



Prilog proučavanju suša na području južne Bačke

Milica Rajić^{a*}

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

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

SAŽETAK

Iako je glavni uzrok suša nedostatak padavina na nekom području, na pojavu suše utiče i nepovoljan raspored padavina, visoke temperature vazduha, niska relativna vlažnost vazduha i visoka evapotranspiracija. Beskišni periodi su najvažniji za pojavu suše i oni su i analizirani u ovom radu. Sušni periodi, koji su analizirani u ovom radu definisani su kao gornji ekstremi beskišnih perioda. Kompletna analiza je sprovedena metodom koji opisuje i analizira gornje ekstreme u hidrologiji. Metod obuhvata sve važne komponente sušnih perioda kao što su njihov ukupan broj u toku datog perioda vremena – vegetacioni period, njihovo trajanje i najduži sušni period. Analiza je sprovedena za meteorološku stanicu Rimski Šančevi, pri čemu je analiza sprovedena za dva različita perioda: Period A: 1949-1985 i Period B: 1986-2012. Teorijske i empirijske funkcije raspodele pokazale su dobru saglasnost za sve analizirane komponente procesa, za oba perioda analize. Poređenje analize sušnih perioda za ova dva perioda, ukazalo je da se sušni periodi u Vojvodini javljaju češće, kao i da su duži u drugom periodu (B), odnosno posle 1986 godine.

KLJUČNE REČI

suša, beskišni period, ekstremi u hidrologiji

Uvod

Problemom suše bave se mnogi naučnici i istraživači i u svetu i kod nas. Suša je po svojim osobinama fenomen kompleksnog karaktera. Iako postoje mnoge definicije i pokazatelji suše činjenica je da je glavni uzrok suše nedostatak padavina nad nekim slivom. Što se tiče suša, one se mogu definisati sa agronomskog, meteorološkog, hidrološkog i socijalnog aspekta (Heim, 2002). Prema Svetskoj meteorološkoj organizaciji (WMO, 1992), suša je produženo odsustvo, izražen deficit ili loša raspodela padavina. Suše u Vojvodini su sve učestalije, a zavisno o intenzitetu i trajanju mogu značajno smanjiti prinose poljoprivrednih kultura. Nedostatak vlage za biljke u letnjim mesecima, posledica je visokih temperatura vazduha, niske relativne vlažnosti vazduha, vrlo visoke evapotranspiracije i nedovoljne količine padavina. U toku vegetacione sezone javljaju se kraći ili duži sušni periodi (Berić et al., 1990; Palfai i Darnai, 1990; Rajić i sar., 2006; Rajić i Štula, 2007), te cela Vojvodina ponekad postaje aridna oblast sa izraženim manjkovima vode (Rajić, 2000). Lalić i sar. (2011) konstatuju da se do 2040 godine na području Vojvodine može očekivati porast srednje godišnje temperature vazduha od 1,1 – 1,5°C, dok se do 2080 godine može očekivati porast od 2,3 – 2,6°C. Takođe se očekuje smanjenje broja mraznih dana, a povećanje broja letnjih i tropskih dana. Kada je u pitanju padavinski režim, negativan trend bi trebalo da se zadrži i u narednim decenijama, ali ovo smanjenje količine padavina neće biti ravnomerno već se očekuje porast broja sušnih dana tokom leta i jeseni, a smanjenje tokom proleća (Lalić i sar., 2011).

Danas postoji veliki broj metoda za procenu i prognozu suše. Sve veće svakodnevne potrebe za preciznim određivanjem karakterističnih vrednosti ekstremnih hidroloških i meteoroloških veličina, postavljaju pred inženjere i naučne radnike velike probleme prilikom izbora odgovarajućeg metoda stohastičke analize ovih pojava. To je slučaj i sa sušom, kao ekstremnom hidrološkom pojavom. Izbor hidrološko stohastičkih metoda za analizu ekstrema u hidrologiji sa ciljem da se dođe do nekog pouzdanog zaključka neosporno je težak zadatak, pogotovo ako su ekstremne pojave, kao hidrološke promenljive, još i različito definisane. Svaki metod koji se upotrebljava za proučavanje strukture i matematički opis hidroloških stohastičkih serija (serija izvedenih iz osnovnog hidrološkog procesa) u prirodi, treba da dovodi do istih ili bar sličnih osnovnih zaključaka o procesu iz kojeg serija potiče. U isto

vreme svaki metod treba da posluži za dobijanje većine informacija o analiziranom procesu iz osmotrenih podataka. U teoriji i praksi postoje brojni hidrološki, ali i drugi metodi kojima se teži da se kvalitativno definišu ekstremi. Mishra & 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. Model koji je predstavljen kao jedan od boljih za modeliranje trajanja suše je Discrete Autoregressive Moving Average (DARMA) (Moradi et al., 2011). U radu je primenjen koncept povratnog perioda za ocenu jačine ekstremnih suša, a za proučavanje suša određen je standardni indeks padavina (SPI). Za dugoročnu prognozu suša, odnosno broja i trajanja suša, autori su kombinovali RUN teoriju i Markovljeve lance.

Predmet analize u ovom radu su sušni periodi, koji su definisani kao gornji ekstremi beskišnih perioda. Kako se u Vojvodini najveći deo površina nalazi pod ratarskim kulturama to se u ovom radu pod sušnim periodom podrazumeva beskišni period u trajanju dužem od 15 dana (Berić et al., 1990).

Materijal i metod

Za meteorološku stanicu Rimski Šančevi izdvojeni su beskišni periodi duži od 15 dana u toku vegetacione sezone u periodu od 1949 – 2012. Za područja umerene kontinentalne klime srednje i jugoistočne Evrope, uključujući i Vojvodinu kao vegetaciona sezona uzima se period april – septembar. Unutar svake vegetacione sezone iz višegodišnjeg niza godina osmatranja izdvojeni su hijetogrami kiša i periodi bez kiša, a zatim je određeno trajanje perioda bez kiša. Iz toga sledi da je kišni proces prekidan proces, zato što svakom hijetogramu kiša predhodi i sledi period bez kiša. Izdvajanjem beskišnih perioda Y_m i uvođenjem referentnog nivoa Y_r izdvojene su dve grupe beskišnih perioda i to:

$$Y_m > Y_r \quad (1)$$

$$Y_m \leq Y_r \quad (2)$$

Beskišni periodi veći od referentnog nivoa $Y_r = 15$ dana označavaju sušne periode X_v i oni su predmet analize, dok se beskišni periodi manji od referentnog nivoa Y_r ne uzimaju u obzir. Na osnovu referentnog nivoa Y_r može se definisati nova slučajna promenljiva Z_v , kao eksces sušnog perioda:

$$Z_v = X_v - Y_r \quad (3)$$

Za svaki izolovani sušni period određuje se njegovo trajanje X_v (dana) i vreme pojave $\tau(v)$, gde je $v = 1, 2, \dots$ redni broj sušnog perioda u toku vegetacione sezone $[0, t]$.

Vreme pojave sušnog perioda, $\tau(v)$ [dan] odgovara sredini intervala:

$$\tau = \frac{1}{2} (\tau_p + \tau_s) \quad (4)$$

gde je:

$\tau_p(v)$ - vreme početka sušnog perioda

$\tau_s(v)$ - vreme svršetka sušnog perioda

Model je baziran na pretpostavci da su sušni periodi nezavisne i identično raspoređene slučajno promenljive, čija se pojava podvrgava Poasonovom zakonu verovatnoće. Ovo se utvrđuje primenom testa koraka pri pragu značajnosti od 5%. Takođe se analizira i serijska korelacija, odnosno utvrđuje se da li je ista značajna ili ne. Ostala objašnjenja koja se odnose na teoriju primenjenog metoda mogu se naći u radu Berić et al. (1990).

Rezultati i diskusija

Podaci o sušnim periodima analizirani su posebno za dva različita perioda za meteorološku stanicu Rimski Šančevi (Tabela 1). Za proveru nulte hipoteze da su sušni periodi u vegetacionoj sezoni za

meteorološku stanicu Rimski Šančevi nezavisne i identično raspoređene slučajne promenljive primenjen je test koraka pri $\alpha = 5\%$ pragu značajnosti. Test je pokazao da se pomenuta nulta hipoteza ne može odbaciti. Test serijske korelacije (primenjen je test R. L. Andersona) je pokazao da su sukcesivni sušni periodi za pomenutu stanicu statistički nezavisni.

Tabela 1

Podaci o sušnim periodima za meteorološku stanicu Rimski Šančevi

Table 1

Data from meteorological station Rimski Šančevi used for analysis of droughts

	Period analize	Broj godina bez sušnih perioda	Ukupan broj sušnih perioda	Najduži sušni period (dana)
Period A	1949-1985	3	70	61
Period B	1986-2012	0	58	52

Raspodela broja sušnih perioda

Raspodela sušnih perioda u toku vegetacione sezone prikazana je u Tabeli 2.

Tabela 2

Empirijska učestalost broja sušnih perioda u toku vegetacione sezone za meteorološku stanicu Rimski Šančevi

Table 2

Empirical distributions of the number of droughts during growing period for meteorological station Rimski Šančevi

Redni broj	Broj dana	Interval (meseć)	Apsol. učestalost f		Rel. učestalost r.f.	
			Period A	Period B	Period A	Period B
1	30	01.IV -30.IV	7	8	0,100	0,138
2	31	01.V -31.V	10	7	0,143	0,121
3	30	01.VI -30.VI	5	9	0,071	0,155
4	31	01.VII-31.VII	13	10	0,186	0,172
5	31	01.VIII-31.VIII	18	16	0,257	0,276
6	30	01.IX -30.IX	17	8	0,243	0,138
	183	Ukupno:	70	58	1,000	1,000

Pošto su ovde osnovni podaci uzeti iz šire zone gornjih ekstrema, to se prema ranijim radovima (Berić et al., 1990; Rajić i Bezdan, 2012), očekivalo da će i ovde raspodela broja ovih slučajnih promenljivih biti po Poasonovom zakonu verovatnoće. Funkcija $\lambda_1(t)$ figuriše u Poasonovom zakonu verovatnoće kao:

$$P(E_k^t) = \frac{[\lambda_1(t)]^k}{k!} \cdot e^{-\lambda_1(t)} \quad (5)$$

gde je:

$\lambda_1(t)$ – prosečni (očekivani) broj sušnih perioda u vremenskom intervalu $[0,t]$

E_k^t – događaj da se tačno k sušnih perioda javi u vremenskom intervalu $[0,t]$, a k može biti 0, 1, 2

Prema Poasonovoj jednačini potrebno je odrediti funkciju $\lambda_1(t)$ - prosečan broj sušnih perioda u vremenskom intervalu $[0,t]$. Vremenski intervali imaju isti početak 1. april, preklapaju se i različitih su dužina (Tabela 3). Testovi dobrote prilagođavanja teorijskih raspodela sa empirijskim pri pragu značajnosti od 5% pokazali su dobro slaganje.

Za meteorološku stanicu Rimski Šančevi, sračunata je jednačina Poasona za oba perioda:

$$\text{Period A: } P(E_k^t) = \frac{1,892^k}{k!} \cdot 0,1508 \quad (6)$$

$$\text{Period B: } P(E_k^t) = \frac{2,148^k}{k!} \cdot 0,1167 \quad (7)$$

Tabela 3

Prosečan broj sušnih perioda za meteorološku stanicu Rimski Šančevi

Table 3

The average number of droughts for meteorological station Rimski Šančevi

Period analize	Interval vremena					
	1.April-30.April	1.April-31.Maj	1.April-30.Jun	1.April-31.Jul	1. April-31.Avgust	1. April-30.Sept.
Period A	0,216	0,486	0,622	0,973	1,432	1,892
Period B	0,296	0,556	0,889	1,259	1,852	2,148

Raspodela veličine sušnih perioda

Određena je raspodela slučajno promenljive Z_v , a kada se ona odredi, onda se lako određuje i veličina sušnog perioda X_v , po izrazu

$$X_v = Z_v + 15 \quad (8)$$

Za određivanje raspodele veličina, za vremenski interval $[0,t]$ uzeta je cela vegetaciona sezona. Aritmetička sredina, standardna devijacija i koeficijent varijacije uzoraka prikazani su u tabeli 4.

Tabela 4

Srednja vrednost, standardna devijacija i koeficijent varijacije veličine sušnih perioda za meteorološku stanicu Rimski Šančevi

Table 4

The average value, standard deviation and variation coefficient of the drought durations for the meteorological station Rimski Šančevi

Period analize	\bar{Z} (dana)	$\sigma(Z)$ (dana)	C_v
Period A	8,8	8,2	0,93
Period B	10,4	10,2	0,98

Odgovarajuća teorijska eksponencijalna funkcija raspodele je određena kao:

$$B(Z) = 1 - e^{-\lambda_2 \cdot Z}; \quad Z \geq 0 \quad (9)$$

gde je:

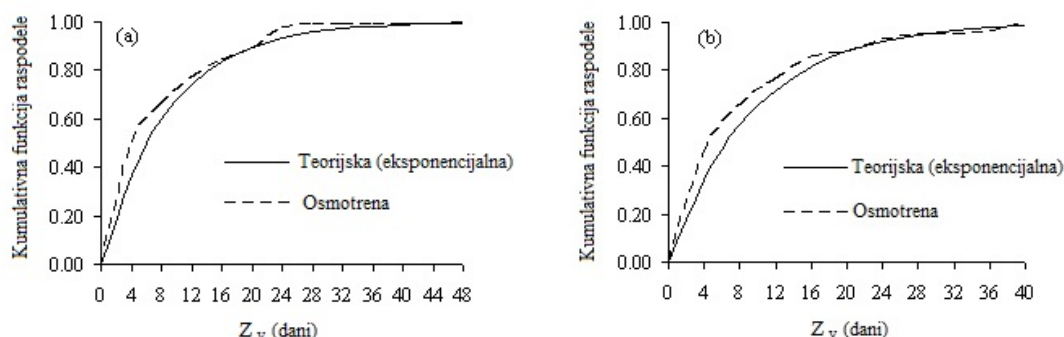
Za period A:

$$\lambda_2 = \frac{1}{\bar{Z}} = \frac{1}{8,8} = 0,1140 \quad (10)$$

Za Period B:

$$\lambda_2 = \frac{1}{\bar{Z}} = \frac{1}{10,4} = 0,0962 \quad (11)$$

Osmotrene i odgovarajuće teorijske funkcije raspodele slučajno promenljive Z_v prikazane su na slici 1, sa kojih se vidi da se eksponencijalna raspodela dobro prilagođava osmotrenoj, što je potvrdio i test prilagođavanja po Kolmogorov-Smirnovu.



Slika 1. Teorijska i osmotrena funkcija raspodele veličine sušnog perioda u toku vegetacione sezone za meteorološku stanicu Rimski Šančevi (a) Period A: 1949-1985 i (b) Period B: 1986-2012

Figure 1. The theoretical and observed distribution function of the drought durations for the growing season at the meteorological station Rimski Šančevi (a) Period A: 1949-1985 and (b) Period B: 1986-2012

Raspodela najvećeg sušnog perioda

Jedan od glavnih delova razmatrane metode je određivanje funkcije raspodele $F(Z/t)$ maksimalnih sušnih perioda. Funkcija raspodele $F(Z/t)$ maksimalnih sušnih perioda, u toku vremenskog intervala $[0, t]$:

$$F(Z/t) = e^{-\lambda_1(t)} \cdot e^{-\lambda_2 \cdot Z} \quad Z \geq 0 \quad (12)$$

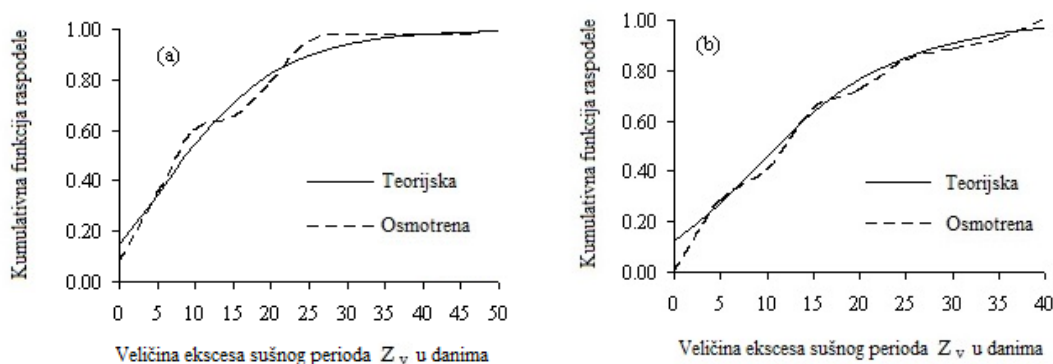
gde je:

$\lambda_1(t)$ – prosečni broj sušnih perioda u toku vegetacione sezone

λ_2 – parameter raspodele veličine sušnih perioda u toku vegetacione sezone

Dijagram teorijske i osmotrene funkcije raspodele najveće vrednosti Z_v za datu meteorološku stanicu prikazane su na slici 2. Kolmogorov - Smirnov test i χ^2 -test ukazali su na dobro slaganje ovih dveju funkcija raspodele za oba analizirana perioda.

Srednja vrednost, standardna devijacija i koeficijent varijacije najvećeg sušnog perioda prikazani su u tabeli 5.



Slika 2. Teorijska i osmotrena funkcija raspodele ekscesa maksimalnih sušnih perioda u toku vegetacione sezone za meteorološku stanicu Rimski Šančevi (a) Period A: 1949-1985 i (b) Period B: 1986-2012

Figure 2. The theoretical and observed distribution function of maximum drought period excess during growing season at the meteorological station Rimski Šančevi (a) Period A: 1949-1985 and (b) Period B: 1986-2012

Tabela 5

Srednja vrednost, standardna devijacija i koeficijent varijacije najvećeg sušnog perioda za meteorološku stanicu Rimski Šančevi

Table 5

The average value, standard deviation and variation coefficient of the largest extreme rainless periods for the meteorological station Rimski Šančevi

Period analize	max. \bar{Z} (dana)	σ (max.Z) (dana)	C_v
Period A	12,4	9,9	0,80
Period B	16,6	11,8	0,71

Zaključci

Sušni periodi, koji su analizirani u ovom radu definisani su kao gornji ekstremi beskišnih perioda. Analiza je sprovedena za dva različita perioda za meteorološku stanicu Rimski Šančevi. Primenjen je metod koji opisuje i analizira gornje ekstreme u hidrologiji. Teorijske i empirijske funkcije raspodele pokazale su dobru saglasnost za sve analizirane komponente procesa, za oba perioda analize. Poređenjem rezultata analize sušnih perioda za ova dva perioda, za meteorološku stanicu Rimski Šančevi može se zaključiti da se sušni periodi češće javljaju, kao i da su duži u drugom periodu (Period B), odnosno posle 1986 godine. Prosečan broj sušnih perioda je veći za drugi period analize (Period B) i to za sve podperiode vegetacione sezone. U periodu B se u toku vegetacione sezone javlja u proseku više od dva sušna perioda, a u periodu A manje od dva. Prosečan beskišni period duži od 15 dana je 23,8 dana za period A, a za period B iznosi 25,4 dana. Prosečno najveći sušni period za period A iznosi 27,4 dana, a za period B je 31,6 dana.

Literatura

- Berić, M., Zelenhasić, E., Srđević, B. 1990. Extreme Dry Weather Intervals of the Growing Season in Backa, Yugoslavia, *Water Resources Management*, 4: 79-95.
- Haim, R. 2002. A review of twentieth – century drought indece used in the United States, *Bulletin of American Meteorological Socyety*, 83: 1149 – 1165.
- Lalić, B., Mihailović, D.T., Podraščanin, Z. 2011. Buduće stanje klime u Vojvodini i očekivani uticaj na ratarsku proizvodnju, *Ratarstvo i Povrtarstvo / Field and Vegetable Crops Research* 48: 403-418.
- Mishra, K.A., Singh, P.V. 2011. Drought modeling-A review, *Journal of Hydrology*, 403(1-2): 157-175.
- Moradi, H.R., Rajabi, M., Faragzadeh, M. 2011. Investigation of meteorological drought characteristics in Fars province, Iran, *Catena*, 84(1-2): 35-46.
- Palfai, I., Darnai, S. 1990. Suša u 1990. godini, *Vode Vojvodine* 19: 185-192.
- Rajić, M. 2000. Uticaj dominantnih činilaca vodnog bilansa zemljišta Vojvodine na deficit vode gajenih biljaka, (Doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad).
- Rajić Milica, 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 2006*, 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(1): 80-89.
- Rajić M., Bezdan A. 2012. Contribution to Research of Droughts in Vojvodina Province, *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 7(3): 101–107.
- WMO. 1992. *International Meteorological vocabulary*. 2d ed. WMO No. 182.

Contribution to research of droughts in South Bačka region

Milica Rajić^{a*}

^aUniversity of Novi Sad, Faculty of Agriculture, Department of Water Management, Novi Sad, Serbia

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

ABSTRACT

In this paper drought periods are defined as the upper extremes of the rainless periods. Complete analysis is carried out calculating extreme rainless period which is obtained by method of describing and analyzing the upper extremes in hydrology. All important components of drought period processes such as their total number in a given time interval-growing season, their average number, their duration and the longest rainless period are obtained by analysis for meteorological station Rimski Šančevi, Vojvodina Province. Comparisons of drought analysis for two different periods for the same meteorological station are carried out: Period A: 1949-1985 and Period B: 1986-2012. Good agreement is found between the theoretical and empirical distribution functions for all analyzed components of the process for both analysed periods. Comparison of drought analysis revealed that the droughts in South Bačka region were common and also bigger for the period B, which means after 1986.

KEY WORDS

Drought, Rainless period, Extremes in Hydrology

Primljen: 03.11.2016.

Prihvaćen: 18.11.2016.