

## ANALIZA METODA ZA KVANTIFIKACIJU SUŠE

Radoš Zemunac<sup>1</sup>, Milica Rajić<sup>1</sup>, Atila Beždan<sup>1</sup>

**Izvod:** Ekstremne klimatske pojave poput suše, u mnogim delovima sveta nanose velike štete privredi, pa i šire. Analiza ove pojave je od velikog značaja za sve one koji su izloženi njenom uticaju. Indeksi suše se čine najjednostavnijim alatom za njenu analizu. U radu su korišćena četiri indeksa suše: De-Martonne-ov indeks suše, standardizovani indeks padavina, standardizovani indeks klimatskog vodnog bilansa i indeks anomalija padavina. Analiza je sprovedena za meteorološku stanicu Rimski Šančevi, za period od 1971-2014. godine. Rezultati ukazuju na smenjivanje sušnih i vlažnih godina, a korelaciona analiza pokazuje u kojoj meri ovi indeksi mogu predstavljati jedan drugome alternativu.

**Ključne reči:** klima, suša, indeksi suše, korelacija

### Uvod

Vekovima unazad, klimatski uslovi predstavljaju jedan od glavnih faktora koji utiču na život i opstanak ljudi na nekom području. Klimu područja karakterišu meteorološki parametri (temperatura, padavine, isparavanje, vetar i dr.), kao i ekstremne pojave koje se javljaju sa različitim učestalošću. Jedna od tih pojava je suša, koja je od strane WMO (1975) okarakterisana kao jedan od najgorih čovekovih neprijatelja. Suša se najsporije razvija i dugo traje, i verovatno je najmanje predvidiva od svih atmosferskih nepogoda (Dunkel, 2009). Uticaj suše na životnu sredinu ogleda se u degradaciji zemljišta, koju prati smanjenje prirodnog potencijala područja. Pored toga, negativan uticaj suše se odražava na uslove života i ekonomski napredak stanovništva koje je ovome izloženo. Iako je glavni uzrok suša nedostatak padavina na nekom području, manifestacija suša je dosta različita, pa je zbog toga ovaj pojam definisan u nekoliko naučnih disciplina, sve u zavisnosti sa kog aspekta se proučava ova pojava (WMO, 1992; Heim, 2002). U literaturi se često sreće podela suše na sledeće kategorije (Dracup et al., 1980; Mishra and Singh, 2011; Rad et al., 2017): meteorološka, poljoprivredna, hidrološka i socio-ekonomska suša.

Analizom i kvantifikacijom sušnih pojava dobijaju se važne informacije koje mogu biti od koristi prilikom donošenja odluka u oblastima poljoprivrede, vodoprivrede, kao i svima onima koji se bave klimatskim promenama i problemima zaštite životne sredine. Identifikacija i kvantifikacija suše sprovodi se primenom različitih metoda razvijanih proteklih decenija, pri čemu se indeksi suše čine najjednostavnijim i najadekvatnijim alatom pri njenoj analizi. Prema WMO (1986), indeks suše je *indeks koji se odnosi na neki od kumulativnih efekata produženog i prekomernog deficita vlage* (Dunkel, 2009). Za izračunavanje indeksa suše, koji se koriste pri analizi prostorne i vremenske raspodele ove pojave, koriste se uglavnom meteorološki parametri, koji se redovno osmatraju na meteorološkim stanicama. U radu su korišćeni meteorološki parametri

<sup>1</sup>Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Trg Dositeja Obradovića 8, Novi Sad, Srbija (zemunac.rados@polj.uns.ac.rs).

dobijeni sa meteorološke stanice (MS) Rimski Šančevi, osmotreni u periodu 1971-2014. godine. Za kvantifikaciju suše na godišnjem nivou, korišćeni su: De Martonne-ov indeks suše (I), standardizovani indeks padavina (Standardised Precipitation Index, SPI), standardizovani indeks klimatskog vodnog bilansa (Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index, SPEI), indeks anomalija padavina (Rainfall Anomaly Index, RAI). Proračunom ovih indeksa suše na godišnjem nivou, dobijena je vremenska varijacija sušnih godina u posmatranom periodu i izdvojene su najekstremnije sušne godine. Takođe, izvršena je i korelaciona analiza među samim indeksima, koja pokazuje njihovu usaglašenost i odgovara na pitanje da li, i u kojoj meri mogu predstavljati jedan drugome alternativu pri kvantifikaciji ove važne meteorološke pojave.

### Materijal i metode rada

Za Vojvodansku ravnicu, kao izrazito poljoprivredni region, suša predstavlja veoma negativnu pojavu. U radu je sprovedena analiza suše, za period od 1971-2014. godine, korišćenjem podataka dobijenih sa MS Rimski Šančevi (45°19'19" N, 19°49'46" E), koja se geografski nalazi na području južne Bačke. Ovo područje je tipičan predstavnik agroekoloških i klimatskih uslova koji vladaju u Vojvodini. Klima ovog područja može se okarakterisati kao umereno kontinentalna, sa izražena sva četiri godišnja doba. Raspored padavina je neravnomeran, što utiče na naizmeničnu pojavu poplava i suša (Stojić i Skorić, 1996). Za posmatrani period, prosečna visina padavina, izmerena na MS Rimski Šančevi, bila je 636,8 mm, a srednja godišnja temperatura vazduha 11,4°C.

Analizom suše na ovom području su se bavili mnogi autori (Rajić and Bezdán, 2012; Gocić and Trajković, 2013; Rajić i Zemunac, 2017). Pored preporučenog i široko primenjivanog standardizovanog indeksa padavina (SPI), subjektivnim izborom autora i zbog mogućnosti međusobnog poređenja, u radu su korišćeni i De Martonne-ov indeks suše (I), standardizovani indeks klimatskog vodnog bilansa (SPEI), indeks anomalija padavina (RAI). Proračun je sproveden za godišnju vremensku skalu.

*De Martonne-ov indeks suše* jedan je od najprikkladnijih za analizu suše na području Vojvodine. Pomoću ovog indeksa mogu se odrediti sušne, vlažne i umerene oblasti (Hrnjak et al., 2014).

*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 (Guttman, 1999). Osobina SPI koja omogućava da se posmatraju različiti vremenski intervali omogućava da se suša pravovremeno registruje i vremenski prati. Računanje SPI-a za određeni vremenski period zahteva najmanje 30-to godišnji niz mesečnih podataka o količini padavina. SPI je jedna od najčešće primenjivanih metoda, i to u svim delovima sveta bez obzira na klimatske ili topografske karakteristike. Prema zahtevu Svetske meteorološke organizacije, od 2010. godine i Republički Hidrometeorološki zavod Srbije je uvrstio u svoje operativne procedure određivanje vrednosti SPI.

*Standardizovani indeks klimatskog vodnog bilansa* (Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index, SPEI) je razvijen za potrebe kvantifikovanja stanja suše (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. Kategorizacija uslova vlažnosti na osnovu SPEI je preuzeta od McKee et al. (1993) koji su predložili kategorizaciju uslova vlažnosti na osnovu SPI.

*Indeks 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 ulazni parametar (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. Prilikom izračunavanja RAI, vrši se poseban proračun za pozitivne i negativne anomalije. Izračunavanje ovog indeksa i determinacija sušnih uslova izvršena je prema Shen et al. (2003).

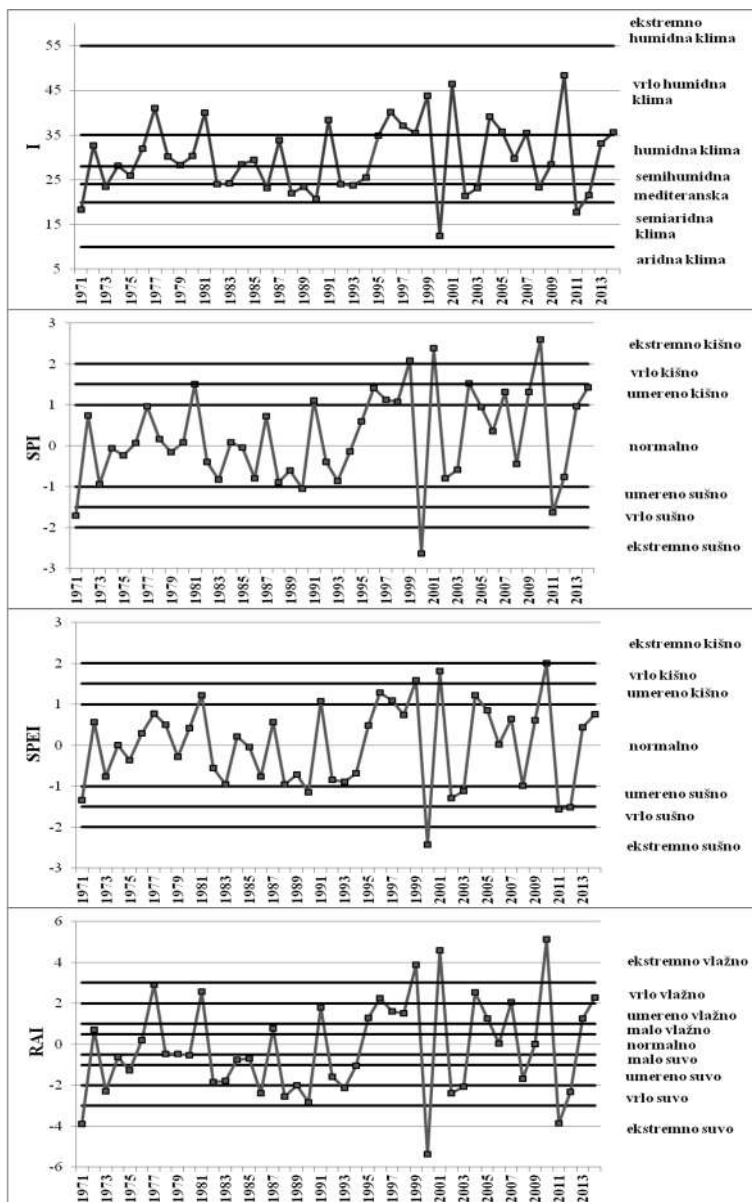
Izvorne klasifikacije za svaki od ovih indeksa suša, predstavljene su uz vremensku raspodelu dobijenih vrednosti indeksa na godišnjem nivou, radi lakšeg kvantifikovanja i praćenja intenziteta suše kroz godine (Slika 1). Međusobna usaglašenost analiziranih indeksa kvantitativno je izražena pomoću Pirsonovog produkt-moment koeficijenta korelacije. Koeficijent korelacije nije računat na osnovu dobijenih vrednosti svakog od indeksa, već na osnovu toga na koji način svaki od indeksa kvantifikuje sušu. To je postignuto uspostavljanjem zajedničke klasifikacije i dodeljivanjem ocena od 1 do 7 (od najsušnije do najvlažnije klase, respektivno), kao što je prikazano u Tabeli 1. Ovde je zapravo modifikovana samo izvorna klasifikacija RAI-a, gde je broj klasa smanjen sa 9 na 7, kako bi bila u saglasnosti sa klasifikacijama ostalih analiziranih indeksa.

Tabela 1. Zajednička klasifikacija za kvantifikaciju suše  
*Table 1. Common classification for drought quantification*

I	SPI i SPEI	RAI	Opis klase	Ocene
>55	$2,0 \leq$	$\geq 3,00$	ekstremno vlažno	7
35 do 55	1,5 do 1,99	2,00 do 2,99	vrlo vlažno	6
28 do 35	1,0 do 1,49	1,00 do 1,99	umereno vlažno	5
24 do 28	-0,99 do 0,99	0,99 do -0,99	u granicama normale	4
20 do 24	-1,0 do -1,49	-1,00 do -1,99	umereno sušno	3
10 do 20	-1,5 do -1,99	-2,00 do -2,99	vrlo sušno	2
< 10	$\leq -2,0$	$\leq -3,00$	ekstremno sušno	1

### Rezultati istraživanja i diskusija

Dobijene vrednosti analiziranih indeksa suše, sa svojim izvornim klasifikacijama prikazane su na Slici 1. Rezultati pokazuju veliku varijaciju vrednosti indeksa tokom posmatranog perioda, odnosno potvrđuju ranije pomenutu konstataciju da se na predmetnom području naizmenično javljaju sušne i vlažne godine.



Slika 1. Vremenska varijacija vrednosti indeksa suše De Martonne-a (I), standardizovanog indeksa padavina (SPI), standardizovanog indeksa klimatskog vodnog bilansa (SPEI) i indeksa anomalija padavina (RAI) za MS Rimski Šančevi (1971-2014)  
 Picture 1. The time variation of values of the De Martonne drought index (I), Standardised Precipitation Index (SPI), Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index (SPEI) and Rainfall Anomaly Index (RAI) for MS Rimski Šančevi (1971-2014)

Prema modifikovanoj klasifikaciji koja je uspostavljena radi lakšeg međusobnog poređenja indeksa (Tabela 1), analizirani indeksi izdvajaju različit broj sušnih godina tokom izučavanog vremenskog perioda. Tako indeks De-Martonne-a izdvaja 13 sušnih godina, od čega ni jedna nije kvantifikovana kao ekstremno sušna. SPI, za razliku od indeksa De-Martonne-a izdvaja samo četiri sušne godine, od čega jednu kao ekstremno sušnu. Slično, i SPEI izdvaja šest sušnih godina, sa takođe samo jednom okarakterisanom kao ekstremno sušnom. Indeks anomalija padavina (RAI) pokazao se kao „najrigorozniji” prilikom kvantifikacije suše na godišnjem nivou, izdvojivši čak 18 sušnih godina, od čega tri spadaju u kategoriju ekstremno sušnih. Tri od četiri analizirana indeksa (svi osim indeksa De-Martonnea) svrstavaju 2000. godinu u ekstremno sušnu kategoriju.

Pirsonov produkt-moment koeficijent korelacije korišćen je kako bi se ispitala međusobna usaglašenost analiziranih indeksa suše. Vrednosti koeficijenata korelacije između indeksa prikazane su korelacionom matricom (Tabela 2). Prema statističkim kriterijumima, koje daje Taylor (1990), među svim analiziranim indeksima se javljala statistički značajna visoka korelacija (za  $\alpha=0,05$ ). Međutim, i unutar dobijenih rezultata, izdvajaju se veoma visoke korelacije među indeksima. Te visoke korelacije se javljaju između preporučenog SPI-a i SPEI-a ( $r=0,922$ ), kao i između SPI-a i RAI-a ( $r=0,820$ ). Visoka korelacija se javljala i između indeksa De-Martonne-a i RAI-a ( $r=0,946$ ).

Tabela 2. Koeficijenti korelacije (r) za analizirane indekse suše  
 Table 2. Correlation coefficients (r) for analysed drought indices

	I	SPI	SPEI	RAI
I	1	0,732	0,713	0,946
SPI		1	0,922	0,820
SPEI			1	0,780
RAI				1

### Zaključak

Suša, kao ekstremna meteorološka pojava, zauzima veoma važno mesto u proučavanju klimatskih prilika nekog područja. Njeno praćenje i kvantifikacija su od velike važnosti za sve subjekte čije delatnosti zavise od prirode i pojava koje se u njoj dešavaju. Stoga se suša proučava u nekoliko naučnih disciplina, u zavisnosti od aspekta sa koga se posmatra ovaj fenomen. Indeksi suše se čine najjednostavnijim alatom za analizu i kvantifikaciju ove pojave. Oni mogu biti izračunati za individualnu meteorološku stanicu ili za šire područje i mogu se računati za različite periode (godina, sezona, mesec, nedelja). U radu je dat pregled četiri indeksa suše i analiziran je način na koji svaki od njih kvantifikuje ovu pojavu na godišnjem nivou, na primeru MS Rimski Šančevi, za period 1971-2014. godine. Svaki od indeksa je kvantifikovao različit ukupan broj sušnih godina i svi potvrđuju da je 2000. godina bila najsušnija unutar posmatranog perioda. Korelacijom je utvrđena veza između načina na koji svaki od ovih indeksa kvantifikuje sušu. SPEI i RAI su bili u veoma visokoj korelaciji sa

preporučanim i široko primenjivanim SPI-em, i mogu predstavljati adekvatnu alternativu ovom indeksu. Posebna prednost RAI-a može biti jednostavnost njegovog izračunavanja, kao i mogućnost proračuna za različite vremenske skale. Međutim, imajući u vidu da ne postoji jedinstvena definicija suše i perspektiva sa koje se posmatra ova pojava, i uzimajući u obzir sve osobenosti koje poseduju različita područja, ne može se uspostaviti jedinstven i preporučiti apsolutno univerzalan indeks suše.

### Literatura

- Dracup J. A., Lee K. S., Paulson Jr. E. G. (1980). On the statistical characteristics of drought events. *Water Resour. Res.* 16: 289–296.
- Dunkel Z. (2009). Brief surveying and discussing of drought indices used in agricultural meteorology. *Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*. 113 (1-2): 23–37.
- Gocić M., Trajković S. (2013). Analysis of precipitation and drought data in Serbia over the period 1980–2010. *Journal of Hydrology*. 494: 32–42.
- Guttman N. B. (1999). Accepting the standardized precipitation index: A calculation algorithm. *Journal of the American Water Resources Association*. 35: 311–322.
- Heim R. (2002). A review of twentieth-century drought indices used in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 83: 1149–1165.
- 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.
- 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.
- Mishra K.A., Singh P.V. (2011). Drought modelling - A review. *Journal of Hydrology*. 403 (1-2): 157–175.
- Rad A. M., Ghahraman B., Khalili D., Ghahremani Z., Aedakani S. A. (2017). Integrated meteorological and hydrological drought model: A management tool for proactive water resources planning of semi-arid regions. *Advances in Water Resources*. 107: 336–353.
- Rajić M., Bezdan A. (2012). Contribution to Research of Droughts in Vojvodina Province. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*. 7 (3): 101–107. Romania.
- Rajić M., Zemunac R. (2017). Poređenje različitih metoda za ocenu suše na području Južne Bačke. *Letopis naučnih radova*. 42 (1): 68–76. Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, Srbija.
- 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.
- Stojić M., Škorić M. (1996). Klimatske prilike u slivu Jegričke. *Monografija Jegrička*. Veselin Lazić. 25–33. Novi Sad, Srbija: Edicija Tija voda. PČESA.
- Taylor R. (1990). Interpretation of the Correlation Coefficient: A Basic Review. *Journal of Diagnostic Medical Sonography*. 1: 35–39.

- 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.
- WMO. (1975). Drought and agriculture. WMO Technical Note 138. Geneva.
- WMO. (1986). Report on drought and countries affected by drought during 1974–1985. WCP-118. Geneva.
- WMO. (1992). International Meteorological vocabulary. 2d ed. No. 182.
- Zargar A., Sadiq R., Naser B., Khan F., I. (2011). A review of drought indices. *Environ. Rev.* 19: 333–349.

## ANALYSIS OF DROUGHT QUANTIFICATION METHODS

*Radoš Zemunac<sup>1</sup>, Milica Rajić<sup>1</sup>, Atila Bezdán<sup>1</sup>*

### Abstract

Extreme climatic events such as drought, in many parts of the world are causing great damage to the economy and even wider. An analysis of this event is of great importance to all those who are exposed to its influence. Drought indices seem to be the simplest tool for its analysis. Four drought indices were used: De-Martonne drought index, Standardised Precipitation Index, Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index and Rainfall Anomaly Index. The analysis was conducted for the meteorological station Rimski Šančevi, over the period 1971-2014. The results indicate shifting of dry and wet years, and the correlation shows to what extent these indices can represent each other's alternative.

**Key words:** climate, drought, drought indices, correlation

---

<sup>1</sup>University of Novi Sad, Faculty of Agriculture, Trg Dositeja Obradovića 8, Novi Sad, Serbia (zemunac.rados@polj.uns.ac.rs)