranog perioda, izražena u mm.

Za determinaciju sušnih uslova pomoću RAI koristi se sledeća klasifikacija (Shen et al., 2003): ≥3,00 - ekstremno vlažno; 2,00 do 2,99 - vrlo vlažno; 1,00 do 1,99 - umereno vlažno; 0,50 do 0,99 - malo vlažno; 0,49 do -0,49 - normalno; -0,50 do -0,99 - malo suvo; -1,00 do -1,99 - umereno suvo; -2,00 do -2,99 - vrlo suvo i ≤-3,00 - ekstremno suvo.

Dosadašnje studije pokazuju da primena ovog indeksa može predstavljati zadovoljavajuću alternativu kompleksnijim indeksima suše, koji osim padavina koriste još neke meteorološke parametre. Tako Wanders et al. (2010) navode da Oladipo (1985), poredeći RAI sa PDSI (Palmer Drought Severity Index) u svojoj studiji nije pronašao značajne razlike u dobijenim rezultatima. Takođe, Hänsel et al. (2016), dolaze do zaključka da RAI u svom nešto modifikovanom obliku može predstavljati adekvatnu alternativu za već dobro poznati i široko primenjivani SPI (Standardised Precipitation Index). U pomenutoj studiji, vrednosti RAI i SPI su u visokoj korelaciji na mesečnom i sezonskom nivou.

Rezultati i diskusija

Na osnovu podataka sa meteorološke stanice Rimski Šančevi za period od 1971. do 2014. godine, sprovedena je analiza primenom osam metoda za identifikaciju suše (Tabela 1). U Tabeli 1, intenzitet suše je predstavljen sivom pozadinom, gde najsvetlija nijansa predstavlja sušu najmanjeg intenziteta, dok najtamnija nijansa predstavlja ekstremnu sušu.

Sprovedena istraživanja su pokazala ograničenost u podudaranju među indeksima suše. Primenjene metode za ocenu suše potvrdile su složenost pojave suše kao i različitost metoda za njenu kvantifikaciju. Ova nejednakost je direktna posledica relativne prirode suše i specifičnih karakteristika suša i indeksa. Metode primenjene u ovom radu ne pokazuju konzistentnost u kvantifikovanju najsušnijih godina analiziranog perioda od 1971. do 2014. godine, ali ističu se 1990., 2000. i 2011. godina, koje se po većini metoda mogu smatrati godinama s izrazitom sušom. Broj identifikovanih sušnih godina zavisi od primenjenog metoda i kreće se od 4 (SPI_{12}) do 24 (Kišni faktor Langa) godine. Indeksi koji identifikuju sušu na osnovu podataka za vegetacioni period pokazuju manju oscilaciju u broju sušnih godina i kreću se od 9 (SPI_6) do 15 (RAI_6). Takođe, može se uočiti da je broj sušnih godina identifikovanih po istom metodi, veći za indekse dobijene na osnovu podataka za vegetacioni period nego za godinu (SPI , $SPEI$, AI), što ne važi u slučaju indeksa neravnomernosti (anomalija) padavina, gde je broj sušnih godina za oba perioda približno isti.

Tabela 1

Suše prema hidrotermičkom koeficijentu Seljaninova (K_s), indeksu suše De Martonne-a (I), kišnom faktoru Langa (K_f), indeksu suše Palfajja ($PaDI$), UNESCO indeksu aridnosti (AI), Standardizovanom indeksu padavina (SPI), Standardizovanom indeksu klimatskog vodnog bilansa ($SPEI$) i indeksu neravnomernosti padavina (RAI) za MS Rimski Šančevi (1971-2014)

Table 1

Droughts according to the hydrothermal coefficient of Seljaninov (K_s), De Martonne drought index (I), Lang rain factor (K_f), Palfai's Drought Index ($PaDI$), UNESCO Aridity Index (AI), Standardised Rainfall Index (SPI), Standardised Precipitation Evapotranspiration Index ($SPEI$) and rainfall anomaly index (RAI) for MS Rimski Šančevi (1971-2014)

God	K_s	I	K_f	$PaDI$	AI_g	SPI_{12}	$SPEI_{12}$	RAI_{12}	AI_v	SPI_6	$SPEI_6$	RAI_6
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1971	0,56	18,3	34,9	7,8	0,44	-1,71	-1,34	-3,88	0,28	-1,77	-1,44	-3,52
1972	1,35	32,7	61,8	3,3	0,80	0,74	0,57	0,71	0,76	1,26	1,01	1,81
1973	0,87	23,5	45,3	5,9	0,58	-0,94	-0,76	-2,28	0,46	-0,65	-0,66	-1,40
1974	1,01	28,1	53,2	4,2	0,72	-0,06	0	-0,63	0,57	0,13	0,25	-0,32
1975	1,20	26,0	48,9	3,3	0,69	-0,24	-0,36	-1,27	0,72	0,84	0,59	1,03
1976	1,33	32,0	62,9	3,6	0,82	0,07	0,29	0,21	0,69	0,69	0,80	0,72
1977	1,08	41,0	77,6	3,4	1,01	0,97	0,78	2,93	0,59	0,39	0,44	0,14
1978	1,23	30,2	60,2	3,4	0,78	0,16	0,50	-0,46	0,65	0,51	0,81	0,37
1979	0,84	28,3	53,2	4,0	0,70	-0,16	-0,29	-0,47	0,45	-0,49	-0,45	-1,58
1980	1,07	30,4	61,5	3,8	0,81	0,09	0,42	-0,53	0,57	-0,12	0,29	-0,91
1981	1,35	40,0	76,4	3,4	0,99	1,50	1,22	2,57	0,70	0,94	0,78	1,42
1982	0,82	24,0	44,9	4,3	0,62	-0,39	-0,56	-1,85	0,44	-0,58	-0,72	-1,74
1983	0,96	24,2	45,2	5,1	0,58	-0,82	-0,96	-1,79	0,52	-0,21	-0,58	-0,27
1984	1,10	28,4	54,8	3,7	0,70	0,09	0,21	-0,76	0,56	0,19	0,32	-0,26
1985	1,08	29,5	58,7	4,5	0,69	-0,05	-0,05	-0,69	0,48	-0,20	-0,28	-0,86
1986	0,81	23,1	44,5	4,9	0,55	-0,8	-0,77	-2,38	0,40	-0,67	-0,82	-1,90
1987	1,26	33,9	65,8	4,3	0,81	0,72	0,57	0,78	0,59	0,56	0,26	0,48
1988	0,64	22,0	41,2	7,1	0,53	-0,89	-0,96	-2,55	0,34	-1,13	-1,21	-2,67

God	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1989	0,96	23,4	43,6	6,1	0,61	-0,6	-0,71	-1,99	0,56	0,09	-0,01	-0,46
1990	0,58	20,6	37,8	8,9	0,47	-1,05	-1,14	-2,85	0,30	-1,42	-1,16	-3,11
1991	1,47	38,4	75,7	2,7	0,99	1,11	1,08	1,80	0,80	1,09	1,07	1,86
1992	0,60	24,1	44,0	9,3	0,52	-0,39	-0,85	-1,60	0,28	-1,26	-1,49	-2,86
1993	0,72	23,8	45,4	6,0	0,52	-0,86	-0,89	-2,13	0,32	-1,32	-1,29	-2,48
1994	0,88	25,5	46,3	5,3	0,61	-0,14	-0,68	-1,04	0,47	0,01	-0,63	-0,64
1995	1,31	34,9	66,3	3,7	0,87	0,6	0,48	1,29	0,70	0,55	0,43	1,49
1996	1,62	40,2	79,3	3,1	0,99	1,41	1,29	2,25	0,79	1,39	1,21	2,26
1997	1,30	37,1	72,0	2,7	0,87	1,12	1,09	1,61	0,63	0,79	0,77	0,93
1998	1,32	35,5	67,0	3,0	0,86	1,07	0,74	1,50	0,72	1,25	0,84	1,92
1999	1,48	43,9	81,9	2,7	1,14	2,08	1,59	3,89	0,85	1,63	1,16	2,91
2000	0,38	12,5	22,2	9,0	0,27	-2,63	-2,43	-5,35	0,18	-2,45	-2,20	-4,44
2001	1,97	46,5	87,1	2,6	1,16	2,38	1,81	4,58	1,13	2,91	2,31	6,21
2002	0,71	21,4	38,5	7,5	0,50	-0,79	-1,29	-2,38	0,38	-0,67	-1,09	-1,92
2003	0,64	23,2	43,2	9,2	0,51	-0,58	-1,12	-2,07	0,29	-1,17	-1,70	-2,72
2004	1,33	39,2	73,6	4,0	0,99	1,53	1,22	2,53	0,70	1	0,81	1,38
2005	1,61	35,8	69,9	2,2	0,91	0,95	0,86	1,25	0,83	1,54	1,27	2,60
2006	1,19	29,7	55,3	3,7	0,75	0,36	0,02	0,05	0,63	0,68	0,30	0,71
2007	0,89	35,5	63,9	5,1	0,85	1,32	0,64	2,05	0,49	0,22	-0,43	-0,20
2008	0,86	23,3	41,6	5,8	0,57	-0,44	-0,98	-1,67	0,47	-0,11	-0,59	-0,87
2009	0,71	28,4	51,3	5,6	0,68	1,32	0,62	0,00	0,36	-0,14	-0,86	-2,06
2010	1,89	48,4	90,5	2,1	1,25	2,59	2,00	5,13	1,04	2,56	1,89	5,23
2011	0,56	17,8	33,0	7,4	0,43	-1,63	-1,57	-3,87	0,28	-1,50	-1,52	-3,22
2012	0,60	21,6	38,8	9,5	0,50	-0,77	-1,51	-2,33	0,28	-1,29	-1,77	-2,92
2013	1,31	33,2	60,4	4,6	0,88	0,96	0,44	1,27	0,66	0,91	0,42	1,20
2014	1,77	35,6	62,8	3,1	0,99	1,42	0,76	2,27	0,95	2,00	1,48	3,71
N [*]	20	18	24	19	6	4	7	16	14	9	10	15

(N - ukupan broj sušnih godina)

Zaključci

U radu je dat pregled indeksa koji se koriste za identifikaciju pojave suše, bez obzira na to koliko su njihove definicije i značenja raznovrsni i komplikovani. Mnoge definicije i pokazatelji suše su poznati. Indeksi suše čine se najjednostavnijim alatom pri analizi suše. Indeksi suše mogu biti izračunati za individualnu meteorološku stanicu ili za šire područje, koristeći podatke sa više stanica. U svakom slučaju cilj je da se generiše jednostavan i dobro interpretiran broj ili fizička promenljiva sa svojom dimenzijom, koji mogu odgovoriti na pitanje da li je suša prisutna ili ne. U ovom istraživanju primenjeno je osam indeksa suše na podatke dobijene sa meteorološke stanice Rimski Šančevi za period od 1971. do 2014. godine. Primenjene metode ne pokazuju konzistentnost u kvantifikovanju sušnih godina analiziranog perioda, ali ističu se 1990., 2000. i 2011. godina, koje se po većini metoda mogu smatrati godinama sa izrazitom sušom. Rezultati su pokazali da svaka od metoda ima svoje specifičnosti i da se ni jedna metoda ne može istaći kao apsolutno pouzdana. Razmatranje definicije suše zajedno sa istraživanjem njenih indeksa treba da ukaže na široku mogućnost kategorizacije ove

veoma važne pojave, prvenstveno sa meteorološke tačke gledišta. Pri tome treba naglasiti da postoje mnoge definicije suše i numeričke kategorizacije i da je gotovo nemoguće odrediti bilo kakvu apsolutnu kategorizaciju. S obzirom na to da ne postoji jedinstvena i jedinstveno prihvaćena definicija suše, ne postoji ni jedinstven i univerzalan indeks suše.

Literatura

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO. Irrigation and drainage paper 56. Rome.
- Berić, M., Zelenhasić, E., Srđević, B. 1990. Extreme Dry Weather Intervals of the Growing Season in Bačka, Yugoslavia. *Water Resources Management* 4. pp 79-95. Dordrecht, The Netherlands.
- Frank, A. 2016. Razvoj metodologije za procenu indikatora u cilju unapređenja prognoze klimatološke suše. (Doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka). pp. 179.
- Guttman, N. B. 1999. Accepting the standardized precipitation index: A calculation algorithm. *Journal of the American Water Resources Association*. 35: 311–322.
- Hänsel S., Schucknecht A., Matschullat J. 2006. The Modified Rainfall Anomaly Index (mRAI) - is this an alternative to the Standardised Precipitation Index (SPI) in evaluating future extreme precipitation characteristics?. *Theor. Appl. Climatol.* 123: 827–844. DOI 10.1007/s00704-015-1389-y.
- Heim, R. 2002. A review of twentieth-century drought indices used in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 83: 1149-1165.
- Herceg, A. 2012. The Palfai Drought Index. In: Drought Management Centre for South-East Europe (DMCSEE) - Summary of the result of the project. Ed: Gregorič, G. Slovenian Environmental Agency. 17-22.
- Hrnjak I., Lukić T., Gavrilov M. B., Marković S. B., Unkašević M., Tošić I. 2014. Aridity in Vojvodina, Serbia. *Theor. Appl. Climatol.* 115: 323–332. DOI 10.1007/s00704-013-0893-1.
- Komljenović, I., Kondić, D. 2011. Praktikum iz Opšteg ratarstva. Poljoprivredni fakultet. Banja Luka. pp. 86.
- Mishra, K.A., Singh, P.V. 2011. Drought modelling - A review. *Journal of Hydrology*. 403 (1-2): 157-175.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology*. Boston MA: American Meteorological Society. 179–184.
- Oladipo, E.O. 1985. A comparative performance analysis of three meteorological drought indices. *Journal of Climatology*. 5: 655–664.
- Palfai, I., Darnai, S. 1990. Suša u 1990. godini. *Vode Vojvodine*. Novi Sad. 19: 185–192.
- Palfai, I., Herceg, A. 2011. Droughtness of Hungary and Balkan Peninsula. *Riscuri Si Catastrofe*. X. 9: 145–154.
- Rajić M., Rajić, M., Stojiljković D. 2006. Climatic Changes Impact on Tendency of Drought in Vojvodina Province. *Proceedings of Full papers on CD-ROM from the 9th Inter-Regional Conference on Environment-Water, EnviroWater*, May 17-19. pp 1-8. Delft, The Netherlands.
- Rajić M., Štula, S. 2007. Klimatske promene i pojava suša na području južne Bačke. *Letopis naučnih radova*, Godina 31. broj 1: 80-89. Poljoprivredni fakultet. Novi Sad.
- Rajić M. Bezdan A. 2012. Contribution to Research of Droughts in Vojvodina Province. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*. Vol.7. 3: 101–107, Romania.
- Shen S., Howard A., Yin H., Khurshed F., Akbar M. 2003. Statistical Analysis of Drought Indices and Alberta Drought Monitoring. pp. 11. Alberta Agriculture. Food and Rural Development.
- UNESCO. 1979. Map of the world distribution of arid regions. Explanatory note. MAP Technical Notes 7. pp. 54 + map. Paris.
- Van-Rooy, M.P. 1965. A rainfall anomaly index (RAI) independent of time and space. *Notos*. 14: 43–48.
- Vicente-Serrano S.M., Beguería S., López-Moreno J.I. 2010. A Multi-scalar drought index sensitive to global warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index - SPEI. *Journal of Climate*. 23: 1696–1718. DOI:10.1175/2009JCLI2909.1.
- Wanders, N., van Lanen, H. A. J. and van Loon, A. F. 2010. Indicators for drought characterization on a global scale. Technical Report No. 24. Wageningen. The Netherlands.
- WMO. 1992. International Meteorological vocabulary. 2d ed. No. 182.

Comparison of different methods for drought assessment in the area of South Bačka

Milica Rajić^{a*}, Radoš Zemunac^a

^aUniversity of Novi Sad, Faculty of Agriculture, Department of water management, Novi Sad, Serbia

*Corresponding author: milica@polj.uns.ac.rs

ABSTRACT

As a result of climate change in global warming, drought is a growing problem in many parts of the world. Among the extreme meteorological events, drought is possibly the most slowly developing and long existing event, and probably is the least predictable among the atmospheric hazards. The indices used for identification of drought phenomenon in the agricultural meteorology practice are given in this paper. Many drought definitions and indices are known. Drought indices seem to be the simplest tools in drought analysis. Researches of the phenomenon of drought years were carried out in the period 1971-2014 for Meteorological station Rimski Šančevi in the area of south Bačka. In order to determine dry years, following criteria have been used: Lang rain factor, De Martonne drought index, hydrotermic coefficient by Seljaninov, UNESCO Aridity Index, Standardised Precipitation Index, Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index, Palfai's Drought Index and Rainfall Anomaly Index. The applied drought assessment methods have confirmed the complexity of the drought phenomenon as well as the diversity of the methods for its quantification. Results have revealed that each of these methods has its specific features and there is no method can be expressed as absolutely reliable. The investigations of indices showed limited agreement among the drought indices.

KEY WORDS

climate, drought, drought indices, dry years, meteorological drought

Primljen: 17.11.2017.

Prihvaćen: 29.12.2017.