



UNIVERZITET U NOVOM SADU
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA



RAZVOJ METODOLOGIJE ZA PROCENU INDIKATORA U CILJU UNAPREĐENJA PROGNOZE KLIMATOLOŠKE SUŠE

DOKTORSKA DISERTACIJA

Mentor: Prof. dr Slaviša Trajković

Kandidat: mr Ana Frank

Novi Sad, 2016. godine



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ • ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
21000 НОВИ САД, Трг Доситеја Обрадовића 6

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број, РБР:	
Идентификациони број, ИБР:	
Тип документације, ТД:	Монографска документација
Тип записа, ТЗ:	Текстуални штампани материјал
Врста рада, ВР:	докторска дисертација
Аутор, АУ:	мр Ана Франк
Ментор, МН:	др Славиша Трајковић
Наслов рада, НР:	Развој методологије за процену индикатора у циљу унапређења климатолошке суше
Језик публикације, ЈП:	српски
Језик извода, ЈИ:	српски/енглески
Земља публикавања, ЗП:	Србија
Уже географско подручје, УГП:	Војводина
Година, ГО:	2016
Издавач, ИЗ:	Ауторски репринт
Место и адреса, МА:	Факултет техничких наука, Трг Доситеја Обрадовића 6, Нови Сад
Физички опис рада, ФО: (поглавља/страна/цитата/табела/слика/графика/прилога)	(10/178/164/63/101/0/2)
Научна област, НО:	Грађевинско инжењерство
Научна дисциплина, НД:	Хидротехника
Предметна одредница/Кључне речи, ПО:	индикатори суше, рана најава, моделовање суше, процена индикатора
УДК	
Чува се, ЧУ:	Библиотека Факултета техничких наука, Трг Доситеја обрадовића 6, Нови Сад
Важна напомена, ВН:	Нема
Извод, ИЗ:	У овој докторској дисертацији дат је предлог дизајна алгорита и методологије за процену индикатора суше – МЕПИС. Истраживање метода праћења суше обухватило је три традиционална индикатора и један ново формиран. Све укупно анализирано је 16 варијација четири одабрана индекса суше период истраживања обухватио је 62 године, 1951-2012. Анализе индикатора указале су на оправданост мењања приступа приступа проблематици суше и одступања од стохастичког разматрања њене појаве и приступања термодинамичким основама суше. Моделовање суше по аналогији са процесом сушења ваздухом показало је задовољавајуће резултате и као агрегат овог приступа добијен је ИДЕА индекс за праћење услова који погодују суши. Као индекс суше који се стриктно базира на симулацији физичких процеса указује на могућност дефинисања физичког стања атмосфере који одговара стању суше и корак је ка униформној физичкој дефиницији суше на основу услова који је узрокују. МЕПИС у својој пуној форми би дао довољно аргумената да се одређени индекси користе оперативно и могао би оправдати неопходне инвестиције у техничке и људске ресурсе.
Датум прихватања теме, ДП:	
Датум одбране, ДО:	
Чланови комисије, КО:	Председник: Др Срђан Колаковић
	Члан: Др Матија Стипић
	Члан: Др Срђан Попов
	Члан: Др Милан Гоцић
	Члан, ментор: Др Славиша Трајковић
	Потпис ментора



UNIVERSITY OF NOVI SAD • FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES
21000 NOVI SAD, Trg Dositeja Obradovića 6

KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number, ANO:	
Identification number, INO:	
Document type, DT:	Monograph documentation
Type of record, TR:	Textual printed material
Contents code, CC:	Doctoral dissertation
Author, AU:	Anna Frank, MSc
Mentor, MN:	Slaviša Trajković, PhD
Title, TI:	Development of methodology for indicator assessment in aim to improve forecast of climatological drought
Language of text, LT:	Serbian (Latin)
Language of abstract, LA:	Serbian (Latin) / English
Country of publication, CP:	Serbia
Locality of publication, LP:	Vojvodina
Publication year, PY:	2016
Publisher, PB:	Author's reprint
Publication place, PP:	Faculty of Technical Sciences, Trg Dositeja Obradovića 6, Novi Sad
Physical description, PD: <small>(chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)</small>	(10/178/164/63/101/0/2)
Scientific field, SF:	Civil Engineering
Scientific discipline, SD:	Hydrotehnics
Subject/Key words, S/KW:	Drought indicators, drought modelling, drought early warning, drought indicator assessment
UC	
Holding data, HD:	
Note, N:	None
Abstract, AB:	<p>In this doctoral dissertation have been proposed the designs of the algorithm and methodology for drought indicator assessment –MEPIS. Methods of drought monitoring were assessed. Three traditional drought indicators and one newly developed were investigated. In total 16 variations of four selected drought indicators were analyzed. Research covered period of 62 years, from 1951-2012. Analyses have resulted with justification that approach to the drought problem should be changed from stochastic to the one based on thermodynamics of drought. Modelling of drought in analogy with air drying has shown satisfactory results and as an aggregate of this approach was obtained IDEA drought indicator. Developed indicator showed significant progress in identifying meteorological conditions that favor the development of drought. It proves it is possible to define physical conditions that correspond to the state of drought. It is step forward to uniform definition of drought phenomena. MEPIS in its full form would give enough arguments to make decision about usage of tested drought indicators and could justify the necessary investments in the technical and human resources.</p>
Accepted by the Scientific Board on, ASB:	
Defended on, DE:	
Defended Board, DB:	President: Srđan Kolaković, PhD
	Member: Matija Stipić, PhD
	Member: Srđan Popov, PhD
	Member: Milan Gocić, PhD
	Member, Mentor: Slaviša Trajković, PhD
	Mentor's sign

RAZVOJ METODOLOGIJE ZA PROCENU INDIKATORA U CILJU UNAPREĐENJA
PROGNOZE KLIMATOLOŠKE SUŠE
mr Anna Frank

Sadržaj

Sadržaj	1
1. Uvod	3
1.1 Problem istraživanja i polazišta – hipoteze rada	3
1.2 Predmet i cilj istraživanja	4
1.3 Studija slučaja opravdanosti istraživanja	4
1.4 Prikaz prethodnih istraživanja iz oblasti	5
1.5 Primjenjene – metode naučno istraživačkog rada	8
1.6 Struktura rada	9
2. Domen istraživanja	10
2.1 Oblast istraživanja	10
2.2 Meteorološki parametri	10
2.2.1 Sunčevo zračenje	10
2.2.2 Temperatura vazduha	12
2.2.3 Vazdušni pritisak, vazдушna strujanja i polja pritiska	14
2.2.4 Padavine	15
2.2.5 Vetar	16
2.2.6 Vлага u vazduhu i procesi isparavanja i transpiracije	17
2.3 Promenljiva fizička svojstva vazduha (atmosfera) prilikom suše	19
2.4 Empirijske metode proračuna evapotranspiracije	22
2.4.1 Penman – Monteith metoda	23
2.4.2 Turkova metoda i modifikovana Turkova metoda	24
2.4.3 Hargreaves-ova metoda	25
2.4.4 Thorntwaite-ova metoda	26
2.5 Pojam suše	27
2.5.1 Bilansna jednačina	32
2.5.2 IPCC scenariji	38
2.5.3 Metoda generisanja podataka pomoću generalnog atmosferskog cirkulacionog modela ECHAM5	39
2.6 Modelovanje suše	40
2.6.1 Modelovanje suše po analogiji sa procesom sušenja vazduhom	40
2.6.2 Tradicionalni pristup modelovanja preko indikatora suše	41
2.6.3 Indeks efikasnosti sušenja vazduhom / Index of Drying Efficiency of Air – IDEA	45
2.6.4 Postojeći algoritmi za procenu indikatora suše	48
3. Metodologija za procenu indikatora suše – MEPIS	50
3.1 Teorijske osnove	50
3.2 Teorija “ORMANA”	51
3.3 Logičke sekvence - algoritma MEPIS	54
4. Analiza hidrometeoroloških parametara	65
4.1 Priprema podataka	65
4.2 Analiza homogenosti	68
4.2.1 Rezultati analiza homogenosti vremenskih serija padavina	69
4.2.2 Rezultati analize homogenosti vremenskih serija temperatura vazduha	70
4.2.3 Rezultati analize homogenosti vremenskih serija PET	71
4.3 Model strukture baze ulaznih podataka	71
4.4 Analiza ET ₀	72

4.5	Određivanje prostorne korelacije	73
4.6	Rezultati ocene prostorne korelacije i linearne regresije parametara od značaja	77
4.7	Definisanje vremenskog niza istorijskih suša	81
4.8	Određivanje markera sušnih perioda na osnovu prostorno vremenske analize odstupanja mesečnih padavina od normale, HDN	82
4.9	Određivanje markera sušnih perioda na osnovu prostorno vremenske analize kumulativne razlike od srednje vrednosti, HDK	87
4.10	Rezultati analize prostorne korelacije istorijskih suša	89
4.11	Analiza cikličnosti pomoću sumarnih krivih modulnih odstupanja	90
5.	Analiza proračuna indeksa suše	93
5.1	Analiza SPI3	94
5.2	Analiza SPEI	103
5.2.1	MEPIS logička sekvenca 1: Proračun SPEI - testiranje osetljivosti SPEI na izmenu PET proračuna	103
5.2.2	MEPIS logička sekvenca 2 – Slaganje SPEI3 sa istorijskim sušama	106
5.2.3	MEPIS logička sekvenca 3 – Komparativna analiza SPEI3 i SPI3	112
5.2.4	MEPIS logička sekvenca 4 – slaganje SPEI3 sa odabranim meteorološkim parametrima od značaja	114
5.3	Analiza EDI	119
5.4	Rezultati simulacija EDI, SPI3, SPI6 i SPI12 pomoću generalnog atmosferskog cirkulacionog modela ECHAM5	124
6.	Analiza rezultata pristupa modelovanju suši po analogiji sa procesom sušenja vazduhom	131
6.1	MEPIS logička sekvenca 1 - Proračun indeksa efikasnosti sušenja vazduhom	131
6.2	MEPIS logička sekvenca 2 – Slaganje IDEA indeksa sa istorijskim sušama	135
6.3	MEPIS logička sekvenca 3 - Poređenje tradicionalnih pristupa i IDEA	138
6.4	MEPIS logička sekvenca 4 - slaganje IDEA indeksa sa odabranim meteorološkim parametrima od značaja	139
7.	Zaključna razmatranja i predlozi za dalja istraživanja	141
7.1	Predlozi za dalja istraživanja	143
8.	Literatura	147
9.	Prilog 1 – Makro ciklusi	156
10.	Prilog 2 – Mikro ciklusi	165

1. Uvod

1.1 Problem istraživanja i polazišta – hipoteze rada

Domen istraživanja je deo Zemaljskog sistema koji uslovljava procese koji definišu sušu. Suša je prirodni fenomen koji je integralni deo klime i njene varijabilnosti. Domen delovanja suše proteže se na pet oblasti (atmosfera, hidrosfera, litosfera, biosfera, ljudsko društvo) čije stanje definiše stanje našeg okruženja.

Stanje svake oblasti definisano je dinamikom određenih procesa. Stanje atmosfere na primer, definisano je postojanjem polja vazdušnog pritiska, temperaturom vazduha u slojevima atmosfere, količinom vodene pare u jedinici zapremine vazdušne mase, brzinom kretanja vazdušnih masa, gustinom vazduha, postojanjem oblaka. Atmosfera je ujedno određena i njenim fizičko-hemijskim svojstvima, kao što su sastav atmosfere, sposobnost propuštanja zračenja, prisustvo čvrstih čestica u atmosferi itd. Stanje litosfere definiše se mnogobrojnim činiocima poput tipa i vrsta tla, sastava tla po dubini, vodopropusnost tla, pokrivenost i izgrađenost tla, aktivnost terena, dubina vodnog horizonta itd. Stanje hidrosfere je definisano između ostalog dinamikom, odnosno brzinom kretanja vode u vodnim sistemima (okeani, mora, reke, jezera, bare, močvare itd.), toplotnim kapacitetom vodenih površina, salinitetom i drugim fizičko-hemijskim karakteristikama površinskih i podzemnih voda, zatim stepenom razmene vode površina-podzemlje, stepenom prodiranja okeana i mora u kopno na površini i u podzemlju, dinamici popunjavanja i pražnjenja vodnih resursa, odnosno brzinom kretanja vodene čestice kroz hidrološki ciklus i verovatnoći njenog vraćanja u vodni resurs iz kojeg je potekla. Zemaljski sistem predstavljen je sa pet oblasti koje međusobno interaguju.

Posmatramo hidrološki ciklus kroz sve oblasti Zemaljskog sistema. Vreme zadržavanja vode u svakoj od oblasti je različito i varira od par sekundi do par hiljada godina. Postavljamo hipotezu da svaki period duži od prosečnog perioda boravka vode u atmosferi indukuje sušu u posmatranom regionu. Svi ovi činioci zajedno utiču na remećenje bilansa i na proces kruženja vode i njenu prostorno-vremensku raspodelu. Dostizanje ravnoteže u bilansu u kraćem vremenskom periodu nije dovoljno za izlazak iz suše, odnosno bilans nije dovoljan za nadoknađivanje deficita. Iako hidrološke resurse delimo na površinske i podzemne, bez obzira na fizičko-vremensku razliku u dinamici kretanja ovih sistema u pitanju je jedan hidrološki sistem. Kad je u pitanju razmatranje uticaja suše na hidrološki ciklus, vodne resurse bi mogli podeliti u odnosu na njihovu otvorenost. U zatvorene sisteme možemo jedino svrstati vodne resurse duboko pod zemljom između dva vodno nepropusna sloja, koji ne isparavaju, nema lokalnih horizontalnih niti vertikalnih razmena i nisu u ljudskoj upotrebi. Otvoreni sistemi su oni koji aktivno učestvuju u hidrološkom ciklusu generišući u isti ulaz ili izlaz. Voda u otvorenim sistemima je podložna promenama agregatnog stanja ili pak prelasku iz jedne u drugu prirodnu sferu te samim tim je i pod uticajem suše. Polazna hipoteza u radu je da je moguće rano prepoznavanje uslova koji pogoduju razvoju suše. Posebne hipoteze primenjene u radu su:

- Tipovi suše nisu zasebni događaji. Suša je jedinstven događaj koji ima različite tipove i opseg uticaja na sve prirodne sfere. Kao takva suša je meteorološka pojava koja se može uniformno definisati, bez obzira na opseg njenog delovanja.
- Postoje prepoznatljiviji meteorološki uslovi koji indukuju sušu.
- Određeni deficit padavina u odnosu na normal nam je potreban i dovoljan uslov da očekujemo sušu.

-
- Hidrološki bilans možemo aproksimirati indikatorom suše, koji su odgovarajući alat za dijagnostikovanje suše.
 - Moguće je izvesti indikator suše primenjiv nezavisno od karakteristika oblasti, a na bazi fizike pojave suše.

1.2 Predmet i cilj istraživanja

Predmet istraživanja je način determinisanja suše, prvenstveno klimatološke po tradicionalnim shvatanjima, i određivanje njenog intenziteta. Cilj istraživanja je razvoj metodologije za procenu indikatora u cilju unapređenja prognoze klimatološke suše, odnosno rano prepoznavanje uslova koji pogoduju razvoju suše. Istraživanje je sa naglaskom na bilansnoj jednačini u cilju dobijanja realnijih pokazatelja stanja Sistema. Dobro definisan bilans Sistema omogućava njegov bolji monitoring. Istraživanje obuhvata determinisanje i karakterizaciju indeksa klimatoloških suša na teritoriji Vojvodine i definisanje karakteristika najpogodnijih indeksa za upotrebu u regionu; koji koriste u svojim proračunima raspoložive neke ili sve klimatološke parametre: padavine, temperaturu i evapotranspiraciju. U obzir se uzima i kompleksnost indikatora i mogućnost i tip greške u proračunu kao i mogućnost primene indikatora i njegovo inkorporiranje u postojeće sisteme monitoringa. Rangiranjem indikatora po njihovoj upotrebnoj vrednosti obezbeđuje se sistematizacija alata za praćenje suše. Jedinstvenom metodologijom procene obezbeđuje se standardizovana sistematizacija što je od značaja i za buduća istraživanja i usavršavanja metoda praćenja i prognoze suše. Istraživanje obuhvata definisanje skupa minimalnog broja klimatskih parametara potrebnih za proračun indeksa suše i referentne evapotranspiracije, modifikaciju pojedinih postojećih metoda proračuna referentne evapotranspiracije, uvođenje smene za vrednosti referentne evapotranspiracije u proračun indikatora suše, poređenje dobijenih rezultata i definisanje relevantnog indikatora ili seta indikatora suše za region. Težiće se omogućavanju adaptacije na nova klimatska kretanja i da se nađu načini da se ona na vreme prepoznaju. Cilj procene indikatora je da u odnosu na njihovu mogućnost primene na različite klimatološke uslove i preciznost u prognozi opšte dostupnim metodama obezbedimo budućem korisniku znanje neophodno za odabir odgovarajućeg indeksa za prognozu suše. Rano prepoznavanje suše omogućilo bi prilagođavanje procesa proizvodnje i vodosnabdevanja nastupajućoj nestašici vode. Rano prepoznavanje i prognoza suše omogućavaju da se primene mere štednje vode, kao i da se primene nove industrijske tehnologije koje bi omogućile reciklažu vode u proizvodnji i očuvanje nivoa vode u vodnim resursima primenama mera štednje. Naravno, najveću dobit ostvarili bi u proizvodnji hrane jer bi se proizvodnja mogla uskladiti sa prognoziranim vremenski uslovima, korišćenjem biljnih vrsta otpornih na sušu ili pak vrsta koje su izmenjene i adaptirane na uslove sa umanjenom količinom vode.

1.3 Studija slučaja opravdanosti istraživanja

Opravdanost istraživanja ekstremnih vremenskih uslova suše poduprta je rezultatima studije slučaja u kojoj je analizirana pojava suše u narednih 100 godina na teritoriji Vojvodine. U tu svrhu korišćeni su opšte poznati indeksi suše SPI3, SPI12, SPI24 i EDI. Urađene su tri simulacije za svaki indeks, ukupno 12 simulacija. Simulacije su rađene na osnovu generisanih vrednosti kiše iz GCM modela ECHAM5 za teritoriju Vojvodine, na osnovu tri odabrana IPCC scenarija.

1.4 Prikaz prethodnih istraživanja iz oblasti

U Vojvodini, Srbiji ne postoji sistemski pristup prognoze pojave suše. Od 2010. godine RHMZ je uvrstio u operativne procedure u okviru monitoringa uslova vlažnosti koji sprovodi Odeljenje za agrometeorologiju RHMZ Srbije određivanje vrednosti SPI na osnovu količina padavina zabeleženih u prethodnih 30, 60 i 90 dana. Osim ovih proračuna koji se obavljaju sa korakom u vremenu od jedan dan, izračunavaju se i vrednosti SPI za prethodnih 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 12 i 24 meseca i to po isteku svakog kalendarskog meseca. Deo dobijenih rezultata nalazi se i redovno se ažurira na stranici internet prezentacije Zavoda "Uslovi vlažnosti". Oni se nalaze u obliku kartografskih prikaza i u obliku tabelarnog pregleda po meteorološkim stanicama. Umesto brojnih vrednosti SPI, kao pogodnije za korišćenje, daju se kvalitativne ocene uslova vlažnosti prema kriterijumima utvrđenim za operativne potrebe. Kriterijumi su definisani samo na osnovu raspodele verovatnoća SPI, tj. količine padavina. Oni nisu utvrđeni uzročno-posledičnom analizom, tj. kalibracijom indeksa prema posledicama koje su zabeležene. Međutim, neretko postoji značajna korelacija između veličine i trajanja anomalije u režimu padavina i štetnih posledica u poljoprivredi, vodoprivredi itd., i ovakvi kriterijumi mogu pomoći pri procenjivanju posledica nepovoljnih uslova vlažnosti. Ovakav monitoring je prvi korak ka sistemu rane najave, da bi indeks bio kalibrisan neophodno je izvršiti koleraciju sa posledicama i merenim parametrima. Problem kod SPI-ja je još u tome što svoje proračune uvrštava samo kumulativne padavine, te može da ne uoči sušni period u slučaju normalne količine padavina ali respršene vremenske raspodele ili pak usled visoke temperature i povećanog isparavanja ili velikog intenziteta padavina u kratkom vremenskom intervalu. Pak, 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.

Svaki pristup prognozi ekstremnih događaja, samim tim i suše, mora da uzima u obzir da se prognoza vrši u vremenu bliskom realnom, da se proteže na period od značaja (nedelju dana, mesec dana, šest meseci), da ju je moguće primeniti u postojećem sistemu monitoringa jer svaka modifikacija postojećih sistema zahteva izrazito velika finansijska ulaganja. Rezultati prognoze moraju biti razumljivi i pristupačni korisnicima. 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. Da bi se postigla sistematična i harmonijski ujednačena prognoza i rana najava neophodno je da sistem monitoringa neophodnih parametara obezbedi potrebne podatke, te da metodologija prognoze bude prilagođena dostupnim izvorima podataka, bilo merenim bilo numeričkim. Izbor odgovarajuće metodologije za prognozu suše zavisi od indikatora koji se prate, kao i od merenih parametara i primenjivih modela i od metodologije procene indikatora suše koja će obezbediti neophodnu kalibrisanost i ocenu indikatora suše, korištenih u prognozi. Zbog multi-disciplinarnog karaktera suše ne postoji jedinstvena definicija iste, što je predmet rasprave i istraživanja mnogih naučnika (Wilhite, et al., 1985.; Maracchi, 2000; Tate et al., 2000). Indeksi suše se u suštini suočavaju sa istim problemom. Pošto ne postoji jedinstvena i jedinstveno prihvaćena definicija suše, ne postoji jedinstven i univerzalan indeks suše. U praksi procena stanja koja indiciraju sušu ili drugim rečima prognoza suše sprovodila se uz pomoć indikatora suše. Postoji veliki broj indeksa (indikatora) suše. Pored naučnog stanovišta, dostupnost odgovarajućih podataka za proračun indeksa suše snažno određuje razvoj indikatora suše. Prva generacija indikatora oslanjala se na meteorološke podatke osmatrane na

sineoptičkim meteorološkim stanicama. Shodno tome, ti i takvi indeksi su klasifikovani kao indeksi meteorološke suše. Primeri ove vrste indeksa su: The Rainfall Anomaly Index (RAI) (van Rooy, 1965), Deciles (Gibbs and Maher, 1967), Bhalme and Mooley Drought Index (BMDI) (Bhalme and Mooley, 1980), Standardized Anomaly Index of Katz and Glantz (1986), Pálfai Aridity Index (PAI) razvijen i primenjivan u najvećoj meri u Mađarskoj (Pálfai, 1991), Drought Severity Index (DSI) često upotrebljavan u Velikoj Britaniji (Bryant et al., 1992), najpopularniji Standardized Precipitation Index (SPI) (Mc Kee et al., 1993), zatim Effective Drought Index (EDI) koji uzima u obzir efektivne padavine (Byun and Wilhite, 1999), Percent of Normal (PN) (Hayes, 2003). Reconnaissance Drought Index (RDI) predložen od strane Tsakiris et al. (2007), je jedan od najnovijih u oblasti indikatora meteorološke suše. U osnovi on povezuje padavine i potencijalnu evapotranspiraciju na lokaciji, i može se smatrati nadopunom SPI. Standardizacijom i normalizacijom on poprima iste klase kao i SPI (Cancelliere et al., 2007). Ovi indikatori su u širokoj upotrebi iz razloga što zahtevaju malo ulaznih podataka, fleksibilni su i odlikuju se jednostavnošću proračuna (Smakhtin et al., 2004). Drugi pristup problemu definisanja odgovarajućeg indeksa, zasniva se na mišljenju i verovanju da indeksi zasnovani samo na jednoj specifičnoj varijabli kao što je visina kiše, ni u kom slučaju ne mogu obuhvatiti kompleksnost drugih kategorija suše osim meteorološke (Keyantash and Dracup, 2004; Smakhtin and Hughes, 2004). Smakhtin and Hughes (2004) takođe zastupaju mišljenje da indeksi suše treba u sebi da sadrže i druge komponente važne u hidrološkom ciklusu. Usled uslovljenosti suše sa mnogobrojnim drugim faktorima, kao što su vodosnabdevanje, hidrološke i političke granice, prethodni uslovi (Steinemann, 2003), Byun and Wilhite (1999) su takođe podržali ovakav pristup izjašnjavajući se da odgovarajući indeks suše treba da inkorporira u sebe mešavinu hidrometeoroloških varijabli. Sa nastankom klasičnog i još uvek veoma aktuelnog Palmer Drought Severity Index (PDSI) (Palmer, 1965) karakterizacija suše se počela vršiti preko mnogo sveobuhvatnije slike vodnog ciklusa i njegovih elemenata. Pored meteoroloških parametara u proračun su uvedeni i podaci o vlažnosti zemljišta, konkretno kod PDSI se u proračunu koristi količina dostupne vode u zemljištu (Palmer, 1965). Palmer je takođe modifikovao svoj indeks stvorivši derivatu PDSI kao što su Palmer Modified Drought Index (PMDI) razvijen za potrebe Američke nacionalne meteorološke službe za primenu u stvarnom vremenu, zatim Palmer Hydrological Drought Index koji uzima u obzir hidrološki uticaj na akumulacije, rezervoare i visinu podzemnih voda (detaljnija komparacija ovih indeksa se može naći u Heim (2002)). Do danas se mogu naći brojni radovi koji kritikuju, ocenjuju ili pak modifikuju originalni PDSI i njegove derivate (Alley, 1984, Wells et al., 2004, Burke et al., 2006, Mavromatis, 2007). Još jedan sveobuhvatniji multivariabilni indikator je Aggregate Drought Index, ADI predložen od strane Keyantash i Dracup (2004). Ovaj indeks uzima u obzir meteorološke podatke (padavine), hidrološke podatke (proticaj, akumulacije) i podatke vezane za zemljište (evapotranspiraciju, vlažnost zemljišta, sadržaj vode u snegu). U najvećem broju slučajeva se insistira na upotrebi i preferiraju se mereni podaci nad proračunatim, što na žalost nije uvek moguće, naročito u slučaju vlažnosti zemljišta. Uvođenjem velikog broja novih varijabli u kreiranje indeksa, nastao je ceo niz indikatora koji su imali specifičnu svrhu procene i predviđanja suše koja će uticati na poljoprivredu, tzv. indikatori poljoprivredne suše. Usavršavanjem proračuna evapotranspiracije i vlažnosti zemljišta PDSI je bio prvi u nizu desetina, koji su imali eksplicitnu svrhu. Kao primer mogu se još izdvojiti Palmerov (1968) Crop Moisture Index, (CMI) koji procenjuje deficit evapotranspiracije, a ne padavina, zatim skoriji Soil Moisture Drought Index (SMDI) (Hollinger et al., 1993) ili Crop Specific Drought Index

(CSDI) (Meyer et al., 1993), sa specijalizacijom za pojedine useve kao što su kukuruz (Meyer et al., 1993) i soja (Meyer and Hubbard, 1995), tu su i Soil Moisture Deficit Index (SMDI), i Evapotranspiration Deficit Index (ETDI). Marletto et al. (2005) izneo je u javnost još jedan novi indeks nazvan DT napravljen za regionalnu primenu. On se bazira na dnevnom deficitu transpiracije koji se proračunava kroz model vodnog bilansa i ukazuje na deficit transpiracije kod biljaka za neki period, npr. DT180 se odnosi na deficit koji se desio unutar perioda od 180 dana. Pored toga što proračunava deficit padavina, ovaj indikator uzima u obzir upotrebu zemljišta, tipove zemljišta i klimatske uslove koji diktiraju transpiraciju kod biljaka. Jedan od najnovijih indeksa suše, koji uvodi u proračun evapotranspiraciju je Water Surplus Variability Index (WSVI) (Gocić and Trajković, 2014).

Još jedna klasa indikatora su indikatori koji uzimaju u obzir rečni sliv. Klasičan pristup je preferirao analizu podataka vodostaja i proticaja merenih na hidrološkim stanicama metodama kao što su recesiona analiza. Iz ovih analiza razvili su se indikatori malih proticaja tipa Q90 ili Base Flow Index (Institute of Hydrology, 1980; Tallaksen and van Lanen, 2004). Prateći trend u pristupu sušama Stahl (Stahl, 2001) je razvio Regional Stream flow Deficiency Index (RDI) sa namerom da detektuje regionalnu kišu koristeći vremenske nizove izmerenih proticaja.

U cilju što sveobuhvatnijeg pristupa i sagledavanjem svih činilaca koji uzrokuju sušu razvijali su se indikatori hidrološke suše. Za cilj im je bilo uzeti u obzir celokupan hidrološki ciklus, uticaj snega na formiranje oticaja i moguća primena u što široj populaciji i među donosiocima odluka. Iako je već pomenuti Palmer Hydrological Drough Index (PHDI) bio pravi korak ka opštem indeksu nije u sebi obuhvatao nakupljanje i otapanje snega, dok Surface Water Supply Index (SWSI) kreiran od strane Shafer and Dezman (1982) je bio osposobljen za to. SWSI je najverovatnije najbolji i najpopularniji indeks hidrološke suše ili hidrološki indeks. Weghorst (1996) je uvrstio Reclamation Drought Index (RDI) u operativu. RDI uzima u obzir temperaturu vazduha sa osmatranog područja, padavine, akumulacije, proticaj i sneg sa uzvodnog profila, kao i dužinu trajanja sušnog perioda.

Razvojem satelita 80-tih godina prošlog veka otvorene su nove mogućnosti u domenu praćenja i prognoze suše. Nove tehnologije omogućile su obradu stvarnih prostornih podataka na globalnom ili regionalnom nivou. Sa dostupnošću podataka rastao je i broj novorazvijenih indikatora. Dobar pregled prve generacije indikatora baziranih na satelitskim osmatranjima dao je Gutman (1990), dok Kogan (1997) skoro deset godina kasnije upotpunjuje ovaj pregled. Skorašnja dopuna izvršena je od strane Bayarjargal et al. (2006). Najkorištenija varijabla u novonastalim indeksima su parametri vezani za stanje vegetacije. Najistaknutiji vegetacioni indeks je za sigurno Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) (Tucker, 1979) kojeg su prvi primenili Tucker i Choudhury (1987). Ubrzo su se razvili derivati istog kao što su Vegetation Condition Index (VCI) (Kogan, 1990, 1995), NDVIA (Anyamba et al., 2001), ili Standardized Vegetation Index SVI (Peters et al., 2002). Pored podataka dobijenih iz optičkog domena satelita indikatori su počeli uzimati u obzir i njihove termalne kanale. Otuda su uvelikoj meri eksploatisani termalni kanali sa Landsat Thematic Mapper (TM) i Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) senzora. Primena termalnih kanala u monitoringu suše dovela je do razvoja Temperature Condition Index (TCI) od strane Kogan (1995). Uskoro je usledio i razvoj mnogih drugih kao što su: Vegetation Temperature Index (VTI) ili Vegetation Health Index (VHI) od strane Kogan (1997, 2000). Vegetation Temperature Condition Index (VTCI) (Wan et al., 2004), Temperature Vegetation Dryness Index (TVDI) (Sandholt et al., 2002). Treba napomenuti da u ovom poglavlju

disertacije nisu dati matematički detalji indeksa, iz razloga što nisu svi korišteni u istraživanju. Matematički detalji biće prikazani samo za indekse suše koji su korišćeni u ovom istraživanju u njegovim različitim fazama. Čitalac se upućuje na originalne reference za detalje ostalih indeksa suše. Svi pomenuti indikatori morali su zadovoljiti niz kriterijuma da bi stekli status indikatora (Fuchs B., 2012). Prvi i osnovni kriterijum je zadovoljenje definicije koju je postavila Svetska meteorološka organizacija (WMO – World Meteorological Organization) koja definiše indeks suše kao indeks koji je povezan sa nekim od kumulativnih efekata dugotrajnog i neuobičajenog nedostatka vlage. Ostali kriterijumi za definisanje indeksa suše su:

- a) vremenska skala indeksa treba da je u skladu sa prirodom problema
- b) indeks treba da bude kvantitativna mera suše i da obuhvati njena ponašanja na velikim prostornim i vremenskim skalama i da u sebi sadrži ocenu karakteristika suše (intenzitet, trajanje, prostorna raspodela)
- c) istorijski podaci vrednosti indeksa treba da su dostupni ili pak treba da je moguće izračunati indeks na osnovu istorijskih podataka parametara
- d) indeks bi trebalo da je moguće računati u skoro realnom vremenu i koristiti operativno.

1.5 Primenjene – metode naučno istraživačkog rada

Metodologija ima zadatak da pruži kriterijume i principe istraživanja i saznanja u predmetnom području određene nauke. Početni uslov istinitosti tog saznanja je da se do njega dolazi u misaonom postupku koji je utemeljen na principima, pravilima i zakonima logičkog mišljenja. U tehničkim naukama, moglo bi se prihvatiti, da je zadatak metodologije da iznalazi puteve saznanja u datoj predmetnoj oblasti, da razvija metode, tehnike, postupke i instrumente kako bi se došlo do istinitih saznanja (rešenja). Čitav istraživački proces, kao predmet metodologije, utemeljen je na saznanjima logike, a naročito na valjanom opažanju, poimanju, promišljanju i u dokazivanju istinitosti (Sakan, 2006). Istraživački proces odvija se u etapama, na kraju prihvaćene etape istraživačkog procesa, zajedno sa usklađenim metodama čine metodologiju, koja se direktno odnosi na sticanje određenog saznanja. Istraživački proces u ovom doktoratu obuhvatio je šest nezavisnih, na kraju sinteziranih, etapa. Istorijsko istraživanje u cilju sistematizacije i objektivnog lociranja, evaluacije i sinteze neophodnih podataka i informacija u cilju formiranja činjenica i zaključaka o prošlim događajima. Gde se događaj desio; kada; koji spoljni i unutrašnji faktori su uticali na generisanje događaja? Komparativna analiza u cilju sticanja šireg ugla gledanja. Sagledavanje dešavanja van regiona istraživanja. Analiziran je uticaj pojedinih klimatskih parametara na određivanje evapotranspiracije (solarna radijacija, vlažnost vazduha, brzina vetra, temperatura vazduha). Analizirane su i upoređene metode proračuna referentne evapotranspiracije. Izvršen je proračun, analiza i poređenje indikatora suše Standardized Precipitation Index (SPI) i Effective Drought Index (EDI), a u cilju uzimanja u obzir efekta isparavanja, koji je analiziran kroz metode proračuna efektivne evapotranspiracije i potencijalne evapotranspiracije, kao i uticaja polja pritiska razvijen je nov indikator suše po analogiji sa procesom sušenja vazduhom, Index of Drying Efficiency of Air (IDEA). Deskriptivno istraživanje koje obuhvata razmatranje situacija i stanja i obradu podataka u cilju definisanja normala, tj. onoga što se može predvideti kao siguran događaj u slučaju ponavljanja istih okolnosti. Ovaj deo istraživanja je od izuzetnog značaja za uočavanje parterna i usled mogućnosti učenja i predikcije događaja sa istim karakteristikama. Korelaciono kvantitativno istraživanje radi obezbeđenja statističke mere asocijacija i veza između osmatranih parametara i izučavanog

fenomena (npr. da li su indikatori u korelaciji sa merenim meteorološkim parametrima). U tom interesu sprovedene su dve analize; prva je relaciona, koja je izučavala moguće veze između istraživanih objekata u cilju određivanja postoji li veza i ako da do koje mere su određeni parametri u sprezi; druga analiza je sprovedena u pokušaju određivanja mogućnosti predikcije ponašanja indikatora, odnosno fenomena suše. Peta etapa bila je eksperimentalna. Za potrebe istraživanja izvršeni su eksperimenti koji su simulirali korespondentno okruženje realnom, i u tu svrhu koristili smo se metodom modelovanja kao prihvatljivom opštenaučnom metodom. Na kraju je izvršena tzv. „odzivna“ evaluacija koja podrazumeva da na osnovu nalaza i rezultata istraživanja se iznesu zaključci i predlozi u skladu sa potrebama ciljne grupe koja će se koristiti metodologijom.

1.6 Struktura rada

Poglavlje 1 daje pregled problema i cilj istraživanja; studiju slučaja koja opravdava istraživanje, zatim pregled prethodnih istraživanja iz oblasti i rezime istraživanja i primenjene metode naučno - istraživačkog rada. U poglavlju 2 dati su teorijski pregled varijabli od značaja za definisanje stanja suše (padavine, temperatura, vetar, evapotranspiracija, polja pritiska) i opis suše, utemeljene su strukture za eksperimentalni deo i teorijske osnove i matematički opis indikatora suše baziranog na fizičkim karakteristikama suše kao pojave (IDEA). U poglavlju 3 disertacije dat je pregled i teorijski opis korišćenih metoda analize vremenskih serija koje čine metodologiju za procenu indikatora suše - MEPIS i način i redosled njihove primene. Predstavljen je algoritam MEPIS-a. Kriterijumi procene indikatora suše definisani su u poglavlju 4 i odnose se na: dostupnost podataka za proračun neophodnih varijabli koje su neophodne za proračun indikatora suše, zatim usaglašenost vrednosti indikatora suše sa istorijski zabeleženim i procenjenim sušnim periodima, usaglašenost indikatora suše sa drugim indikatorima suše, stepen korelacije sa varijablama koje su od značaja za kreiranje i održanja stanja koje pogoduje suši, a koje ne ulaze u proračun samog indikatora suše. U 4, 5 i 6 poglavlju metodom studije slučaja primenjena je metodologija za procenu indikatora suše. Studija slučaja odnosi se na teritoriju Vojvodine. Podaci za varijable neophodne za proračun indikatora suše SPI3, SPEI3 u tri varijacije, EDI i IDEA, prikupljeni su sa sedam meteoroloških stanica na teritoriji Vojvodine koje su u sklopu mreže osmatranja Republičkog Hidrometeorološkog Zavoda. U poglavlje četiri izvršena je analiza homogenosti vremenskih serija varijabli od značaja za definisanje stanje suše (padavine, temperatura, evapotranspiracija). Sintezom rezultata analize vremenskih serija i njihove homogenosti definisan je model strukture baze ulaznih podataka. Dalji deo pripreme podataka podrazumevao je definisanje arhive istorijskih suša. U tu svrhu definisani su težinski faktori koji su objedinili različite metode određivanja sušnih perioda na teritoriji Vojvodine i dat je predlog strukture baze istorijskih sušnih događaja. Dobijeni rezultati primene postavljene metodologije nad SPI i EDI indeksima suše, analizirani su i predstavljeni u poglavlju 5. U poglavlju 6 urađen je set proračuna i eksperimenata koji su podrazumevali proračun indeksa suše IDEA. Dat je pregled i detaljan opis proračuna novoizvedenog indeksa. Zaključci i predlozi za dalja istraživanja dati su u poslednjem poslednjem, sedmom, poglavlju disertacije.

2. Domen istraživanja

Glavna odlika suše je nedostatak vode u okruženju, praćen povećanim isparavanjem vode i većom količinom raspoložive toplote. Definiše je stanje klimatskog sistema, odnosno stanje vremena u osmatranom prostoru. Stanje atmosfere koje omogućava održanje ovog procesa određeno je sledećim hidrometeorološkim parametrima: sunčevo zračenje, temperatura vazduha, vetar, padavine, pritisak vodene pare, relativna vlažnost vazduha, evapotranspiracija i atmosferski pritisak.

2.1 Oblast istraživanja

Istraživanje se odnosila na oblast teritorije Vojvodine. Teritorija Vojvodine predstavlja otprilike trećinu teritorije Republike Srbije i iznosi 21506 km². Oblast istraživanja obuhvata sve geomorfološke osobine Vojvodine. Opažanja klime Vojvodine upućuju da je klima Vojvodine umereno kontinentalna sa izvesnim specifičnostima. Režim padavina u Vojvodini nosi delom obeležje srednjeevropskog, odnosno podunavskog režima raspodele padavina, sa vrlo velikom neravnomernošću raspodel po mesecima (Lazić et al., 2003). Istraživanje sprovedeno od strane Pavlović (2009) ukazalo je na skok prosečne godišnje temperature od preko 0,5°C do 1°C za pedeset godina na teritoriji Vojvodine na oko 11°C. najhladniji mesec je januar , sa prosečnih -0,62°C, a najtopliji juli sa prosečnih 21,37°C. Režim padavina u Vojvodini karakterističan je za tri oblasti, koje odgovaraju i geografskoj podeli Vojvodine na Bačku (Palić, Sombor, Novi Sad), Banat (Zrenjenin, Kikinda i Vršac) i Srem (Sremska Mitrovica). Karakteristične srednje visine godišnjih padavina u Vojvodini kreću se za Bačku oko 582 mm pale kiše, za Banat 596 mm i za Srem 626 mm.

2.2 Meteorološki parametri

2.2.1 Sunčevo zračenje

Energija koja tokom dana sa Sunca dolazi na gornju granicu atmosfere zavisi od tri faktora: udaljenosti Zemlje od Sunca, ugla pod kojim Sunčevi zraci padaju na površinu Zemlje i dužine trajanja svetloga dela dana. Solarna klima je ona klima koja bi bila zastupljena na površini Zemlje ukoliko bi zemljina površina bila homogena, glatka i bez atmosfere. Pod uticajem klimatskih faktora, sastava i procesa koji se odvijaju u atmosferi, nejednake raspodele kopna i mora, reljefa, visine i smera pružanja planinskih lanaca, sastava i strukture tla, vegetacije, iz solarne klime se oblikuje stvarna (realna) klima na Zemljinoj površini.

Solarna konstanta (S_0) je veličina koja karakteriše ukupnu količinu Sunčeve energije koja stiže do gornje granice atmosfere. Vrednost solarne konstante je promenljiva u zavisnosti od rastojanja Zemlje od Sunca u toku godine. Saglasno tome, na severnoj polulopti solarna konstanta zimi ima veću a leti manju vrednost pri čemu te razlike dostižu vrednost od 3,4%. Solarna konstanta definiše se kao fluks Sunčeve energije koji prolazi kroz jediničnu površinu koja leži normalno na pravac prostiranja Sunčevih zraka pri srednjem rastojanju Zemlje od Sunca od 149,5 miliona kilometara. Vrednost solarne konstante je 1376 W/m², dok vrednost za celokupnu površinu Zemljine sfere iznosi 342 W/m².

Direktno sunčevo zračenje (S) predstavlja količinu energije izračene od strane Sunca, koja dospe na površinu Zemlje u nepromenjenom obliku. **Intenzitet direktnog sunčevog zračenja** predstavlja količinu energije izraženu u džulima (J), koja u jedinici vremena (1s) dospe na jediničnu površinu (1m²) normalno na pravac prostiranja

sunčevih zrakova. Jedinica intenziteta je $J\ m^{-2}\ s^{-1}$ ili $W\ m^{-2}$. Vertikalna komponenta direktnog sunčevog zračenja S' izračunava se relacijom:

$$S' = S \sin \theta \quad (2.1)$$

gde je sa θ označena visina Sunca.

Difuzno zračenje (D) predstavlja deo sunčevog zračenja koji dospeva na horizontalnu površinu posle rasejavanja sunčevog zračenja u atmosferi i njegovog odbijanja od oblačnih čestica, prašine, snežnih kristala i drugih primesa. Difuzno zračenje obuhvata i zračenje dobijeno raznim predmetima koji se nalaze iznad registrujućeg instrumenta.

Globalno zračenje (G) je ukupan iznos direktnog sunčevog i difuznog zračenja koje dospe na horizontalnu površinu:

$$G = S' + D \quad (2.2)$$

Intenzitet globalnog zračenja izražava se u istim jedinicama, kao i intenzitet direktnog sunčevog zračenja. **Aktivan sloj** je sloj u kome se praktično, sa izuzetkom reflektovanog zračenja, apsorbuje celokupan iznos zračenja. Za dugotalasno zračenje aktivan sloj su površinski sloj zemljišta, snega i vode debljine reda veličine 1mm. Za kratkotalasno zračenje to su: sloj peska do nekoliko mm, sneg do nekoliko cm, voda do nekoliko m ili desetina m. Vegetacioni pokrivač predstavlja aktivacioni sloj i za kratkotalasno i za dugotalasno zračenje. **Reflektovano zračenje (R)** je deo globalnog zračenja koji se odbija od aktivnog sloja i vraća u atmosferu. **Kratkotalasno zračenje** je zračenje sa talasnom dužinom manjom od $3,0\mu m$ Kratkotalasno zračenje u sebe uključuje tri oblasti:

1. ultraljubičasto $0,2 - 0,4\ \mu m$
2. vidljivo zračenje ili svetlost $0,4 - 0,76\mu m$
3. infracrveno zračenje $0,76 - 3,0\mu m$

Fotosintetski aktivno zračenje je deo kratkotalasnog sunčevog zračenjam u opsegu $0,38 \rightarrow 0,71\mu m$ koje biljke koriste u procesu fotosinteze.

Apsolutno crno telo je telo koje u potpunosti apsorbuje zračenje koje dolazi do njega. Intenzitet izračivanja apsolutno crnog tela $B(T)$ opisuje se Stefan-Boltzmanovim zakonom:

$$B(T) = \sigma T^4 \quad (2.3)$$

gde je $\sigma = 5,676 \cdot 10^{-8}\ W\ m^{-2}K^{-4}$ Stefan-Boltzmanova konstanta, a T temperatura vazduha izražena u K.

Albedo (α) je deo globalnog zračenja koje se od te površine reflektuje, odnosno predstavljen je količnikom kratkotalasnog i globalnog zračenja

$$\alpha = \frac{R}{G} \quad (2.4)$$

Albedo nije konstantan za datu površinu čak i ako je površina uniformna, već se menja u zavisnosti od zenitnog ugla i vlažnosti zemljišta. Svež sneg može da reflektuje do 95% sunčevog zračenja koje do njega dopire, dok tamno zemljište reflektuje svega 5%.

Zemljino izračivanje (B_z) je dugotalasno zračenje koje u pravcu atmosfere emituje aktivan sloj. **Protivzračenje atmosfere (B_a)** je dugotalasno zračenje atmosfere koje je upravljeno u pravcu Zemlje. **Efektivno izračivanje (E_f)** je razlika između Zemljinog izračivanja i protivzračenja atmosfere:

$$E_f = B_z - B_a \quad (2.5)$$

Bilans zračenja (B) je algebarski zbir kratkotalasnog i dugotalasnog zračenja

$$B = S + D - R + B_a - B_z - r \quad (2.6)$$

gde je r označeno protivzračenje atmosfere koje se odbija od površine Zemlje. Na osnovu položaja Zemlje u orbiti i tzv. solarne konstante može se izračunati Sunčevo zračenje na površinu Zemlje (S_c) u funkciji intenziteta sunčevog zračenja na granici atmosfere S_a , kao:

$$S_c = S_a \left(a + b \frac{n}{N} \right) \quad (2.7)$$

gde vrednosti koeficijenata a i b variraju sa geografskom širinom i sezonom, n je stvarno trajanje sunčevog sjaja, N je srednje dnevno trajanje maksimalno mogućeg sunčevog sjaja (tabela 2.1), a vrednosti intenziteta sunčevog zračenja na granici atmosfere (S_a) u funkciji geografske širine mesta i meseca u godini date su u tabeli 2.2. Ako se uzme u obzir albedo α , količina zračenja koja dospeva do površine Zemlje biće u tom slučaju:

$$S'_c = S_c(1 - \alpha) \quad (2.8)$$

Iz jednačine (2.7) može se zaključiti da za dan sa potpunom oblačnošću sledi $n/N=0$, odnosno da samo oko 20% solarne radijacije dospe na Zemljinu površinu, dok po potpuno vedrom danu dospeva čak do 70% te radijacije. Da bi proračun bio još precizniji, treba uzeti u obzir i Zemljino izračivanje dugotalasnog zračenja. Priroda Zemljinog izračivanja može se aproksimirati zračenjem crnog tela, no ona zavisi i od srednje temperature vazduha, oblačnosti i u manjoj meri, vodene pare u vazduhu, pa bi modifikovano Zemljino izračivanje mogli izraziti u obliku jednačine:

$$B_z = \sigma T^4 (0,56 - 0,078\sqrt{e_d}) \left(0,1 + 0,9 \frac{n}{N} \right) \quad (2.9)$$

gde je e_d funkcija vlažnosti vazduha i predstavlja stvarni pritisak vodene pare u mb.

Tabela 2.1 Srednje dnevno trajanje maksimalnog mogućeg sunčevog zračenja u časovima (N) (Linsley et al., 1940).

Geografska širina	Mesec											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
50°	8,5	10,0	11,8	13,7	15,3	16,3	15,9	14,4	12,6	10,7	9,0	8,1
48°	8,8	10,2	11,8	13,6	15,2	16,0	15,6	14,3	12,6	10,9	9,3	8,3
46°	9,1	10,4	11,9	13,5	14,9	15,7	15,4	14,2	12,6	10,9	9,5	8,7
44°	9,3	10,5	11,9	13,4	14,7	15,4	15,2	14,0	12,6	11,0	9,7	8,9
42°	9,4	10,6	11,9	13,4	14,6	15,2	14,9	13,9	12,6	11,1	9,8	9,1
40°	9,6	10,7	11,9	13,3	14,4	15,0	14,7	13,7	12,5	11,2	10,0	9,3
35°	10,1	11,0	11,9	13,1	14,0	14,5	14,3	13,5	12,4	11,3	10,3	9,8

Tabela 2.2 Sunčevo zračenje na gornjoj granici atmosfere S_a (Linsley et al., 1940).

Geografska širina	Mesec											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
50°	3,7	6,0	9,2	12,7	15,5	16,6	16,1	13,7	10,4	7,1	4,4	3,1
48°	4,7	7,0	10,3	13,4	15,8	16,7	16,1	14,0	11,0	7,8	5,1	4,0
46°	5,0	7,2	10,5	13,4	15,8	16,7	16,1	14,1	11,2	8,0	5,4	4,3
44°	5,2	7,5	10,7	13,7	15,8	16,7	16,1	14,1	11,3	8,2	5,6	4,5
42°	5,4	7,7	10,8	13,7	15,9	16,7	16,1	14,2	11,5	8,4	5,9	4,8
40°	6,2	8,4	11,1	13,8	15,9	16,7	16,3	14,7	12,1	9,3	6,8	5,6
35°	8,1	10,5	12,8	14,7	16,1	16,5	16,2	15,2	13,5	11,2	9,1	7,9

2.2.2 Temperatura vazduha

Temperatura predstavlja jednu od osnovnih veličina kojom se karakteriše toplotno stanje nekog sistema. Pri promeni temperature tela menjaju se i njegova mehanička, električna, optička i druga fizička svojstva. Temperaturni režim kao mera toplotnih uslova je prvenstveno uslovljen Sunčevom radijacijom, geografskim položajem i reljefom. Temperatura (T) je funkcija koja se menja u prostoru (koordinate x, y, i z) i vremenu t. Na temperaturu vazduha utiče i odnos vodenih masa i kopna. S obzirom da se kopno brže zagreva od vodene površine, i mnogo brže hladi, ovaj odnos bitno utiče na promenu temperature sa geografskom širinom i dužinom. Kad je reč o uticaju orografije na temperaturu vazduha, obično temperatura na kopnu opada sa porastom nadmorske visine. Na temperaturu vazduha utiče i vegetacija, s obzirom da drveće vrlo efektivno apsorbuje dolazeću radijaciju tako da njen mali deo dolazi do tla. Tokom dana temperatura vazduha blizu površine tla niža je nego na visini drveća. Noću, drveće sprečava gubitak toplote sa tla koje se nalazi ispod.

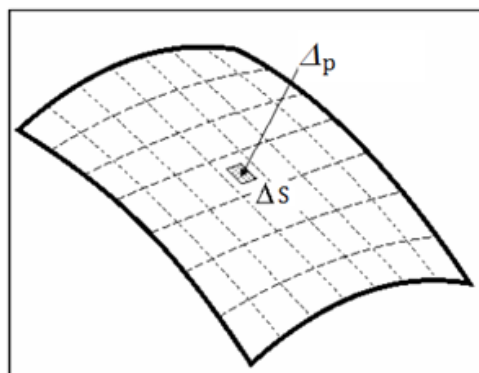
Srednje mesečne temperature, kao i mesečni ekstremi, koriste se za opisivanje temperaturnog režima neke lokacije. Srednje mesečne temperature vazduha određuju se kao aritmetičke sredine srednjednevnih vrednosti u datom mesecu. Višegodišnji mesečni preseki se dobijaju kao aritmetička sredina srednjemesečnih temperatura u posmatranom mesecu u periodu osmatranja. Srednja godišnja temperatura je aritmetička sredina 365 (366) srednjednevnih temperatura, primer tabela 2.3.

Tabela 2.3 Srednje mesečne i srednje godišnje temperature vazduha (°C) za Vojvodinu za period 1951–2005 (Pavlović, 2009).

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Sr. god.
Novi Sad	-0,6	1,3	5,9	11,3	16,6	19,9	21,4	21,0	16,8	11,5	5,9	1,4	11,1
Palić	-1,1	0,9	5,5	11,1	16,4	19,9	21,4	20,9	16,5	11,1	5,3	0,8	10,7
Sombor	-0,8	1,1	5,7	11,1	16,5	19,8	21,2	20,6	16,3	11	5,4	1,1	10,8
Sremska Mitrovica	-0,5	1,5	6,0	11,5	16,4	19,7	21,0	20,6	16,5	11,3	5,8	1,4	10,9
Zrenjanin	-0,8	1,5	6,1	11,5	16,9	19,9	21,4	21,1	16,9	11,7	5,9	1,1	11,1
Kikinda	-0,9	1	5,8	11,4	16,7	20	21,6	21,1	16,8	11,4	5,7	1,1	11
Vršac	0,2	1,9	6,4	11,8	16,8	19,9	21,5	21,4	17,4	12,3	6,9	2,3	11,6
Vojvodina	-0,7	1,3	5,9	11,4	16,6	19,9	21,4	21	16,8	11,5	5,8	1,3	11,0

2.2.3 Vazdušni pritisak, vazдушna strujanja i polja pritiska

Atmosferski pritisak (p) jednak je težini vazdušnog stuba visine od tačke u kojoj se određuje pa do gornje granice atmosfere, slika 2.1.

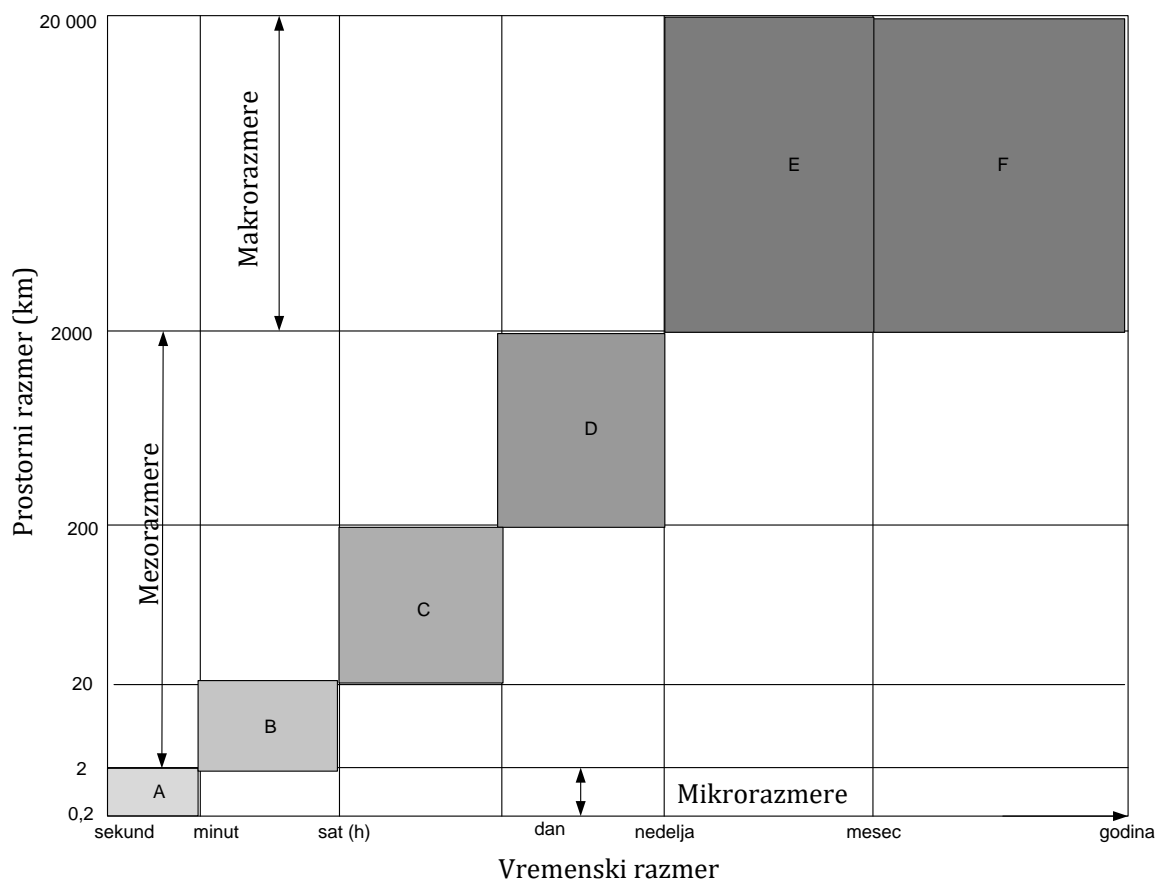


Slika 2.1 Prikaz delovanja sile pritiska na površinu.

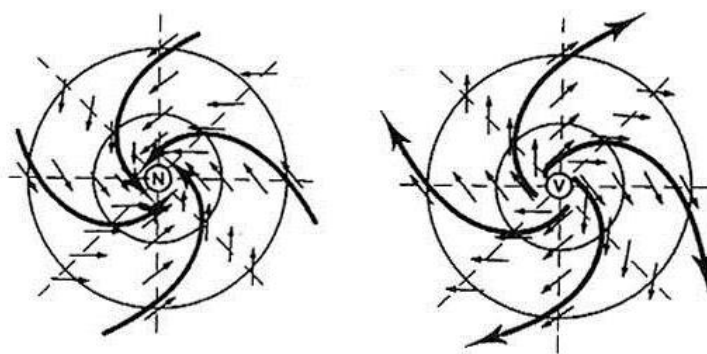
Jedinica za pritisak u SI sistemu je N/m^2 , odnosno Pa, a u meteorologiji se koristilo više različitih jedinica kroz istoriju, ali najzastupljenija je 1 milibar (mb), a ona je jednaka sa 1 hektopaskalom (100 Pa). Ranije se koristila jedinica mmHg. Normalni atmosferski pritisak je pritisak koji je kompenzovan živinim stubom visine 760mm, pri temperaturi $0^{\circ}C$, na geografskoj širini 45° i na nivou mora. Veza između mb i visine živinog stuba u mm je $1 \text{ mmHg} = 1,33 \text{ mb}$ shodno tome. Normalni atmosferski pritisak iznosi 1013,25mb. Vazdušni pritisak je bitan činilac u formiranju vremenskih uslova. Promene pritiska utiču na isparavanje – sa smanjenjem pritiska povećava se isparavanje. U regionima gde se pritisak slabo menja isparavanje je beznačajno. Pritisak utiče na promenu nivoa podzemnih voda, hlađenje zemljišta pod snegom i kretanje vazdušnih masa. Razlika u pritisacima je osnov horizontalnih kretanja i vazdušnih cirkulacija (slika 2.2), te posle sunčevog zračenja i temperature, vazdušni pritisak možemo smatrati uzročnikom vremenskih uslova u nekom regionu ili oblasti.

Kao posledica postojanja razlike u prizemnim pritisacima u horizontalnom pravcu javlja se sila koja teži da izjednači pritiske na celoj toj razdaljini, a njen rezultat je (horizontalno) kretanje vazduha i što je poznato kao vetar. Sila koja se javlja u ovom slučaju naziva se sila gradijenta pritiska. Tipična promena pritiska u horizontalnom pravcu je 1-2 mb na 100 km, a u vertikalnom je oko 1 mb na 10 m. Iako je gradijent pritiska mnogo veći u vertikalnom pravcu on je uravnotežen sa silom gravitacije, te ne zapažamo značajna kretanja atmosfere u vertikalnom pravcu. Sa druge strane, relativno male promene u horizontalnom pravcu uzrokuju da se mestimično javljaju izrazito intenzivna kretanja vazduha, kao i intenzivni vrtlozi u atmosferi.

Najznačajnija atmosferska cirkulacija za formiranje uslova koji pogoduju suši je anticiklon, slika 2.3. Anticiklon karakterišu divergencija vazduha u nižim slojevima troposfere i konvergencija u gornjim slojevima troposfere. Ovakvo kretanje rezultuje silaznim strujanjem u centralnom delu anticiklona i zagrevanje zraka spuštanjem i stabilizaciji vremena. Usled povezanosti ciklona sa nepogodama, ciklonski sistemi su mnogo više istraživani. No, kretanja, odnosno dugotrajni uticaji anticiklona najviše se odražavaju na trajanje i formiranje uslova pogodnih suši, čemu je najbolji primer suša koja traje u Kaliforniji od 2012. godine, usled prisustva anticiklona na Pacifiku, koji blokira dolazak drugih vremenskih sistema (Seager et al., 2014)



Slika 2.2 Horizontalne dimenzije i trajanje odabranih atmosferskih cirkulacija: A) tornado, tromba, termali, turbulencija, B) grmljavinske nepogode, donji izliv, C) vetar s mora, vetar s kopna, dolinski vetar, planinski talasi, D) okludovani ciklon, hariken, frontovi, E) mlazna struja, F) opšta cirkulacija, monsunska cirkulacija.



Slika 2.3 Prizemno strujanje u ciklonu (N) i anticiklonu (V) na severnoj hemisferi; vektori prikazuju strujanje u pojedinim tačkama na radijanima, a deblje duge strelice su strujnice.

2.2.4 Padavine

Atmosferske padavine predstavljaju drugu dominantnu komponentu vodnog bilansa. Padavine predstavljaju svako taloženje vode iz atmosfere na površini zemlje u vidu kiše, snega, krupe, grada. Padavine se definišu visinom P [mm], trajanjem t_k [h], i verovatnoćom pojave p [%] ili povratnim periodom $T_p = 1/p$ [godina]. Vertikalne padavine su ukoliko se formiraju u oblacima iz kojih padaju na Zemlju (kiša, sneg, grad, sugradica). Horizontalne padavine se formiraju i neposredno talože na Zemljinoj površini (rosa, mraz, inje, poledica). Na pojavu padavina utiču procesi u atmosferi, pri

čemu bitnu ulogu imaju pritisak, temperatura, gustina i vlažnost vazduha, kao i njegovo relativno kretanje u odnosu na površinu Zemlje. Pri tome je glavni pokretač svih procesa energija koja dolazi sa Sunca.

Da bi došlo do formiranja padavina treba zadovoljiti sledeće minimalne uslove:

1. Postojanje izvora vlage i dovoljno vodene pare u atmosferi,
2. Prisustvo dovoljnog broja jezgara kondenzacije,
3. Odgovarajuća temperatura koja će omogućiti hlađenje vazduha sa vodenom parom do tačke kondenzacije
4. Formiranje kapljica vode ili kristala leda
5. Rast kapljica vode ili kristala leda do dovoljne veličine za padanje na zemlju.

Prema načinu hlađenja vazduha padavine možemo podeliti na:

1. Ciklonske (frontalne) padavine su rezultat kretanja vazdušnih masa iz područja visokog pritiska anticiklona u područje niskog pritiska ciklona. Pri tome se usled hlađenja toplih vazdušnih masa koje se dižu u hladnije slojeve atmosfere formiraju padavine.
2. Orografske padavine nastaju kao rezultat mehaničkog dizanja vlažnih horizontalnih vazdušnih struja, do kojeg dolazi pri nailasku na planinske lance u toku kretanja vazdušnih masa. Uvek su jače na uzlaznoj nego na silaznoj strani planinskih lanaca.
3. Konvektivne padavine su uslovljene naglim zagrevanjem vazduha pri kontaktu sa tlom. Vazduh širenjem smanjuje svoju gustinu. Vodena para se tim procesom uzdiže i dinamički hladi, vazдушna masa postaje nestabilna, vodena para se kondenzuje i pada na tlo u obliku kiše.

Padavine variraju u zavisnosti od geografske širine, godišnjeg doba, nadmorske visine i reljefa.

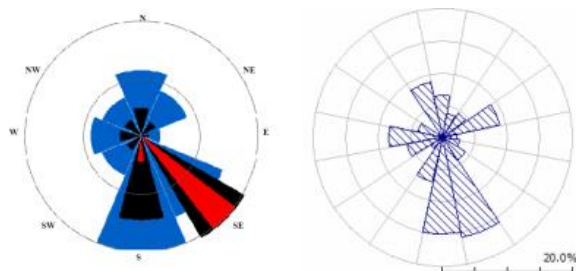
2.2.5 Vetar

Za većinu potreba vetar se može definisati kao dvodimenzionalna vektorska veličina koju definišu dva broja: brzina i pravac, a intenzitet turbulencije dodatno se opisuje sa tri broja: udarom vetra i standardnim devijacijama brzine i pravca vetra. Brzina vetra predstavlja put koji vetar pređe u određenom vremenskom periodu i meri se u m/s. Taj vremenski period, period džepa Van der Hovenovog spektra, varira od nekoliko minuta do 1 sata. U meteorologiji je uobičajeno da se vetar „osrednjava“ na 10 minuta ili 1 sat, a zahtevana tačnost merenja prema standardima WMO-a je 0,5 m/s. Pravac vetra predstavlja preovlađujući tj. dominantan pravac za onaj vremenski period za koji se osrednjava brzina vetra. Pravac vetra se meri u stepenima, u odnosu na geografski sever, i prema standardima WMO-a zahteva tačnost od 5°. Parametri vetra se sistematski mere u mreži glavnih meteoroloških stanica (GMS) Hidrometeorološkog zavoda Srbije. U Vojvodini, stanice su postavljene u Paliću, Somboru, Kikindi, Novom Sadu (Rimski Šančevi), Zrenjninu, Sremskoj Mitrovici, Banatskom Karlovcu i Vršcu.

Klimatologija vetra opisuje se najčešće:

- a) ružom vetra,
- b) histogramom empirijske raspodele brzine vetra.

Ruža vetrova opisuje srednje brzine i učestalost vetra po pravcima i daje u obliku, kao na slici 2.4. Histogram raspodele vetra prebrojava koliko ima izmerenih podataka o vetru u nekom zadatom intervalu brzina.



Slika 2.4 Ruža vetrova za grad Vršac

2.2.6 Vlaga u vazduhu i procesi isparavanja i transpiracije

Pod atmosferskom vlagom se podrazumeva sadržaj vodene pare u vazduhu. Izvor vodene pare u atmosferi su isparavanja sa površina okeana, mora, reka, jezera, močvara, bara, kao i isparavanja sa vlažnog tla, i od isparavanja biljaka (transpiracija). Isparavanje je sastavni deo procesa kruženja vode u prirodi, odnosno hidrološkog ciklusa. Isparavanje vode se javlja zbog toga što neki molekuli vode imaju dovoljno kinetičke energije da se odupru površinskim silama i silama privlačenja, koje nastoje da ih zadrže u vodnom telu. Pošto je porast temperature vode praćen porastom brzine njenih molekula i opadanjem površinskog napona, veličina isparavanja raste sa temperaturom. Molekuli mogu napustiti i zaleđenu površinu istim mehanizmom. Usled postojanja kinetičke energije molekula vodene pare, vodena para vrši pritisak. U mešavini sa vazduhom taj pritisak je jednak parcijalnom pritisku vodene pare. Odnosno, ako je ukupni pritisak vlažnog vazduha u zatvorenoj posudi jednak p i ako iz te posude uklonimo vodenu paru, pritisak preostalog suvog vazduha p^* biće manji od ukupnog pritiska p . Razlika koja je rezultat uklanjanja vodene pare je pritisak vodene pare (e_a). Sa povećanjem količine vodene pare on raste do neke granične vrednosti, koja odgovara stanju ravnoteže (zasićenja). Ova granična vrednost napona vodene pare naziva se maksimalan pritisak vodene pare ili pritisak zasićenja vodene pare pri datoj temperaturi. Pritisak vodene pare, pre svega, zavisi od temperature. Naime, što je viša temperatura veća je i brzina molekula što dovodi do bržeg napuštanja površine tečnosti i njenog prelaska u paru. Maksimalan pritisak vodene pare zavisi time i od agregatnog stanja vode (led ili tečnost). Vezivne sile između molekula leda su veće nego kohezione sile između molekula tečnosti. Zbog toga pri istim temperaturama, tj. pri istim srednjim brzinama kretanja, broj molekula koji se odvoji od površine leda je manji nego kada je u pitanju površina vode u tečnom stanju. To znači da zasićenje iznad leda nastupa pri manjem pritisku vodene pare. Prema tome pri istoj temperaturi maksimalan pritisak vodene pare iznad vode je veći nego maksimalan pritisak vodene pare iznad leda. Pritisak zasićene vodene pare ne zavisi samo od temperature i agregatnog stanja već i od zakrivljenosti površine koja se isparava. Pri istom agregatnom stanju i temperaturi, pritisak zasićene vodene pare iznad ispupčene površine veći je nego iznad ravne, dok je pritisak zasićene vodene pare iznad ravne površine veći od pritiska iznad udubljene površine. U prirodnim uslovima isparavanje se odigrava na neograničenom prostoru. Ovo uslovljava da se vodena para transportuje u prostor iznad te površine a samo tanak sloj vazduha uz nju ostaje zasićen. Usled molekularne difuzije i turbulentnog mešanja iz tog sloja para se neprekidno transportuje u prostor iznad površine koja se isparava. Što je turbulentno mešanje intenzivnije taj transport odvija će se brže i isparavanje sa površine vode odvija se do trenutka dok se ne izjednače postojeći pritisak vodene pare i maksimalni pritisak vodene pare pri datoj temperaturi. Ukoliko pritisak vodene pare

postane veći od maksimalnog pritiska vodene pare pri datoj temperaturi doći će do procesa kondenzacije.

Najveća količina vodene pare nalazi se u sloju vazduha koji neposredno naleže na površinu sa koje se isparavanje odigrava. U više slojeve atmosfere vodena para dospeva putem procesa difuzije ali bi se moglo reći da su glavni mehanizmi kojima vodena para dospeva u gornje slojeve atmosfere mehanizmi vertikalne razmene - konvekcija i turbulentna razmena. Značajnu ulogu u procesu prenošenja vodene pare imaju i advektivni procesi kojima se vodena para prenosi sa okeana i mora u unutrašnjost kontinenta. Njena količina se smanjuje sa povećanjem visine i idući prema unutrašnjosti kontinenta. Količina vodene pare u atmosferi zavisi od mnogih faktora (fizičko-geografski uslovi mesta, godišnje doba, vremenski uslovi) te se zbog toga vodena para pojavljuje kao veoma promenljiva komponenta u sastavu atmosfere.

Sadržaj vodene pare, ili **vlažnost vazduha** se obično izražava kao parcijalni pritisak vodene pare (u mešavini gasova od kojih se sastoji vazduh) i meri se u barima ($1 \text{ bar} = 1000 \text{ mb} = 10^5 \text{ N/m}^2 = 0,75 \text{ mmHg}$). Vodena para je lakša od vazduha i to u odnosu 0,622. Količina vodene pare u vazduhu varira i u vremenu i u prostoru, u zavisnosti od termodinamičkih karakteristika atmosfere i blizine izvora vlage. Koncentracija vlage smanjuje se sa nadmorskom visinom, sa geografskom širinom i sa rastojanjem od morske obale. Približno jedna polovina ukupne količine vlage u atmosferi sadržana je unutar prvih 1,7 km od površine Zemlje, a praktično sva atmosferska vlaga je sadržana u prvih 8 km atmosfere (Hrelja, 2007). Stopa isparavanja se može opisati na dva načina, preko stope, odnosno pada nivoa vode u referentnom vodnom telu ili na osnovu stope po kojoj se troši latentna toplota u procesu. Latentna toplota isparavanja predstavlja količinu toplote koju je potrebno dovesti jediničnoj masi vode (ili bilo koje tečnosti) da bi se isparila pri nepromenjenoj temperaturi. Vodena para, iznad površine koja se isparava obrazuje pritisak koji se naziva **pritisak vodene pare**.

Brzina isparavanja zavisi i od atmosferskog pritiska usled toga što se u nepokretnom vazduhu molekularna difuzija direktno ubrzava ukoliko je atmosferski pritisak niži. Naime, što je on niži i molekuli se lakše odvajaju od površine koja se isparava. Isparavanje u prirodnim uslovima osetno zavisi i od brzine vetra. Povećanje brzine vetra doprinosi i povećanoj turbulentnoj razmeni vodene pare a samim tim i intenzivnijem isparavanju. Međutim, ukoliko se isparavanje odigrava sa ograničene površine onda će vazduh iznad nje da se zasiti u nekom vremenskom intervalu tako da će proces isparavanja da stane. U prirodnim uslovima na isparavanje dosta utiče i nehomogenost površina. Isparavanje sa zemljišta, kao aktivne površine, zavisi pre svega od njegovih fizičkih svojstava i stanja. Glatka površina slabije isparava nego hrapava površina koja doprinosi intenzivnijem razvoju turbulencije a samim tim i isparavanja. Boja zemljišta osetno utiče na isparavanje preko albeda. Pošto je albedo tamnijih zemljišta manji ona će više apsorbovati kratkotalasno sunčevo zračenje, više će da se zagrevaju pa samim tim više će da se i isparavaju. Zemljište sa većim kapilarama u sebi će sporije da isparava nego kada ono u sebi sadrži manje kapilare. Kroz manje kapilare voda brže dopire do površine pa će i isparavanje sa površine zemljišta biti veće. Isparavanje sa zemljišta je veće što je zemljište vlažnije i što je nivo podzemnih voda viši. Reljef, takođe može značajno da utiče na isparavanje. Na većim visinama vazduh je pokretljiviji pa je proces isparavanja intenzivniji nego u dolinama i ravničarskim predelima. Za praktične potrebe isparavanje se izražava preko visine sloja vode u milimetrima koja se ispari u jedinici vremena ($\text{kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Pošto količina vode od 1 kg, tj. 1 l, po 1 m^2 odgovara visini sloja vode od 1 mm onda se prethodna veličina može izraziti i u mm s^{-1} . Proces transpiracije, za razliku od procesa evaporacije, je fiziološki proces.

Osnovne funkcije transpiracije su hlađenje prilikom isparavanja i transport vode i u njoj rastvorenih supstanci kroz biljku. Transpiracija se određuje po količini vode koju biljka izgubi po jedinici vremena. Intenzitet transpiracije se dobija kada se gubitak u težini izračuna na jedinicu površine lista, u jedinici vremena. On se izražava kao gram izgubljene vode za sat ($\text{g H}_2\text{O}/\text{dm}^2 \text{ h}$). Produktivnost transpiracije pokazuje koliko se grama suve supstance izgradi u listu za vreme za koje se transpiracijom izgubi 1 kg vode. Razmatrajući prirodu transpiracije, iako u velikoj meri utiče na vlažnost vazduha i količinu vodene pare u atmosferi, nije je moguće egzaktno odrediti na velikim površinama. Kao i isparavanje sa drugih aktivnih površina, transpiracija zavisi od meteoroloških faktora kao što su sunčevo zračenje, temperatura, vlažnost vazduha i brzina vetra. Istovremeno transpiracija zavisi i od vrste i starosti biljke, kao i od dostupnosti vode biljci. Indirektno transpiracionim procesom biljka prenosi vodu iz zemljišta u atmosferu.

Evapotranspiracija (ET) je proces isparavanja vode sa biljaka, zemljišta i otvorenih vodenih površina. Evapotranspiracija igra značajnu ulogu u transportu energije kroz atmosferu i u velikoj meri utiče na procese formiranja vremena i jedan od ključnih faktora je u procesu formiranja i održanja uslova koji pogoduju suši. Proces evapotranspiracije fizički se može opisati kao zbir isparavanja sa različitih površina ponaosob (otvorene vodene površine – reke, jezera, mora, okeani, bare, ledene kape, različiti tipovi zemljišta i veštačkih podloga) i procesom disanja biljaka (transpiracija). Proces evapotranspiracije zavisi od termodinamičkog stanja i sadržaja vlage u atmosferi, stanja podloge i njene pokrivenosti vegetacijom.

2.3 Promenljiva fizička svojstva vazduha (atmosfera) prilikom suše

Proces suše definišu sledeća fizička svojstva – veličine stanja vlažnog vazduha (prilagođeno prema Paunović (2010)):

1. Intenzivna svojstva:

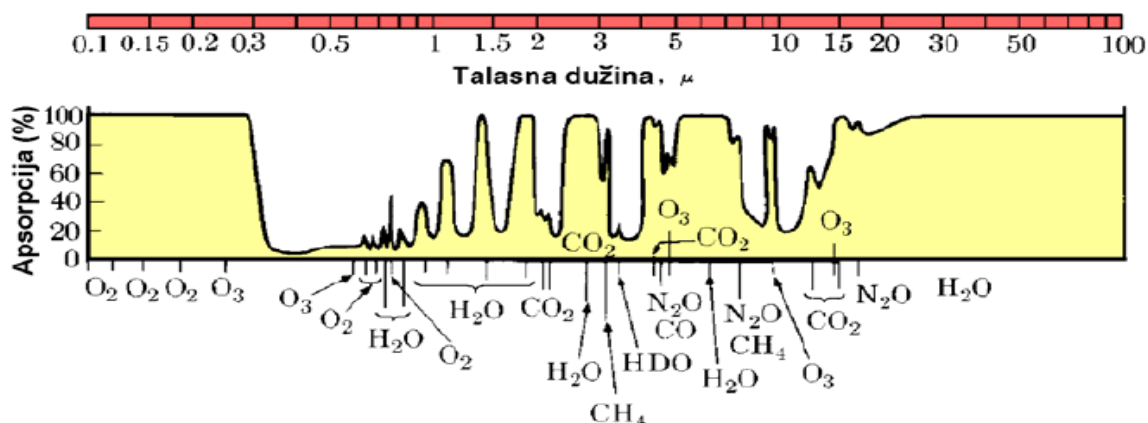
- zasićenje,
- tačka rose,
- deficit saturacije,
- latentna toplota isparavanja,
- apsolutna vlažnost,
- relativna vlažnost,
- temperatura,
- pritisak vazduha,
- Temperatura adijabatskog zasićenja

2. Ekstenzivna svojstva:

- sadržaj vlage,
- zapremina,
- toplotni kapacitet,
- entalpija.

Pri uslovima suše količina (maseni protok) suvog vazduha ostaje nepromenjena, dok se ukupan maseni protok vlažnog vazduha menja, zbog povećanja sadržaja vlage u vazduhu (procesom isparavanja i transpiracije – „sušenje“ površine). Vodena para (H_2O) je dobar apsorber infracrvenog, a slab vidljivog Sunčevog zračenja. Usled toga apsorbuje infracrveno zračenje emitovano sa Zemlje i dovodi do povećanja srednje kinetičke energije molekula. Ovu energiju molekuli delimično predaju u sudarima sa susednim molekulima kiseonika i azota, povećavajući srednju kinetičku energiju, a time i

temperaturu vazduha. Pored toga što apsorbuju infracrveno zračenje, molekuli i emituju infracrveno zračenje. Ovo zračenje putuje u svim pravcima. Jedan deo zračenja se vraća ka Zemlji, gde ga površina apsorbuje povećavajući svoju temperaturu. Površina Zemlje ponovo zrači dugotalasno infracrveno zračenje na gore, gde opet dolazi do njegove apsorpcije i zagrevanja troposfere i pospešivanje dalje procesa isparavanja i povećanja koncentracije molekula vodene pare. Tako se može zaključiti da molekuli vodene pare apsorbuju i emituju infracrveno zračenje ponašajući se kao sloj gasa oko Zemlje, koji ne dozvoljava tom istom zračenju da napusti atmosferu, što dovodi do pospešivanja razvoja uslova za dalje isparavanje usled povećanja temperature vazduha, slika 2.5.



Slika 2.5 Apsorpciono dejstvo atmosfere na spektar zračenja sa Sunca (Glavatović, 2005).

Zasićenje. Kaže se da je vazduh zasićen (saturisan) ako sadrži maksimalnu količinu vodene pare koju može da primi pri datoj temperaturi i pritisku. **Što je temperatura viša, potencijalni sadržaj vlage u vazduhu je veći.** Takvo stanje koje se naziva zasićenim ili ravnotežnim, moguće je izraziti sa ravnotežnim pritiskom vodene pare p_v izraženim u mb za koji vredi Magnus – Tetensova formula:

$$p_v = c_1 \exp(c_2 t / (c_3 + t)) \quad (2.10)$$

gde su: t temperatura vazduha u °C, c_1 ravnotežni pritisak vodene pare pri temperaturi od 0°C ($c_1 = 6,11 \text{ mb}$), c_2 i c_3 konstante koje zavise od agregatnog stanja vodene površine.

Temperatura tačke rose (t_a) je temperatura pri kojoj neka masa nesaturisanog vazduha postaje zasićena kada se hladi, pri pritisku koji ostaje konstantan. Ako se vazduh dalje hladi dolazi do kondenzacije vodene pare, odnosno ako se pri istom pritisku vazduh zagreva isparavanje se povećava. Temperatura tačke rose je temperatura vazduha na kojoj stvarni sadržaj vodene pare ima maksimalni pritisak vodene pare:

$$t_d = \frac{c_3 (\ln p_v - \ln c_1)}{c_2 - (\ln p_v - \ln c_1)} \quad (2.11)$$

Deficit saturacije je razlika između pritiska saturisane vodene pare pri temperaturi vazduha i stvarnog pritiska (nesaturisane) vodene pare. Deficit saturacije ili zasićenja ukazuje na dodatnu količinu pare koju bi mogao da primi vazduh na temperaturi t pre nego što postane saturisan. Deficit saturacije je značajan kao pokazatelj mogućnosti isparavanja ali i padavina. Što je on veći mogućnost isparavanja je veća, a mogućnost formiranja i padanja padavina manja (slika 2.6).

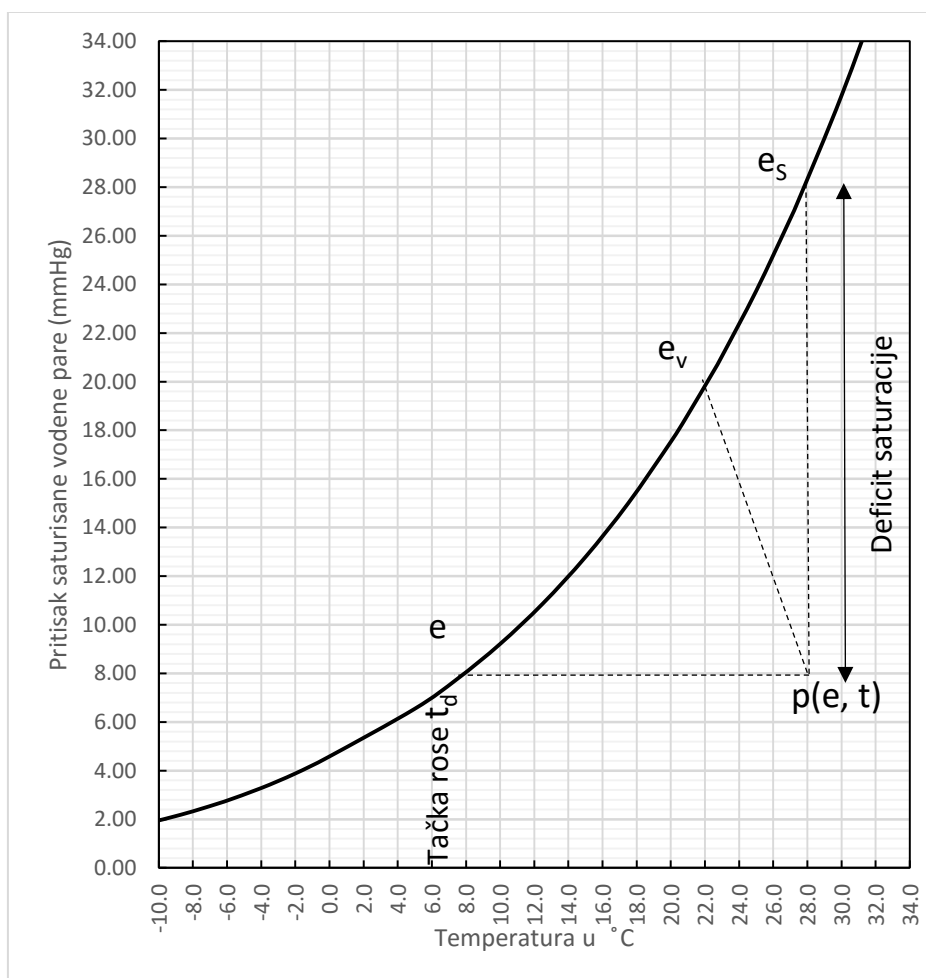
Latentna toplota isparavanja predstavlja količinu toplote koju je potrebno dovesti jediničnoj masi vode (ili bilo koje tečnosti) da bi se isparila pri nepromenjenoj temperaturi. Latentna toplota isparavanja vode L , varira u zavisnosti od temperature.

Apsolutna vlažnost (ρ_v) je ekvivalentna gustini vodene pare na datoj temperaturi. Definiše se kao količina vlage na 1kg suvog vazduha. Ako je vazduh zasićen vlagom, u pitanju je vlažnost zasićenog vazduha. Pošto i parcijalni pritisak vodene pare (e), u vlažnom vazduhu takođe predstavlja meru sadržaja vlage, može se izvesti veza između ρ_v i e . Uz pretpostavku da se vazduh ponaša kao smeša idealnih gasova, molski odnos vlage i suvog vazduha u proizvoljnoj zapremini, biće jednak odnosu njihovih parcijalnih pritisaka:

$$\frac{n_v}{n_s} = \frac{e}{p-e} \quad (2.12)$$

Kako vlažnost predstavlja maseni odnos vlage i suvog vazduha, sledi:

$$\rho_v = \frac{m_v}{m_s} = \frac{n_v M_v}{n_s M_s} = \frac{18}{29} \frac{e}{p-e} \quad (2.13)$$



Slika 2.6 Veza između pritiska saturisane vodene pare e_s i temperature vazduha po ugledu na Jovanović (1974).

Relativna vlažnost vazduha (r) ili stepen zasićenja vazduha vlagom, definisana je kao odnos aktuelnog parcijalnog pritiska vodene pare u vlažnom vazduhu, temperature vazduha T , i napona vodene pare (e_s):

$$r = \frac{e}{e_s(T)} \quad (2.14)$$

i obično se izražava u procentima. Relativna vlažnost se menja u zavisnosti od količine prisutne vlage i inverzno, od temperature. Odnosno, ako se količina vlage ne menja a temperatura raste, relativna vlažnost opada. Relativna vlažnost ukazuje koliko je vazduh zasićen sa vodenom parom pa prema tome ukazuje i na potencijalnu mogućnost koliko još vlage može da primi. Jedna od krucijalnih činjenica funkcionisanja procesa u atmosferi jeste da je glavni izvor atmosfere vlage Zemljina površina, te sledi da sadržaj vodene pare u atmosferi na nekom prostoru značajno zavisi od veličine prostora i karakteristika površine. Sa ovog stanovišta, maksimalni sadržaj vodene pare je gotovo uvek sadržan u tlu. Metode određivanja koliko vlage možemo dobiti iz tla, povezane su sa određivanjem evapotranspiracije.

2.4 Empirijske metode proračuna evapotranspiracije

Istovremeno isparavanje i sa zemljišta i sa biljaka, poznato kao evapotranspiracija (ET), može da bude: stvarna evapotranspiracija (ET_a) ili potencijalna evapotranspiracija (ET_p). Pod prvom se podrazumeva količina isparene vode sa zemljišta i sa biljaka u postojećim vremenskim uslovima i uslovima vlažnosti zemljišta. Pod drugom se podrazumeva količina isparene vode sa zemljišta potpuno pokrivenog vegetacijom, kada u zemljištu nema deficita vode. Evapotranspiracija zavisi od svih faktora spoljne sredine od kojih zavisi isparavanje i sa zemljišta i sa biljaka, a osim toga i od bioloških osobina biljke i faza njihovog razvoja. Ukoliko želimo dobiti tačnu meru odavanja vodene pare u atmosferu sa neke površine koja je heterogena (mešavina otvorenih vodenih površina, površina golog zemljišta i zemljišta prekrivenog biljkama) neophodno je da odredimo evapotranspiraciju, sumarno isparavanje sa cele oblasti. Iako mnogo doprinosi tačnom određivanju vodnog bilansa, evapotranspiracija se vrlo teško direktno meri, a praktično je nemoguće dobiti dovoljnu gustu prostornu mrežu za merenje evapotranspiracije. Stoga je vremenom razvijen veliki broj metoda za proračun referentne evapotranspiracije (ET_0), koja nalazi široku primenu u mnogim oblastima privrede i nauke. Sedamdesetih godina uočeno je da različite metode proračuna evapotranspiracije dovode do ne slaganja rezultata i uvode sumnju u inženjerskoj praksi u pouzdanost korišćenih metoda. Da bi izbegli probleme u definisanju zajedničkih parametara za sva isparavanja i fazu razvoja biljke definisan je pojam referentnih isparavanja. Pojam referentne evapotranspiracije se definiše kao veličina evapotranspiracije sa hipotetičke referentne kulture pretpostavljene visine 0,12 m, stalnog površinskog otpora od 70 s m^{-1} i sa albedom od 0,23 koja je bliska evapotranspiraciji sa velike površine pokrivene zelenom travom u fenofazi aktivnog rasta i u ulovima bez nedostatka lako pristupačne vlage (Allen et al., 1998). Vrednost evapotranspiracije useva dobija se iz proizvoda koeficijenta kulture i vrednosti referentne evapotranspiracije.

Referentna evapotranspiracija je količina vode, koja se u zavisnosti od svojstava atmosfere i raspoložive energije u atmosferi može javiti u području koje je obraslo travom i dobro je snabdeveno vodom. Evapotranspiraciona stopa različitih biljaka je sa biljnim koeficijentima povezana sa evapotranspiracionom stopom referentne površine. Zadana referentna površina (definisao FAO) je aktivno rastuća trava, koja u potpunosti prekriva tlo, dovoljno snabdevena vodom, visine 0,12 m, otpornosti površine od 70 sm^{-1} , a albedo iznosi 0,23.

Razvijen je veliki broj različitih varijacija metoda proračuna evapotranspiracije u odnosu na geografske i klimatske uslove. Metode proračuna bile su rezultat teorijskih rasprava ili eksperimenata za strogo definisane uslove koji su simulirali fiziku procesa. Metode za ocenu veličine isparavanja ili evapotranspiracije mogu se podeliti u sledeće grupe (Zelenhasić et al, 1991): merenje pomoću isparitelja, empirijske formule, metode vodnog bilansa, metode bilansa energije (toplotni bilans), metode transfera mase. U praksi najčešće se koriste empirijske formule za evapotranspiraciju sa datog sliva. Problem metoda nastalih na osnovu fizičkih modela bila je nemogućnost njihove generalne primene. Metode su davale dobre rezultate za klimatske uslove na osnovu kojih su kreirane. Kako je direktno merenje evapotranspiracije kompleksna procedura, metode su inkorporile što veći broj meteoroloških parametara koji utiču na dinamiku i fiziku evapotranspiracije. Primer podele metoda prema vrsti parametara koje koriste u svojim proračunima dao je Trajković (2009):

1. Temperaturene metode (Thornthwaite, SCS Blaney-Criddle, FAO-24 Blaney-Criddle, Hargreaves) koje se temelje na zavisnosti evapotranspiracije od temperature vazduha,
2. Radijacione metode (Turc, Jensen-Haise, Prisley-Taylor, FAO-24 Radiation) koje izražavaju zavisnost evapotranspiracije od radijacije,
3. Evaporacione metode (Christiansen, FAO-24 Pan) koje pokazuju vezu između evapotranspiracije i isparavanja,
4. Kombinovane metode (Penman, Penman-Monteith, FAO-24 Penman, Kimberly Penman) koje se temelje na kombinaciji energetskog i aerodinamičkog bilansa.

Međunarodna organizacija Food and Agriculture Organization (FAO) predložila je 1998. godine korišćenje FAO-56 Penman-Monteith metode za proračun referentne evapotranspiracije (Allen et al., 1998). Predložena metoda podrazumeva korišćenje širokog spektra meteoroloških parametara u svom proračunu: maksimalna i minimalna temperatura vazduha, maksimalna i minimalna relativna vlažnost vazduha ili stvarni napon vodene pare, brzina vetra na 2 m visine, stvarno trajanje sunčevog sjaja ili solarna radijacija. Ukoliko ne postoje merenja određenih varijabli primenjuju se metode proračuna. Ako nema podataka o brzini vetra predlaže se usvajanje prosečne globalne vrednosti za brzinu vetra od 2 m/s, ili korišćenje prosečne regionalne brzine vetra odnosno prosečne lokalne brzine vetra. U takvim slučajevima ohrabruje se primena i metoda sa manjim brojem ulaznih parametara.

Kao reperne metode za procenu indikatora suše za procenu referentne evapotranspiracije testirane su Turkova metoda (Trajković, 2009) i metoda Hargreaves-a (Trajković, 2007a).

2.4.1 Penman – Monteith metoda

Trajković (2009) ukazuje na pouzdanost Penman – Monteith metode u svim klimatskim uslovima i za sve vremenske periode proračuna (mesec, dan i sat). Takav zaključak je podržan od strane brojnih istraživača (Ortega-Farias et al., 1998b; Todorović, 1999; Hussein, 1999; Ventura et al., 1999; Beyazgul et al., 2000; Lecina et al. 2003, Berengena and Gavilan, 2005, Lopez-Urrea et al., 2006a, b; Gavilan et al., 2007). Osnovna verzija metode pojavila se 1965. godine (Zotarelli et al., 2009):

$$\lambda ET_0 = \frac{\Delta(R_n - G) + \left[86400 \frac{\rho_a c_p (e_s^0 - e_a)}{r_{av}} \right]}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_{av}} \right)} \quad (2.15)$$

Kasnije je (1998) FAO korigovao jednačinu u FAO- 56 Penman-Monteith (Allen et al., 1998). Jednačina je pojednostavljena uvođenjem konstanti za pokošenu travu kao referentni usev. Osnovna pretpostavka odnosila se na definiciju referentnog useva koja se odnosila na hipotetički referentni usev visine 0,12m, površinskog otpora 70s/m i albeda reda veličine 0,23 (Smith et al., 1992). Nakon revizije 1999, jednačina je poprimila oblik (Zotarelli et al., 2009):

$$ET_{SZ} = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \left[\frac{c_n u_2 (e_s^0 - e_a)}{T + 273} \right]}{\Delta + \gamma(1 + C_d u_2)} \quad (2.16)$$

Jednačina 2.16 predstavlja standardizovanu ASCE-EWRI (American Society of Civil Engineering – Environmental and Water Resources Institute) jednačinu za proračun referentne evapotranspiracije baziranu na FAO-56 Penman-Monteith jednačini. Standardizovana ASCE-EWRI jednačina je za niske useve identična jednačini FAO-56 Penman-Monteith i glasi:

$$ET_{SZ} = ET_{os} = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \left[\frac{900 u_2 (e_s - e_a)}{T + 273} \right]}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 u_2)} \quad (2.17)$$

U jednačini 2.16 standardizovana referentna evapotranspiracija za travu, odnosno visoko rastinje, zasniva se na vremenskom koraku mm po danu, za 24 časovni ciklus, odnosno mm po času za vremenski korak od 1 sata. C_n i C_d su konstante (tabela 2.4).

Tabela 2.4 Vrednosti konstanti u jednačini 2.16 po ugledu na Allen et al., 1998

Vremenski korak proračuna	Nisko referentno rastinje		Visoko referentno rastinje		Jedinice za referentnu evapotranspiraciju	Jedinice za zračenje
	C_n	C_d	C_n	C_d		
dan	900	0.34	1600	0.38	mm dan ⁻¹	MJ m ⁻² dan ⁻¹
sat, u toku dana	37	0.24	66	0.25	mm h ⁻¹	MJ m ⁻² h ⁻¹
sat, u toku noći	37	0.96	66	1.7	mm h ⁻¹	MJ m ⁻² h ⁻¹

Ostali članovi jednačine redom su: Δ predstavlja pad napona zasićene vodene pare, R_n je neto radijacija – dolazno zračenje Sunca, G je zemljišni fluks toplote – Zemljino izračivanje, γ je psihrometrijska konstanta, T srednja temperature vazduha na 2 m visine, u_2 brzina vazduha na 2m visine, odnosno vetar, $(e_s - e_a)$ deficit napona vodene pare na 2 m visine.

Usled nedostatka merenih vrednosti referentne evapotranspiracije, kao i usled njene uslovljenosti brojnim klimatskim parametrima i prirodom tla i vegetacije postoji veliki broj empirijskih metoda za određivanje referentne evapotranspiracije i stvarne evapotranspiracije.

2.4.2 Turkova metoda i modifikovana Turkova metoda

Empirijska jednačina Turka (Turc, 1963) posebno je bila dizajnirana za vlažnu klimu Zapadne Evrope (Francuska), u kojoj daje i najbolje rezultate (Jensen et al., 1990; Trajković and Kolaković, 2009c). Metoda u proračunu koristi srednje mesečne vrednosti sunčevog zračenja i maksimalne i minimalne vrednosti temperature vazduha na 2m visine. Slabost Turkove metode ogleda se u ne uzimanju u obzir faktor vetra u proračunu i slaba pouzdanost u uslovima aridne klime (Jensen et al., 1990). U cilju

poboljšanja pouzdanosti metode Trajković (Trajković i Stojnić, 2008; Trajković i Kolaković, 2009a) je uveo korekcionni faktor C_u :

$$ET_0 = C_u \cdot 0.013 \cdot (23.88 \cdot R_s + 50) \cdot T \cdot (T + 15)^{-1} \quad (2.18)$$

gde je C_u korekcionni faktor, a R_s solarna radijacija ($MJ m^{-2} dan^{-1}$). U Trajković i Kolaković (2009a) daju vrednost korekcionnog faktora za humidne evropske lokacije:

$$C_u = -0.0211 \cdot \bar{U}_2^2 + 0.1109 \cdot \bar{U}_2 + 0.9004 \quad (2.19)$$

gde je: \bar{U}_2 višegodišnja prosečna brzina vetra na dva metra visine ($m s^{-1}$). Uvodeći smenu dobijamo izraz na osnovu kog proračunavamo referentnu evapotranspiraciju po prilagođenoj metodi Turka klimi Srbije:

$$ET_0 = 0.013 \cdot (23.88 \cdot R_s + 50) \cdot T \cdot (T + 15)^{-1} \text{ za } RH > 50\% \quad (2.20)$$

$$ET_0 = 0.013(23.88 \cdot R_s + 50) \cdot T \cdot (T + 15)^{-1} \left(1 + \frac{50-RH}{70}\right) \text{ za } RH < 50\% \quad (2.21)$$

Turkova formula definisana je samo za srednje temperature iznad nule, ispod nule vrednosti isparavanja postaju negativne, te time metoda u tim slučajevima postaje nepouzdana. Iz tog razloga, često se Turkova formula zamenjuje formulom Ivanova (Wendling & Müller, 1984).

$$PET = 0,000036 \cdot (25 + T)^2 \cdot (100 - RH) \quad (2.22)$$

gde je PET evapotranspiracija po Ivanovu izražena u [$mm dan^{-1}$], T srednja temperatura za dati vremenski interval [$^{\circ}C$], RH srednja vlažnost vazduha [%].

$$PET = 0,0011 \cdot (25 + T)^2 \cdot (100 - RH) \quad (2.23)$$

gde je PET evapotranspiracija po Ivanovu izražena u [$mm mesec^{-1}$].

2.4.3 Hargreaves-ova metoda

Hargreaves je 1975 arhivirao osam godina istraživanja W.O. Pruitt-a. Analizom prikupljenih podataka o evapotranspiraciji i detaljnom regresionom analizom Hargreaves je došao do svoje prve formule koja se odnosila na proračun potencijalne evapotranspiracije na osnovu podataka o temperaturi. Hargreaves je dao jednačinu za temperaturu merenu u $^{\circ}F$ i u $^{\circ}C$, te otuda imamo varijaciju u koeficijentima u formulama. Nakon prve verzije jednačine Hargreaves je nastavio svoja istraživanja koja su rezultovala novim oblikom jednačine deceniju nakon prvobitne (Hargreaves, G. H. and Allen, R. G., 2003). U RHMZ Srbije za operativne potrebe odabrana je ova metoda za proračun referentne evapotranspiracije. U RHMZ-u se pokazalo analizom dnevnih vrednosti referentne evapotranspiracije po metodi Hargreaves-a dobro slaganje s rezultatima dobijenim standardnom metodom FAO-56 Penman-Monteith (FAO56-PM) za podatke sa teritorije Republike Srbije, tj. tačnost dovoljnu za praktičnu primenu ovih rezultata. Na osnovu istraživanja (Trajković, 2007a) dobijeni rezultati upućuju da je poželjno koristiti izmenjenu Hargreaves formulu za proračun referentne evapotranspiracije. Modifikovana Hargreaves metoda (AHARG) nastala promenom vrednosti Hargreaves eksponenta sa 0,5 na 0,424 (Trajković, 2007a) pokazuje veoma dobro slaganje sa FAO-56 Penman-Monteith metodom i može se preporučiti za korišćenje u našim klimatskim uslovima (Trajković, 2007b). Vrednosti RMSE statistika variraju od 0,184 do 0,234 $mm dan^{-1}$. Odstupanja ove metode od FAO-56 PM na godišnjem nivou iznose od 3 do 7%. Ova metoda ima najbolje statistike u odnosu na sve druge metode u Kragujevcu i Nišu. Modifikovana Hargreaves metoda omogućava pouzdan, jednostavan i brzi proračun referentne evapotranspiracije na većini lokacija

na kojima postoje makar merenja temperature vazduha (Trajković, 2009). Proračune vrednosti referentne evapotranspiracije metodom Hargreaves-a vršimo uz pomoć sledeće jednačine:

$$ET_0 = 0,0023 \cdot R_a \cdot (T_{max} - T_{min})^{0,424} \cdot (T_{sr} + 17,8) \quad (2.24)$$

Ovo je modifikovana jednačina po Trajkoviću (Trajković, 2007a), gde je R_a izraženo u mm/dan. Dobijene razlike pri istraživanju u odnosu na standardne FAO-56 Penman-Monteith vrednosti su generalno male i u proseku za lokacije u Srbiji iznose manje od 0,3%.

2.4.4 Thorntwaite-ova metoda

Thorntwaite (1948) razvio je jednačinu za predviđanje mesečne referentne evapotranspiracije, a na osnovu podataka o srednjoj mesečnoj temperaturi i geografskoj širini. Atraktivnost ove metode ogleda se upravo u minimalnom broju korišćenih meteoroloških podataka, ali i sam Thorntwaite je bio skeptičan u odnosu na svoj pristup, izražavajući zabrinutost da empirijski pristup nije zadovoljavajući za formiranje generalne matematičke zavisnosti referentne evapotranspiracije od temperature (Ward et al., 2004). Taylor and Asheroft (1972) ističu da jednačina, bazirana potpuno na temperature, ima prilično klimavu fizičku osnovu i ima samo, jedva opravdanu teoretsku osnovu. Kako su temperatura i gradijent pritiska vodene pare modifikovani kretanjem vazduha i zagrevanjem zemljišta i okoline, formula generalno nema uporište, ali se preporučuje provera u uslovima klime koji nisu aridni i semiaridni, i gde je klima bliska klimi istočne centralne Amerike (Ward et al., 2004).

Thorntwaitova empirijska jednačina odnosi se na travni pokrivač (košena livada) visine 12-20 cm, površine veće od 6 ha u optimalnim uslovima vlaženja. Ova metoda se može predstaviti na sledeći način (Trajković, 2009):

$$ET = 1,6 \cdot \left(\frac{10 \cdot T}{I}\right)^a, \quad (2.25)$$

$$I = \sum_{k=1}^{12} i_k = \sum_{k=1}^{12} (0,2 \cdot T_k)^{1,514} \quad (2.26)$$

$$a = 0,016 \cdot I + 0,5 \text{ (Trajković, 2009) ili} \quad (2.27)$$

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 + 1,792 \cdot 10^{-2} \cdot I + 0,49239 \text{ (Ward et al., 2004)}$$

gde je: ET_p potencijalna evapotranspiracija za "teorijski" mesec od 30 dana i "teorijsko" trajanje osunčanosti u danu od 12 sati (cm mesec^{-1}); T srednja dnevna temperatura ($^{\circ}\text{C}$), I godišnji termički indeks koji predstavlja sumu svih mesečnih termičkih indeksa (i_k) koji su nelinearna funkcija temperature, a koeficijent koji je funkcija godišnjeg termičkog indeksa. Da bi jednačina 2.25 bila funkcionalna globalno dodaje se p (korekcionni faktor) koji omogućava primenu ove metode na svim geografskim širinama time što transformiše "teorijsko" trajanje osunčanosti u danu od 12 sati u "realno" trajanje osunčanosti u danu "realne" dužine (Trajković, 2009).

$$ET = 1,6 \cdot \left(\frac{10 \cdot T}{I}\right)^a \cdot p, \quad (2.28)$$

Vrednost korekcionog faktora se može dobiti iz izraza:

$$p = \frac{D_q \cdot N}{12 \cdot 30} \quad (2.29)$$

gde je D_q broj dana u mesecu q , N maksimalno trajanje sunčevog sjaja u satima. Pretpostavka od koje polazi Thorntwaite je da potencijalna evapotranspiracija zavisi

od temperature po eksponencijalnom zakonu do 26 °C, a iznad te temperature zavisnost je linearna:

$$ET_p = -415,85 + 32,24 \cdot T - 0,43 \cdot T^2 \quad (2.30)$$

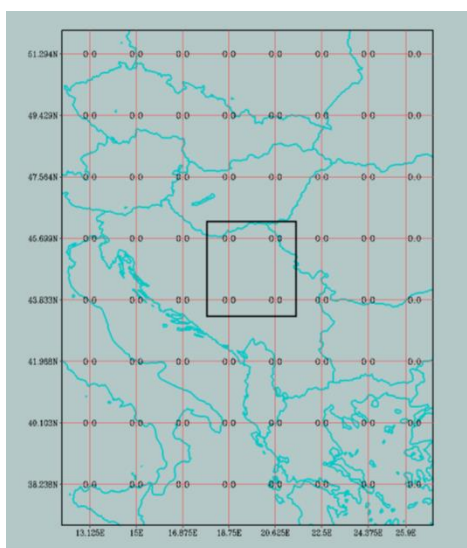
2.5 Pojam suše

U Zemaljskom sistemu, svi procesi su indukovani dolaznim Sunčevim zračenjem na površinu atmosfere, hidrosfere, litosfere i biosfere i njegovim uticajem na ljudsku populaciju i ponašaju se u skladu sa zakonima održanja energije i mase. Pristigla energija Sunca diktira brzinu i intenzitet hidroloških procesa. Raspodela Sunčevog zračenja nije homogena i zavisi od više faktora:

- a) udaljenosti Zemlje od Sunca u zadatom momentu,
- b) nagnutosti Zemljine ose rotacije,
- c) zemljine rotacije,
- d) sastava atmosfere,
- e) stanja tla,
- f) stanja apsorbujuće vodene površine,
- g) vrsta biljnog pokrivača, starost i faze rasta,
- h) urbanizacije i izgrađenosti područja.

Nehomogeno raspoređena raspoloživa Sunčeva energija na svim vremenskim skalama utiče i na ponašanje i kretanje velikih/globalnih atmosferskih cirkulacija, koje utiču na lokalne vazdušne mase i na procese formiranja padavina. Zemaljski sistem je time energetski otvoren sistem, a maseno ne razmenjuje ništa sa svojom okolinom (svemirom). Ovo je od velikog značaja iz razloga što sve što kruži unutar Zemaljskog sistema u svakom momentu Δt mora imati svoje mesto. Time nam je lakše suziti domen osmatranja na procese koji definišu sušu.

Suša je stanje okarakterisano nedostatkom vode u osmatranom prostoru, definisane geografske širine i dužine. Stoga prvo definišemo osmatrani prostor kao kvadrant definisan koordinatama α_1 , α_2 i β_1 , β_2 (slika 2.7) za koji možemo odrediti ulaze i izlaze, odnosno procese i parametre koji utiču na preraspodelu vode.



Slika 2.7 Za potrebe disertacije, i u skladu sa rezolucijom klimatskih modela, površinu kvadranta definišemo kao veličinu 200x200 km (Ruman, 2009).

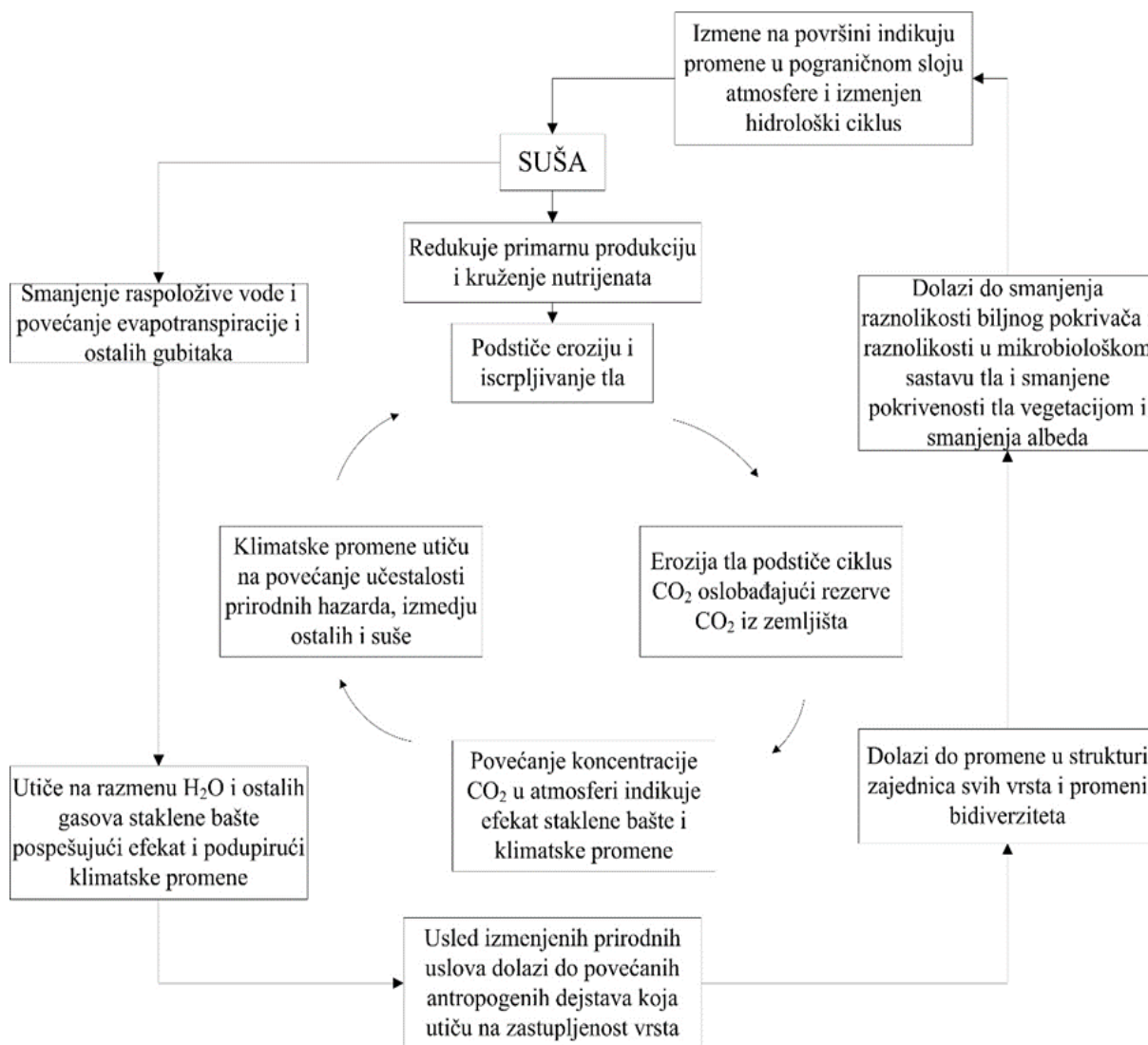
Svaki ovako određen kvadrant ima definisanu:

1. maksimalnu količinu sunčevog zračenja koju može da primi (količina i trajanje sunčevog zračenja direktno utiču na temperaturu vazduha i površine u razmatranoj oblasti)
2. udaljenost od velikih vodenih površina i reljef (prisustvo velikih planinskih masiva) – ove karakteristike utiču na procese formiranja padavina u zadatom kvadrantu i ujedno diktiraju klimu kvadranta
3. pokrivenost zemljišta vegetacijom, procenat urbanizovanog i golog zemljišta
4. prisustvo manjih vodenih površina, otvorenih i zatvorenih tokova, dubinu vodnog horizonta, fizičke i hemijske karakteristike vode
5. populaciju – demografsku strukturu i antropogene aktivnosti
6. specifična kretanja vazdušnih masa (vetrovi) i sezonalitet padavina.

Kako kod fenomena suše ne postoji voda u tečnoj fazi u očekivanoj meri, moramo sagledati fiziku suše i odrediti procese u Zemaljskom sistemu koji je opisuju. Inicijalna kapisla nastanka suše je smanjena količina vlage u atmosferi pri određenoj temperaturi, koja dovodi do intenziviranja procesa razmene vode između površine litosfere i atmosfere u vidu isparavanja i transpiracije i zadržavanja vode u gasnoj fazi. Uzroci odstupanja koji dovode do inicijalnog odstupanja režima formiranja padavina u atmosferi u očekivanom periodu nisu još sasvim jasni, ali se pretpostavlja da su u sprezi sa površinskom temperaturom mora i okeana i količinom snežnog pokrivača, vazdušnim strujanjima koja transportuju vazduh sever-jug / jug-sever, zatim sezonskim varijacijama u količini sunčevog zračenja (srednje, umerene klimatske zone okarakterisane su velikom varijabilnošću dolaznog sunčevog zračenja tokom godine; izražen je sezonalitet, gde tokom leta su temperature visoke što pogoduje razvoju suše). Promene koje se tokom godine dešavaju na globalnim i srednjim razmerama utiču na režim cirkulacija u atmosferi i dinamično smenjuju suvo i vlažno vreme i premeštaju centre cirkulacije, odnosno vremenskih sistema visokog vazdušnog pritiska (anticikloni) koji su povezani sa suvim vremenom, i niskog vazdušnog pritiska koji pogoduju vlažnom vremenu. Za Severnu Ameriku i Evropu, jedan od najčešćih uzročnika suše su atmosferske blokade. Blokada je okarakterisana istrajnim stacionarnim anticiklonom (cirkulacija oko centra visokog pritiska), koji skreće sa putanje manje vremenske sisteme i ciklone koji donose vlažno vreme i kišu. Na globalnim i mezo razmerama možemo usvojiti da je suša inicirana kretanjima atmosferskih cirkulacija i vremenskim uslovima koji utiču na smanjenje količine padavina i/ili povećanje evapotranspiracije u regiji. Pored globalnih procesa koji je uslovljavaju suša je indukovana i brojnim lokalnim interakcijama atmosfere i zemljine površine, koje omogućavaju njen razvoj i održanje. Možemo uočiti da prilikom formiranja uslova koji pogoduju suši nastaje povratna sprega koja pogoduje ojačanju i održanju suše. Usled isušivanja površine litosfere dolazi do povećanja albeda i pojačava se njegov efekat na apsorpciju zračenja od strane površine biosfere i litosfere, čije se karakteristike menjaju u sušnim uslovima. Pojačano upijanje zračenja, pospešuje isparavanje i transpiraciju i utiče na dalja smanjenja vodenih površina i biljne mase što u krajnjoj instanci dovodi do kontinualnog smanjenja isparavanja i transpiracije nad sušom pogodnom površinom, povećanja nezasićenosti atmosfere i intenziviranja suše (Anderson et al., 2006).

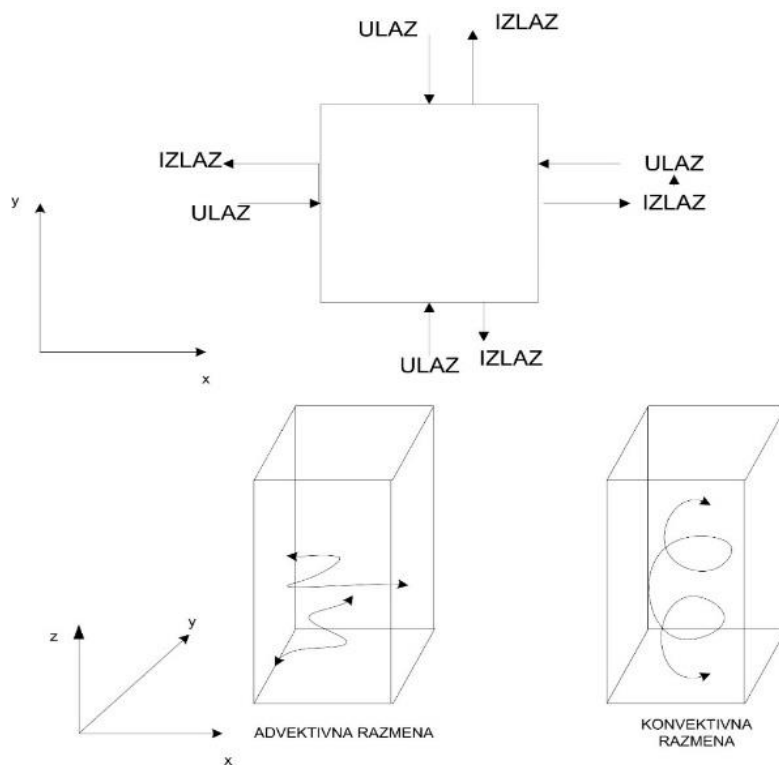
Iako uloga zemljišta nije primarna u nastanku suše ono utiče na njeno trajanje i intenzitet. Usled stanja zemljišta može doći do zadržavanja i izuzimanja vode iz hidrološkog ciklusa što utiče na režim formiranja padavina. Tip, pred stanje i uloga zemljišta kao i biljni pokrivač utiču na genezu suše i njen intenzitet. Nastala povratna

sprega utiče na zakašnjenja i kretanja kroz hidrološki ciklus. Da bi se sprega održala mora se poklopiti sa lokalnom kombinacijom promena u advektivnim kretanjima atmosfere i sposobnosti lokalnih sistema da recikliraju odnosno da isparenu vodu zadrže, transformišu i u vidu padavina vrata u istu regiju. Mnogobrojne povratne sprege koje pogoduju nastanku i razvoju suše ilustrativno su prikazane na slici 2.8.



Slika 2.8 Formiranje povratne sprege u toku suše

Definisani procesi još uvek nam obuhvataju preveliki domen za istraživanje. Da bismo dokučili zašto dolazi do deficita vode i nastanka suše u osmatranom kvadrantu, i smanjili domen istraživanja fokusirali smo se na procese koji utiču na vodnu bilansnu jednačinu kvadranta (slika 2.9).



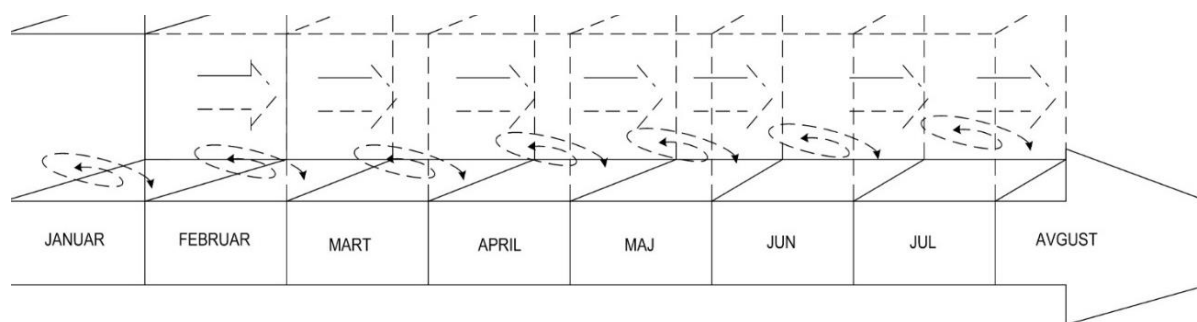
Slika 2.9 Razmatramo granične uslove, konvektivnu razmenu vode u kvadrantu i advektivno kretanje vode unutar kvadranta.

Svaka bilansna jednačina mora biti definisana za određeno Δt i određenu sredinu. Usvajamo za Δt jedan kalendarski mesec i definišaćemo kao jediničnu zapreminu ćeliju površine 200x200km i visine 10km. Potpuno određivanje domena podrazumeva i ograničavanje na fizičke procese iz Zemaljskih podsistema koji direktno utiču na količinu raspoložive vode u razmatranoj ćeliji (slika 2.10).

U idealnoj situaciji mogli bismo definisati sve članove bilansne jednačine na zadatoj rezoluciji. No u stvarnosti hidrometeorološki sistem je složen, a mi poznajemo samo letimično onaj njegov deo koji možemo opisati mernim ili opaženim veličinama. U cilju identifikacije tih fizičkih veličina i njihovih varijabli razmatramo procese koji diktiraju stanje i količinu vode u osmatranoj zapremini. Za zadata jediničnu zapreminu postoji neko očekivano stanje vodnih resursa, uključujući tu i raspoloživu vodu u atmosferi za formiranje padavina. Dinamika hidrološkog ciklusa određena je kompleksnim odnosom dolazne energije i potražnje za vodom, odnosno ostvarenja uslova za formiranje padavina. Najintenzivnija razmena je u atmosferi, zatim slede površinske vode (okeani, mora, reke, jezera, bare, močvare itd.) i kopno, biosfera i ljudska delatnost. Uslovljenost događaja u Zemaljskom sistemu interaktivnim procesima dovodi do toga da je atmosfera, kao transporter vodene pare, u najvećoj meri određuje pojavu suše u osmatranom kvadrantu. Vodena para u atmosferi usled promene pritiska i temperature menja svoje agregatno stanje, pri čemu se formiraju oblaci i padavine. Međutim, ne pređe sva kondenzovana i sublimirana vodena para u padavine. Veći procenat nastavi da putuje kroz prostranstvo atmosfere neprestano menjajući svoje stanje usled različitih uslova i odnosa temperature i pritiska, kao i usled interakcije sa sunčevim zračenjem i hemijskim primesama u vazduhu. Odnos temperature i pritiska diktira stabilnost i cirkulaciju atmosfere. Ne izlučivanje atmosferskih padavina u oblasti duži period vremena uzrokuje pad nivoa površinskih i podzemnih voda, odnosno nedostatak raspoložive vode za uobičajene procese unutar ćelije. Slika 2.11 ukazuje na povezanost

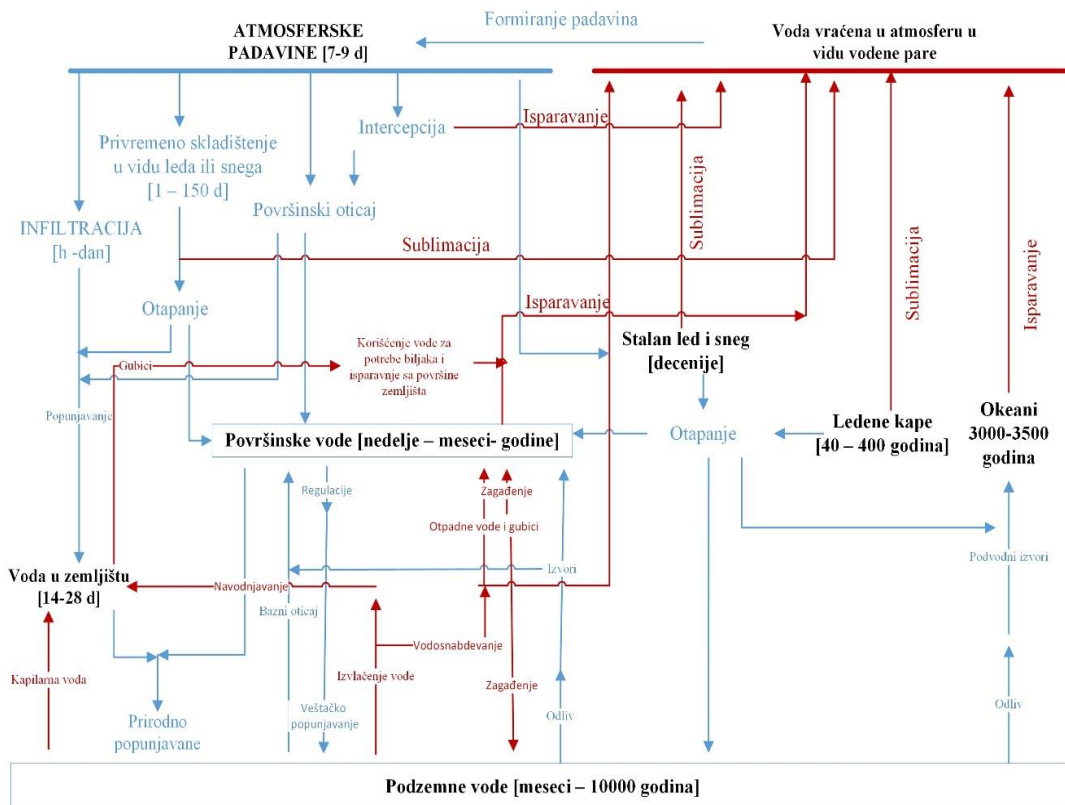
svih vodnih resursa u prostoru i vremenu. Sa slike možemo uočiti spregu pojačavanja efekta suše ukoliko iz sistema izostavimo atmosferske padavine. Vremenska razmera kreće se od konstantne (na primer, neprekidne povezanosti, proces isparavanja) do višegodišnjeg režima (proces obnavljanja podzemnih resursa). Možemo uočiti da neki „očekivani“ razmak između vlažnih perioda, odnosno perioda padavina je nedelju dana. Kako vreme zadržavanja vode u pojedinim delovima ciklusa varira i sa geografskom širinom i dužinom, odnosno na njega u velikom meri utiču reljef i blizina mora i okeana. U unutrašnjosti kontinenata, zbog vremena neophodnog da se vodena para transportuje unutar kontinenta ovaj period pauze može biti duži, i srazmerno udaljenošću od velikih vodenih površina, i obrnuto srazmerno udaljenošću od ekvatora ova pauza može rasti i do mesečnog ili više mesečnog nivoa. Usled varijacije dolaznog zračenja tokom sezona i menjanja intenziteta isparavanja sa velikih vodenih površina, kao i različite raspodele kopna i mora.

Slika 2.10 Sa celokupnog Zemaljskog sistema smanjujemo domen na jediničnu ćeliju koja se kreće



kroz vreme u vremenskom koraku od jednog kalendarskog meseca.

Prostorna i vremenska razmera suše u mnogome zavisi i od antropogenih dejstava unutar pogođene regije, odnosno od potražnje za vodom u momentu kad se uoči njena nestašica. Korišćenje prirodnih resursa za antropogene procese u velikoj meri remeti ciklus kruženja vode. Konzumiranje, zarobljavanje vode u procesima, premeštanje sa jednog kraja na drugi, stvaranje veštačkih jezera i akumulacija, remeti prirodne procese koji diktiraju formiranje vremena. Te stoga prostorno kretanje suše, nije uzrokovano samo hidrometeorološkim parametrima, već i antropogenim uticajima (urbanizacijom, kultivisanjem zemljišta, isušivanjem močvara i bara za potrebe saobraćajne infrastrukture, menjanje oblika i tipa obala, korišćenje podzemnih i površinskih resursa za vodosnabdevanje itd.). No ono što je veoma bitno za formiranje uslova pogodnih suši je vremenska skala, koja podrazumeva da je brzina gubitaka veća nego brzina nadopunjavanja. Proces isparavanja, površinskog oticanja, konzumiranje vode u antropogene svrhe, brži su i dinamičniji od procesa infiltracije i nadopunjavanja vode u zemljištu i podzemlju. Ovo je veoma bitno, jer se u velikom broju država, pa i kod nas vodosnabdevanje vrši iz podzemnih voda čime se ta voda dodaje u sistem bez da se adekvatna količina vraća u podzemlje. Velike količine vode se vekovima zarobljavaju i u proizvodnji, naročito odeće, građevinarstvu i ugrađuju se u materijale bez efekta povratka. Demografski uticaj ljudske populacije na vodne resurse je kompleksan i akumulativan. Da bi se ljudski faktor mogao proceniti prvo je neophodno poznavati sve faktore ljudskog delovanja koji utiču na kreiranje stanja pogodno suši.



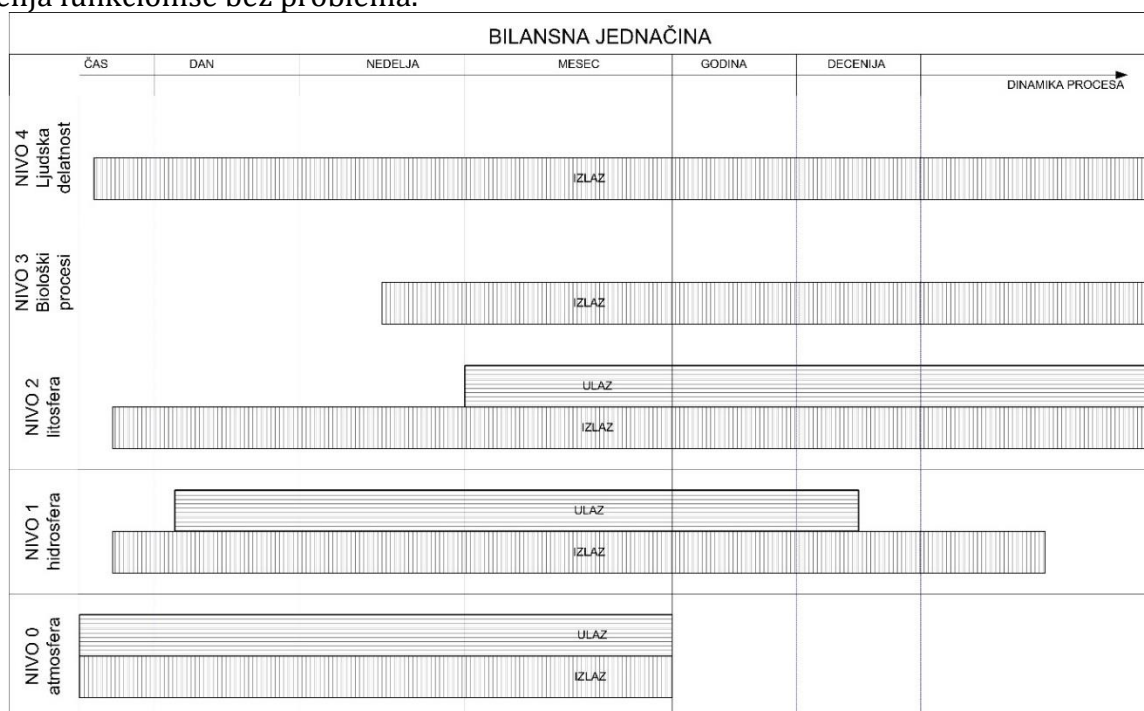
Slika 2.11 Prikaz raspodele vode i međusobne prostorne povezanost i vremenske razmere zadržavanja vode u određenim delovima ciklusa.

2.5.1 Bilansna jednačina

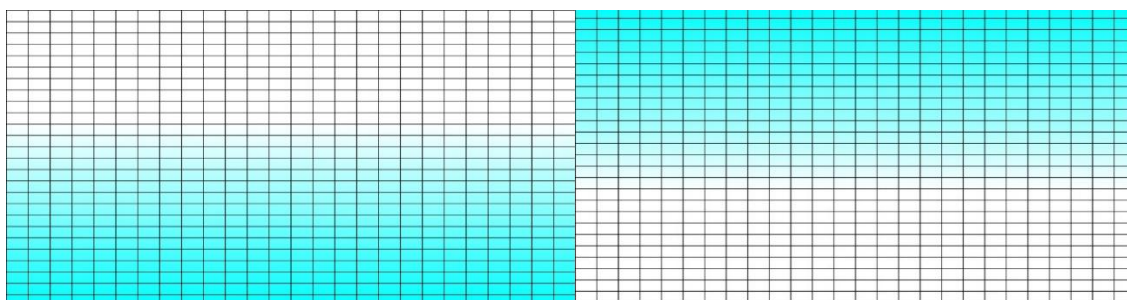
Da bismo bili što precizniji u definisanju veličina u bilansnoj jednačini koje dovoljno dobro i blisko opisuju opisane procese podelićemo bilansnu jednačinu na nivou po dinamici dešavanja procesa i primarnosti u generisanju, odnosno potrošnji vode iz ćelije (slika 2.12).

Ako zamislimo Zemaljski sistem kao ravan infinitesimalne visine podeljenu na konačan broj zapremina, svaka zapremina ima u sebi određenu količinu vode. Kada se za neko Δt ta voda transportuje kroz sistem u svakom trenutku vremena ne menja se ukupna količina vode u sistemu. Drugim rečima ukupna voda u Zemaljskom sistemu je uvek konstantna i sa promenom vremena jedinične zapremine promeniće zapreminu vode u sebi ne menjajući ukupan iznos. Za razliku od opšte bilansne jednačine Zemaljskog Sistema gde ulazi moraju biti jednaki izlazima i gde nema akumulacije usled zakona o konzervaciji mase (slika 2.13), kada je reč o ćelijama odnosno pod sistemskim jediničnim zapreminama, u njima može da postoji konstantna zapremina vode i može imati određeni stepen akumulirane promene koja može biti pozitivna ili negativna, odnosno postoji varijabilnost količine vode u kvadrantu u Δt . Sa određenom verovatnoćom svaka jedinična zapremina sistema će u jednom momentu doći u čisto čvrsto, tečno ili gasovito stanje. Presek jedinične zapremine može biti različite strukture. Verovatnoća zauzimanja jednog, drugog ili trećeg stanja zavisi od položaja jedinične ćelije u Zemaljskoj mreži (slika 2.14). Verovatnoća da se voda nađe u jednom od tri agregatna stanja, zavisi od uslova sredine, prvenstveno temperature i pritiska. Obe veličine prvenstveno zavise od količine dolazne Sunčeve energije, te u skladu sa tim na određenim geografskim širinama će biti različita zastupljenost stanja vode usled različite količine Sunčevog zračenja koje dospeva. Odnosno biće veća (manja) verovatnoća pronalazanja vode u onom stanju kome pogoduju (ne pogoduju) klimatski

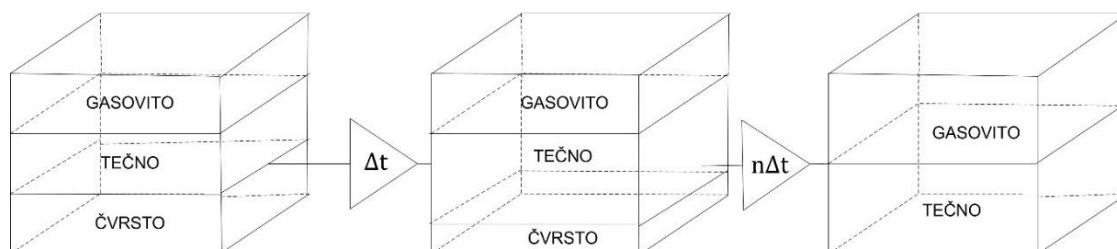
uslovi oblasti (slika 2.15). Za svaki red jediničnih ćelija važi druga raspodela verovatnoća zastupljenosti stanja u ćeliji. Od interesa za sušu su sva ona stanja ćelije gde je raspoloživa voda ispod potrebnog nivoa za procese koji se odvijaju u ćeliji. Potreban nivo u jediničnoj ćeliji određujemo na osnovu očekivanog ili normalnog nivoa na kom ćelija funkcioniše bez problema.



Slika 2.12 Nivoi jednačine zavise od dinamike procesa i vremenske rezolucije njihovog razvoja. NIVO 0 ATMOSFERA; NIVO 1 HIDROSFERA; NIVO 2 LITOSFERA; NIVO 3 BIOSFERA; NIVO 4 LJUDSKA DELATNOST; DINAMIKA PROCESA predstavlja vreme za koje možemo da uočimo promene u sistemu.



Slika 2.13 Prikaz promene količine vode u ćelijama Zemaljskog sistema u jedinici vremena.



Slika 2.14 Presek jedinične zapremine.

Normalni nivoi definisani su statistički na nivou od trideset godina. Postoje dve neodređenosti u ovakvom pristupu:

1. Da li je uzeti uzorak od 30 godina reprezentativan?
2. Da li su dobijeni normalni uslovi ujedno i ono što je dovoljno za predviđene procese u ćeliji?

Prvu neodređenost možemo prihvatiti sa obrazloženjem da je odabrani uzorak reprezentativan za zadatu zapreminu iz razloga što u sebi manifestuje sve promene koje su se manifestovale pre tog perioda i u toku perioda (klimatske, hidrološke, populacione itd.). Drugu neodređenost rešavamo time što jedinične ćelije koje pri normalnim uslovima nemaju dovoljno raspoložive vode zovemo aridnima i dalje ih osmatramo kao i sve ostale zapremine, samo što je za njih neki deficit normalan. Deficit se može javiti u svakoj zapremini, no nije svaki deficit suša. Stoga je neophodno odrediti pragove deficita od značaja za jedinične zapremine. Kad imamo definisanu zapreminu, prevaziđene neodređenosti i određene normalne nivoe, treba još da odredimo fizičke veličine i varijable koje ih određuju, od značaja za opisivanje procesa koji pogoduju suši. Krećemo od postavke bilansne jednačine ćelije po nivoima. Promenljiva nam je količina vode u tečnom stanju koja se u kvadrantu manifestuje kroz padavine i vodu u površinskim i podzemnim rezervoarima, zatim vodu u zemljištu (kapilarna voda i vodena para), voda na biljkama i u biljnoj masi. Voda u vidu vodene pare u atmosferi nije nam dostupna i korisna te u bilansnoj jednačini predstavlja gubitak. Uzimajući u obzir izneseno izraz za bilansnu jednačinu dobija sledeći oblik za kvadrant:

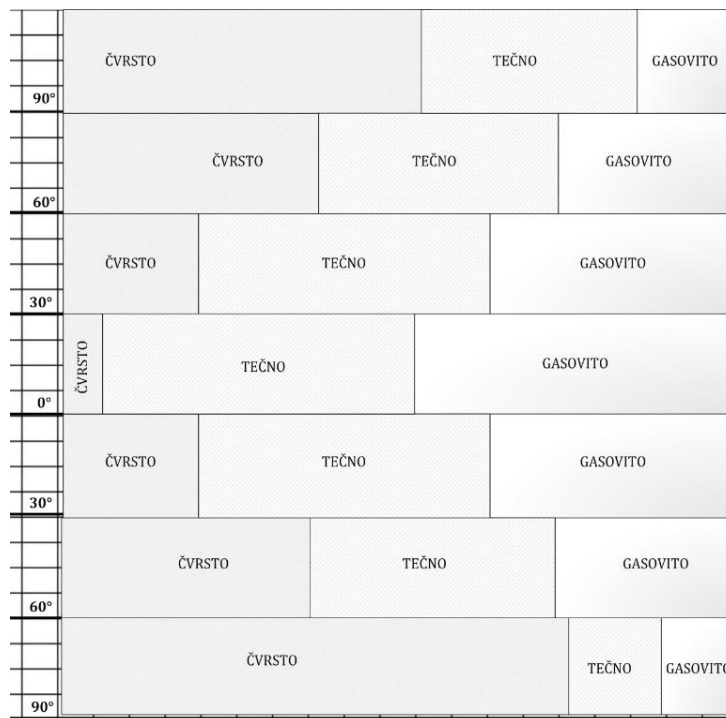
$$\text{nivo 0: } AV_0(t + \Delta t) = AV_0(t) + S \cdot \int_t^{t+\Delta t} (P(t) - ET(t))dt \quad (2.31)$$

$$\text{nivo 1: } AV_1(t + \Delta t) = AV_1(t) + \int_t^{t+\Delta t} (Q(t) - N_q)dt \quad (2.32)$$

$$\text{nivo 2: } AV_2(t + \Delta t) = AV_2(t) + S \cdot \int_t^{t+\Delta t} (H(t) - N_H)dt \quad (2.33)$$

$$\text{nivo 3: } (-)\text{Biološki procesi } BM(t + \Delta t) = BM(t) + S \cdot \int_t^{t+\Delta t} Rast(t)dt \quad (2.34)$$

$$\text{nivo 4: } (-)\text{Antropogeni uticaji potrošnja vode za vodosnabdevanje i industriju. (2.35)}$$



Slika 2.15 Verovatnoća da se voda nađe u jednom od tri agregatna stanja.

Na nivou 4 voda koja se koristi može predstavljati direktnu potrošnju kišnice, upotrebu površinskih voda i korišćenje podzemnih voda. Na nivou 4 nemamo drugih priliva osim što se deo upotrebljene vode vrati u vidu otpadnih voda. Stoga komponente 4. nivoa predstavljaju gubitak i imaju negativni predznak osim vode vraćene kroz preradu ili direktno ispuštanje otpadnih voda. Iako zapreminski otpadne vode doprinose ukupnoj količine vode njihov kvalitet degradira recipijent i indirektno utiče na smanjenje raspoložive vode. Ovaj član da bi se iskazao kao gubitak neophodno ga je transponovati u količinu vode koju moramo dodati recipijentu da bi zadržao prethodni status. Ta količina vode koju bi figurativno morali dodati predstavlja efektivni gubitak po životnu sredinu. Jednačina 4tog nivoa bi tada imala oblik:

$$\text{nivo 4: } (-)\text{Antropogeni uticaji } PAV_4(t + \Delta t) = \int_t^{t+\Delta t} (PAV_0(t) + PAV_1(t) + PAV_2(t) + PAV_3(t) + POV(t)) dt \quad (2.36)$$

Članovi bilansne jednačine redom predstavljaju: AV_k - akumuliranu vodu za k-ti nivo. P - visina padavina na meteorološkoj stanici, ET - evapotranspiracija na meteorološkoj stanici, Q - proticaj na profilu, N_q - normalni proticaj na profilu, H - visina podzemnih voda, S - osmotrena (pripadajuća) površina, BM - biljna masa, PAV_k - potrošnja akumulirane vode za ljudske potrebe po nivou i POV - potrebna voda za prečišćavanje otpadnih voda ili dovođenje resursa na nivo kvaliteta pre ispuštene otpadne vode.

Sušno stanje definišemo veličinom deficita vode u sistemu. Razmatrajući meteorologiju pretpostavljamo da vrednosti određenih varijabli vode ka određenom pre definisanom stanju. Na tome mi zasnivamo hipotezu da ako beležimo određenu vrednost deficita u sistemu će se razviti suša. Naravno da ovakve pretpostavke sa sobom nose neodređenosti, no mi pretpostavljamo da su određene karakteristike sistema konstante ili dovoljno bliske nekoj konstantnoj vrednosti (promena u vremenu je dovoljno mala da ih možemo zanemariti na određenim vremenskim skalama kao što su prirodne hidrogeološke promene i antropogene promene u razvoju - izgradnja puteva i saobraćajnica, korišćenje vode koja ostaje zarobljena u materijalima, odnosno količina vode koju čovek trajno izvlači iz hidrološkog ciklusa) i pratimo dinamiku onih varijabli koje možemo instrumentalno meriti kontinualno u vremenu (temperatura, padavine, vetar, pritisak, vlažnost zemljišta, vodostaj na rekama, potrošnja vode na vodosnabdevanje). Vrednosti varijabli koje su nam od značaja, ali njihova neodređenost je velika, kao što je npr količina vode koja je neophodna za proizvodnju biljne mase; u određenim vremenskim periodima možemo zanemariti (zima, kasna jesen) dok u proleće i leto možemo aproksimirati procentualnim učešćem biljnih vrsta i predviđenim potrebama za njihov rast. Realno mi ne baratamo istinskom komponentom biljne produkcije ali uzimamo u obzir njen značajan udeo. Takođe, vrednosti varijabli koje smo osmotrili imaju ograničen prostorni uticaj. Merenja vrednosti varijabli su tačkasta a mi ih ekstrapoliramo na širi prostor. To znači da postoji nesigurnost i neodređenost u vrednosti varijabli koje mi uzimamo apriori. Drugim rečima, mi pretpostavljamo da je kiša pala na stanici Rimski Šančevi u Novom Sadu homogeno raspoređena na celu površinu opštine Novi Sad. Takođe pretpostavljamo da je polje temperature homogeno, iako postoje u prirodi znatna odstupanja u temperaturi centra grada i periferije. Veličinu površine nam određuje rezolucija klimatskog modela; u slučaju prognoze; odnosno pripadajuća površina stanicu, u slučaju korišćenja merenih podataka za proračun indikatora suše. Za rano upozorenje nije neophodno da u potpunosti savladamo dinamiku bilansne jednačine na svim nivoima, već da odredimo prag kada 0 ti nivo ulazi u deficit koji indukuje siguran razvoj/pojavu suše. Identifikovanje uticaja

deficita na ostale nivoe upotpunjuje proces praćenja prostorno-vremenskog razvoja suše.

Varijable koje osmatramo i merimo i efektivno definišu vremensko stanje koje pogoduje suši na nultom nivou su:

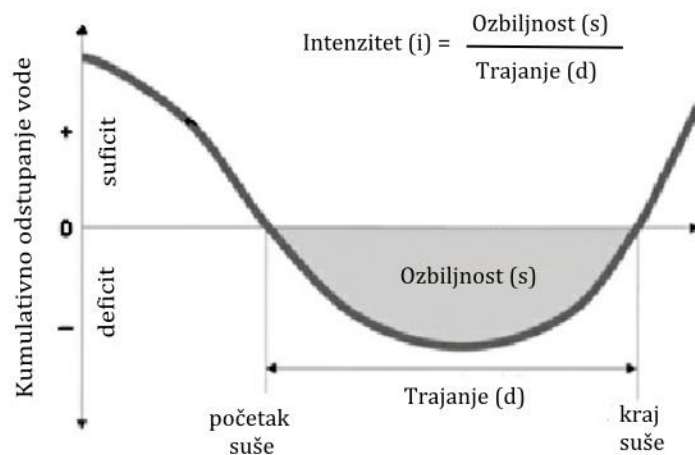
1. *Padavine*: predstavljaju osnovni ulaz ili dobitak u ćeliji i mogu se manifestovati u visini pale kiše po jedinici površine u jedinici vremena. Najčešće se odnose na pojavu kiše i varijable koje je određuju su: visina (mm), trajanje (h), intenzitet (mm/h). Drugi vid padavina koje pratimo su led i sneg, gde led određujemo preko veličine/ težine ledene kugle koja je pala i proračunom možemo to pretvoriti u zapreminu pale vode, uz pretpostavku da se sav led otopi i pređe u tečno stanje, bez gubitaka u vidu isparavanja i sublimaciju u tom periodu vremena. Led nema neki značajni uticaj na ukupni bilans kao padavina, međutim topljenje lednika i leda koji je nastao u toku zime imaju značajan uticaj u hidrološkom režimu. Njihov uticaj je mnogo veći na primarnom i sekundarnom nivou bilansne jednačine jer uticaju na površinski, bazni i direktni oticaj površinskih voda i na dopunjavanje podzemnih izdani. Treći vid padavina koji značajno može da utiče na hidrološki režim i na pojavu suše su snežne padavine. Snežne padavine, kao i led, imaju odloženo dejstvo na hidrološki budžet u ćeliji, i što se sporije otapaju to više vode ostaje unutar ćelije usled procesa infiltracije i punjenja akumulacija (jezera, bara, močvara itd.) i podzemnih izdani. Brže otapanje snežnih padavina ili nedostatak snežnih padavina pogoduju nastanku suše u kasnijim periodima vremena u odnosu kad su se padavine desile ili se otapaju.

2. *Evapotranspiracija*: složena veličina koja je indukovana istovremenim delovanjem više faktora i promenljivih (merenih varijabli). Sama evapotranspiracija se može indirektno meriti ili pak proračunati preko varijabli koje je uzrokuju kao što su vetar, temperatura i vlažnost vazduha.

Celu bilansnu jednačinu možemo aproksimovati INDIKATOROM STANJA.

Indikatori stanja definišu da li je sistem u normalni, suficitu ili deficitu i koliko su uočena odstupanja ozbiljna. Na osnovu indikatora stanja možemo zaključiti da li nam je sistem u opasnosti od suše ili poplave. Indikatori stanja pogodni su za uočavanje oba hidrološka hazarda. Zbog vremenske rezolucije geneze hazarda indikatori stanja se u praksi najviše koriste i definišu kao indikatori suše. Indikatori suše objedinjuju u sebi klimatološke i hidrološke parametre koji su relevantni za definisanje suše (temperatura, padavine, vetar, Sunčevo zračenje, evapotranspiracija). U velikom broju slučajeva neophodno je baratati dugim nizovima merenih podataka da bi se moglo predvideti buduće stanje vremena. Međutim terenska merenja su često oskudna i vremenski nizovi su nepotpuni. Usled toga generisan je minimalistički pristup razvoja indikatora koji koriste minimalan broj parametara.

Indikatori suše, u najvećem broju slučajeva, ne sadrže informaciju o stvarnoj količini deficita, volumenu vode koja nedostaje u sistemu, ali klasifikuju deficit i prate razvoj suše kroz nivoe. Preciznost i sveobuhvatnost indikatora ogleda se u njegovoj sposobnosti da zastupa određen broj nivoa bilansne jednačine. Idealni indikator suše trebalo bi da je u stanju da opiše sve fizičke karakteristike suše, kao što su: njen intenzitet, odnosno magnituda, ozbiljnost, trajanje i prostorna rasprostranjenost, verovatnoća ponovne pojave (povratni period), kao i vreme početka i kraja suše (slika 2.16) (Yevjevich, 1967; Sam Lake, 2011).



Slika 2.16 Karakteristike suše koje moraju biti obuhvaćene indeksom suše.

Intenzitet suše se odnosi na prosečan deficit (odnos ozbiljnosti i trajanja suše) i mera je deficita u očekivanim padavinama odnosno proticaju tokom suše. Fizički deficit oticaja na profilu govori nam o kumulativnom deficitu padavina uzvodno od profila, a ne o samom deficitu padavina na profilu, može se desiti kašnjenje deficita padavina u odnosu na deficit proticaja. Ukoliko na profilima nemamo deficite u padavinama, ali nam se javljaju deficiti u proticajima, za otvorene rečne tokove gde stepen evapotranspiracije ne može uzrokovati uočeni deficit, prostorno to nam znači da je suša nastala uzvodno i da se širi hidrološki na nizvodne profile. U tom slučaju uzročnik, odnosno početak suše nije na samom osmatranom profilu(ima) već je rezultujuća suša samo prostorno širenje suše većeg intenziteta sa uzvodnih profila. Ukoliko prvo na slivu kontinualno po osmatranim profilima uočavamo deficite padavina, a deficiti oticaja su uočljivi tek na najnižem profilu, prostorno to nam znači da suša nastaje u osmatranoj regiji, a uzrokovana je kontinualnim deficitom padavina koje utiču na formiranje oticaja. Stoga je neophodno praćenje obe promenljive istovremeno na celom slivu da bi smo mogli ispratiti prostorno mesto nastanka i intenzitet suše. Indikatori suše ukazuju na njen intenzitet u odnosu na pragove vlažnosti sistema. Indikatori suše imaju uniformnu podelu određivanja intenziteta suše, ne kategorišući je ni u jedan tip. (Tipizacija suše bitna je samo u segmentu sagledavanja njenih posledica i uočavanja pogođenih sektora, i više je vezana za menadžment i politiku odnosno socijalno delovanje nego za samu fiziku procesa razvoja suše.)

Trajanje suše odnosi se na dužinu vremena između početka i kraja suše, koji se određuju u odnosu na pragove. Trajanje je strogo u korelaciji sa ozbiljnošću i u zavisnosti od indikatora potrebno je 2-3 meseca da bi se suša ustanovila.

Ozbiljnost se odnosi na kumulativni deficit padavina ili proticaja.

Prostorna rasprostranjenost se odnosi na površinu obuhvaćeni sušom i njenim uticajem.

Tok razvoja suše zavisi od polaznog stanja sistema. Primetno je da ukoliko sistem nije bio pod stresom registrovaćemo blagu sušu u slučaju nedostatka padavina, no ako padavine koje dođu ne nadoknade gubitak, isti uslovi u sledećem koraku dovode do povećanja intenziteta suše jer se deficit akumulira. Pored obuhvatanja svih karakteristika suše, za indikator je neophodne da uzima u obzir i klimatske promene, koje se dešavaju paralelno sa sušom. U tu svrhu neophodno je da iskazuju sezonalitet i trend. Sezonalitet i trend su pod višestrukim uticajem, te između ostalog i klimatskih promena. Klimatske promene utiču i na periodičnost suše. Periodičnost suše i

sezonalitet mogu i ne moraju biti u korelaciji. Sezonski suša se može javiti u svakom godišnjem dobu, mada su najčešće letnje suše. Periodičnost suše vezana je za razmak između dve suše i trajanje svake pojedinačno. Periodičnost ne pravi razliku između suša po sezonama, dok se sezonski suše veoma razlikuju (zimski i letnja suša imaju različite korene i tok). Suša može biti periodična sa promenljivim intenzitetom. U harmoničnom sistemu sezonalitet i periodičnost se poklapaju. Pri određivanju fizičkih karakteristika moramo napraviti razliku između dva načina pojave i razvoja suše. Suša može da se razvija sezonski i nad sezonski. Korelacija između ova dva tipa suše ne mora postojati. Izički to znači da na kraćim vremenskim intervalima možemo imati sezonsko pojavljivanje suše (deficite padavina ili proticaja), periodičnog karaktera, a da nam se dugoročno gledano ne remeti sistem. Drugim rečima sistem se posle svake sezone vraća u normalu i nadoknađuje gubitke. Kod razvoja nad sezonske suše, ne moraju se uopšte javiti sušni periodi velikog intenziteta unutar sezona, no sezonski možemo uočiti opadanje maksimuma, što nakon nekoliko sezona može rezultirati sušom u toku vodne sezone. Periodičnost suše vezana je za razmak između dve suše i trajanje svake pojedinačno. Periodičnost ne pravi razliku između suša po sezonama, dok se sezonski suše veoma razlikuju (zimski i letnja suša imaju različite korene i tok). Suša može biti periodična sa promenljivim intenzitetom. U harmoničnom sistemu sezonalitet i periodičnost se poklapaju. **Da bi se zadovoljio zahtev da indikator fizički predstavlja sušu neophodno je da je u skladu sa pragovima suše za izabrane parametre suše.** Indeksi suše su pogodan alat za otkrivanje, praćenje i evaluaciju sušnih događaja. Indikatori suše asimiliraju u svoje proračune hiljade bita podataka o padavinama, snežnom prekrivaču, rečnom proticaju i drugim pokazateljima potrošnje vode u razumljivu veliku sliku. Vrednost indeksa suše je tipično izražena brojem, što je mnogo korisnije od sirovih podataka pri procesu donošenja odluka. Veliki broj planera vodosnabdevanja nalazi za korisno da konsultuje jedan ili dva indeksa pre donošenja odluke. **Indikator suše mora biti pogodan pored dijagnostikovanja i za prognozu suše.** Prognoza suše je kritična komponenta u kontroli rizika, pripremljenosti na sušu i redukciji posledica suše. Jedan od glavnih problema i nedostataka u pokušajima redukcije posledica suše je nemogućnost tačnog predviđanja uslova suše mesecima ili godinama unapred. Problem se javlja usled velike prostorno vremenske varijabilnosti i međusobne uslovljenosti hidro - meteoroloških promenljivih povezanih sa sve većim intenziviranjem hidrološkog ciklusa. Osobine koje indikator mora da poseduje za prognozu su: osetljivost na promenu režima padavina i dugoročna tačnost, odnosno tačnost duža od vremenskog trajanja vremenskih sistema koji utiču na formiranje vremenskih uslova.

2.5.2 IPCC scenariji

Prema izveštaju Međuvladinog panela o klimatskim promenama (IPCC, 2013) klimatske promene su vidne i osetljive i rezultuju povećanom učestalošću ekstremnih vremenskih događaja (IPCC, 2013). Kako projekcije klimatskih promena u mnogome zavise od budućih ljudskih aktivnosti različiti scenariji testirani su na klimatskim modelima. Postoji veliki broj različitih scenarija, gde svaki predpostavlja različite ljudske aktivnosti i emisiju gasova staklene baste. Za svaki scenario napravljene su predpostavke o budućem tehnološkom razvoju, kao i ekonomskom i socijalnom napretku društva. Većina scenarija predviđa povećanje upotrebe fosilnih goriva, no neke verzije B1 scenarija predviđaju smanjene količine upotrebljenih fosilnih goriva do 2100 u odnosu na 1990. (IPCC SRES, 2000). Svi scenariji organizovani su u "familije". Scenariji odražavaju buduću koncentraciju CO₂ u atmosferi

Za potrebe istraživanja i utvrđivanja uticaja klimatskih promena na učestalost pojave suše u Vojvodini odabrane su tri familije scenarija po IPCC-ju (IPCC Working Group III, 2000).

A1. Familija scenarija A1 opisuje budući svet kao svet vrlo brzog ekonomskog razvoja, sa globalnim stanovništvom koje dostiže vrhunac polovinom veka a posle toga opada, i sa brzim uvođenjem novih i efikasnijih tehnologija. Glavne istaknute teme su konvergencija između regiona, izgradnja kapaciteta i povećane kulturne i socijalne interakcije, sa suštinskim smanjenjem regionalnih razlika u prihodu po stanovniku. Familija scenarija A1 razvija se u tri grupe koje opisuju alternativne pravce tehnološke promene u energetsom sistemu. Tri grupe iz A1 razlikuju se po svojim tehnološkim karakteristikama: intenzivno korišćenje fosilnih goriva (A1F1), ne-fosilnim izvorima energije (A1T) ili izbalansirano korišćenju svih izvora (A1B) (gde se izbalansirano definiše tako što se ne bazira ni na jednom određenom izvoru, već na pretpostavci da se slično poboljšanje primenjuje na sve isporuke energije i krajnje korišćenje tehnologija).

A2. Familija scenarija A2 opisuje veoma heterogen svet. Suštinska tema je samopouzdanje i očuvanje lokalnih identiteta. Modeli nataliteta kroz regione veoma sporo konvergiraju što rezultira u stalno rastućoj populaciji. Ekonomski razvoj je primarno regionalno orijentisan a ekonomski rast i tehnološka promena po stanovniku menjaju se fragmentiranije i sporije nego kod drugih familija scenarija.

B1. Familija scenarija B1 opisuje konvergentan svet sa istom globalnom populacijom koja dostiže vrhunac sredinom veka a zatim opada, kao i kod familije A1, ali sa brзом promenom u ekonomskoj strukturi u pravcu uslužne i informacione ekonomije, uz smanjenje materijalnog intenziteta i uz uvođenje čistih i efikasnih tehnologija sa aspekta resursa. Naglasak je na globalnim rešenjima za ekonomsku, socijalnu i ekološku održivost, uključujući poboljšanu jednakost, ali bez dodatnih klimatskih inicijativa.

Po jedan ilustrativni scenario izabran je za svaki od tri od ukupno šest scenarija A1B, A2 i B1. Svaki od njih treba smatrati podjednakim. SRES scenariji ne uključuju dodatne klimatske inicijative, što znači da ni jedan scenario nije uključen koji eksplicitno pretpostavlja implementaciju Okvirne konvencije Ujedinjenih nacija o promeni klime (UNFCCC) ili emisione ciljeve Kjoto Protokola.

Simulacije odabranih scenarija urađene su u GCM ECHAM5 klimatološkom modelu. ECHAM5 GCM numerički klimatološki model zasniva se na korišćenju fizičkih jednačina koje realno opisuju vezu između varijabli.

2.5.3 Metoda generisanja podataka pomoću generalnog atmosferskog cirkulacionog modela ECHAM5

Za prognozu suše neophodni su prvenstveno provereni ulazni podaci. Korišćenjem indikatora svodimo broj ulaznih podataka na minimum. No indikatori sami po sebi nisu prognostički te je jedan od načina prognoze korišćenje podataka koji su izlaz iz numeričkih prognostičkih modela. Peta generacija atmosferskog cirkulacionog modela (ECHAM5) razvijena je na Max Planck Institutu za Meteorologiju (MPIM). ECHAM5 je jedna od najnovijih verzija u seriji ECHAM modela baziranih na spektralnom modelu vremenske prognoze evropskog centra za srednjoročnu vremensku prognozu (European Centre for Medium Range Weather Forecasts) (Simmons et al., 1989). Detaljan opis modela može se naći u izveštaju br. 349, objavljenom od strane Max Plank instituta (Roeckner et al., 2003). Model je korišten za generisanje podataka o padavinama na osnovu International Panel for Climate Change - IPCC scenarija. Ovako generisani podaci omogućavaju proračun indikatora suše i daju njihove prognostičke vrednosti.

2.6 Modelovanje suše

2.6.1 Modelovanje suše po analogiji sa procesom sušenja vazduhom

Najbliži fizički proces suši je proces konvektivnog sušenja gde je nosilac potrebne energije za isparavanje vlage istovremeno gasoviti medijum koji struji oko podloge i prihvata vlagu. U slučaju suše „agens“ za sušenje je nezasićeni vazduh. Suša može da traje dugoročno ili kratkoročno. Kada se vlaga uklanja iz nekog materijala, odnosno sa neke površine, dovođenjem toplote, koje je praćeno isparavanjem vode, reč je o termičkom sušenju. Ako se kao nosilac potrebne energije za isparavanje vlage i istovremeno medijum koji prihvata vlagu, koristi nezasićen vazduh koji struji oko ili nad površinom materijala, za takvo termičko sušenje se koristi termin konvektivno sušenje (Valent, 2001; Paunović, 2010). Fizički ovaj proces je najbliži opisu procesa koji se dešavaju u sušnim uslovima. U jediničnoj ćeliji dolazi do povećanja temperature i dolaska nesaturisanog vazduha što pospešuje isparavanje. Istovremeno nemamo nadoknađivanja deficita, odnosno u prirodi dolazi do poremećaja režima padavina i nastanka deficita u padavinama. U prvom momentu isparavanje ne mora ni biti ništa veće od normalnog, sam deficit u padavinama indukuje razvoj suši pogodnih uslova. Povećani deficit vlage u zapremini, intenzivira dalje isparavanje, koje je još podržano raspoloživom većom količinom sunčevog zračenja (usled smanjene oblačnosti zbog nedostatka padavina), kretanjem i konvektivnim mešanjem vazduha (vazduh uz površinu se brže zagreva i pošto je lakši on ide gore, dok gornji, vlagom nezasićen vazduh se spušta bliže površini – 90% vlage u vazduhu nalazi se u prvih 6 km atmosfere, dovođenje nezasićenog vazduha bliže površine dodatno se pospešuje isparavanje. Gledano bilansno usled deficita padavina i pojačanog isparavanja sa svih površina i materijala – evapotranspiracije jednačina 2.31

$$\text{nivo 0: } AV_0(t + \Delta t) = AV_0(t) + S \cdot \int_t^{t+\Delta t} (P(t) - ET(t))dt \quad (2.37)$$

ulazi u negativan bilans. Drugim rečima ukoliko razmatramo kao sistem prostor u kome je raspoloživa i dostupna tečna voda u tom momentu je izlaz iz sistema u vidu evapotranspiracije veći od ulaza u sistem u vidu padavina. Pretpostavljamo na ovom nivou da sistem ne dobija veće količine vode iz tranzitnih površinskih vodnih resursa (nema dovođenja dodatne količine vode sistemu). Održanje suši pogodnih uslova praćeno je advektivnim kretanjem vazduha, odnosno odnošenjem vlagom zasićenog vazduha i dovođenje novog nezasićenog vazduha. U prirodnim uslovima, to znači da postoji advektivno kretanje (vetar) koji razmenjuje vazduh i odnosi van zapremine vlagu, ili u drugom slučaju imamo pozitivnu promenu polja pritiska i dolazak anticiklonskog polja, koje pospešuje dovođenje nezasićenog vazduha sa visine i iznošenje vlage iz zapremine. Kako sušni uslovi deluju na kontaktni materijal, odnosno podlogu, oni utiču na ravnotežni sadržaj vlage u podlozi i materijalu (trava, drveće, usevi, zemljište, urbana sredina). U prirodnim uslovima razlikujemo glavne grupe „materijala“: **1) Prva grupa** su otvoreni vodeni tokovi, zatim jezera, bare, močvare, gde je glavna dodirna površina sa nezasićenim vazduhom, vode, odnosno maseni udeo vlage u materijalu je 100%. Ova grupa bi se mogla podeliti na podgrupe u zavisnosti od sadržaja sedimenata u vodi. Odnosno močvare i bare mogu da se razmatraju kao „sokovi“ odnosno u njima postoji značajn udeo suve mase i nije cela zapremina vodnog tela voda koja može da se ispari nego je taj procenat manji od 100%. **2) Druga grupa** su zemljišta, gde nam je bitno stanje tla odnosno njegova saturisanost u momentu nastanka sušnih uslova. Za ovu grupu „materijala“ možemo pratiti standardne kategorije i njihove karakteristike. U drugu grupu ulazi samo ona površina zemljišta

koja nije pokrivena vegetacijom. **3) Treća grupa** obuhvata biljke i kao živa bića. Dva su generalna načina definisanja sadržaja vlage u nekom materijalu. Prvi je maseni udeo vlage i suve materije, tj. količina vlage (kg) na 1kg suve materije:

$$X = \frac{m_v}{m_s} \quad (2.38)$$

gde su m_v i m_s masa prisutne vlage u materijalu i odgovarajuća masa suve materije, respektivno. X predstavlja vlažnost u odnosu na suhu osnovu (engl. dry basis moisture content). (*Ovaj pristup može biti prirodno primenjen na drugu i treću grupu „materijala“, na prvu samo u zasebnim slučajevima, jer je u većini slučajeva suva masa zanemarljiva*). Drugi je maseni udeo vlage u vlažnom materijalu, tj. količina vlage (kg) na 1kg materijala:

$$x = \frac{m_v}{m_s + m_v} \quad (0 \leq x < 1) \quad (2.39)$$

i naziva se vlažnost u odnosu na vlažnu osnovu (engl. wet basis moisture content).

2.6.2 Tradicionalni pristup modelovanja preko indikatora suše

Indikatori se najčešće razlikuju po meteorološkim parametrima čiji odnos uzimaju u obzir ili pak prema matematičkoj metodi obrade vremenskih serija meteoroloških parametara. Pri izboru indikatora neophodno je da je indikator relevantan za oblast u kojoj se osmatra suša. Nisu svi indikatori suše u mogućnosti da pokriju širok prostor, ili da budu korišćeni na različitim lokacijama nezavisno od klimatskih uslova, usled njihovih ograničenja i male sposobnosti da se adaptiraju različitim klimatskim karakteristikama. Pored toga, osetljivost indikatora suše je od velikog značaja ukoliko želimo da pratimo ili prognoziramo sušu. Od preko 75 poznatih indikatora suše za studiju slučaja odabrani su Standardized Precipitation Index (SPI) i Effective Drought Index (EDI) indikatori suše zbog svoje rasprostranjenosti korišćenja u svetu (Byun et al., 2010; Cancelliere et al., 2007; World Meteorological Organization, 2012). Oba indikatora odgovaraju minimalističkom pristupu upotrebe varijabli u svom proračunu. SPI indeks ima niz vremenskih serija u zavisnosti od harmonizacije podataka na 1, 3, 6, 9, 12 ili 24 meseca. U disertaciji su analizirana kretanja indikatora SPI3, SPI12 i SPI24 i njegovog agregata SPEI.

Standardized Precipitation Index (SPI)

SPI (Standardized Precipitation Index) razvijen je od strane (McKee, 1993) da kvantifikuje deficit padavina za različite vremenske periode. Osmišljen je kao indikator suše, koji prepoznaje važnost vremenskog perioda u analizi raspoloživosti vode i upotrebe vodnih resursa. Priroda SPI indeksa omogućava određivanje (utvrđivanje) učestalosti pojave suša (odnosno vreme javljanja) ili anomalije/odstupanja u pojavi kišnih (vlažnih) perioda za određeni vremenski period, za bilo koju lokaciju na zemlji, za koju postoje podaci o padavinama. Matematička osnova SPI indeksa zasniva se na činjenici da tipična gustina raspodele verovatnoće padavina za dati vremenski period nije simetrična, već više naginje većim vrednostima padavina (naginje udesno). Više od pola vremenskog perioda, ukupne padavine su ispod proseka. Sa produženjem vremenskog perioda osmatranja (24 meseca, ili 48 meseci), Katz i Glantz (1984) su otkrili da se raspodela gustine padavina sve više približava Gausovoj raspodeli. Thom (Thom, 1966) je ustanovio da gama raspodela veoma dobro odgovara raspodeli padavina za duže vremenske periode. Gama raspodela se definiše pomoću funkcije raspodele verovatnoće gustine raspodele:

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad (2.40)$$

Parametri α i β , gama funkcije verovatnoće gustine raspodele, su izračunati za svaki vremenski period od tri i šest meseci. Thom (1966) je koristio metodu maksimalne verodostojnosti za određivanje parametara α i β :

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

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \quad (2.41)$$

gde je:

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad (2.42)$$

a n je broj osmotrenih padavina. Rezultujući parametri se koriste za dalje izračunavanje kumulativne verovatnoće događaja (jedne osmotrene kiše) za dati mesec i vremenski period za sliv četvrtog reda. Kumulativna verovatnoća data je jednačinom:

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx \quad (2.43)$$

ako uvedemo smenu $t=x/\beta$ jednačina postaje nepotpuna gama funkcija:

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^x t^{\alpha-1} e^{-t} dt \quad (2.44)$$

Kako gama funkcija nije definisana za vrednosti $x=0$, a raspodela padavina sadrži 0 vrednosti, kumulativna verovatnoća postaje:

$$H(x) = q + (1 - q)G(x) \quad (2.45)$$

gde je q verovatnoća za vrednost 0. Ukoliko je m broj 0 vrednosti u vremenskoj seriji, Thom (1966) procenjuje q preko odnosa m/n . Kumulativna verovatnoća, $H(x)$, se transformiše u standardnu normalnu slučajnu promenljivu Z , srednje vrednosti 0 i varijanse 1. Z predstavlja vrednosti SPI indeksa. Abramovič i Stegun (1964) predložili su jednostavan način za izračunavanje SPI indeksa korišćenjem aproksimacija. Transformacijom kumulativne verovatnoće u standardnu normalnu slučajnu promenljivu Z dobija se:

$$Z = SPI = - \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad \text{za } 0 < H(x) \leq 0.5$$

$$Z = SPI = + \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad \text{za } 0.5 < H(x) \leq 1.0 \quad (2.46)$$

Vrednosti konstanti i promenljive t određene sledećom matematičkom analizom (Abramowitz et al., 1964):

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

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

$$\begin{aligned} c_0 &= 2,515517 \\ c_1 &= 0,802853 \\ c_2 &= 0,010328 \\ d_1 &= 1,432788 \\ d_2 &= 0,189269 \\ d_3 &= 0,001308 \end{aligned} \quad (2.47)$$

SPI indeks predstavlja broj standardnih devijacija iznad ili ispod srednje vrednosti. Tokom osnovnog perioda za koji su procenjeni gama parametri, SPI će imati standardnu normalnu raspodelu sa očekivanom vrednošću 0 i varijansom 1. Anomalije, odnosno odstupanja moraju biti normalizovana i u vremenu i u prostoru ukoliko želimo da dobijemo relevantnu procenu suše. SPI postiže oboje. Bez obzira na lokaciju i dužinu vremenskog perioda SPI predstavlja kumulativnu verovatnoću u odnosu na osnovni period za koji su proračunati gama parametri. Od 1993 godine, izvršeno je više klasifikacija vlažnih i sušnih perioda. Po McKee-ju (McKee et al., 1993), suša u vremenskom periodu x se definiše kao period u kome je vrednost SPI kontinualno negativna i SPI uzima vrednost -1 i manje. Suša počinje kada vrednost SPI prvi put padne ispod nule i završava se kada vrednosti SPI postanu pozitivne. Kategorije su zasnovane na 5%, 10% i 21% verovatnoće pojave suše određenog intenziteta. Ove kategorije su i osnova Američkih mesečnih nacionalnih SPI mapa, tabela 2.5:

Tabela 2.5 Vrednosti SPI indeksa po kategorijama suše

Kategorija	vrednosti SPI
Ekstremno vlažno	>+2
Veoma vlažno	od 1,50 do 1,99
Umereno vlažno	od 1,00 do 1,49
Normalno	od 0,99 do -0,99
Umereno suvo	od -1,0 do -1,49
Jaka suša	od -1,5 do -1,99
Ekstremna suša	< -2

U svom radu (Gocić and Trajković, 2014), ističu značaj uvođenja uticaja evapotranspiracije u proračun indikatora suše na primeru WSVI. SPEI (Vicente-Serrano et al, 2010) na mesto padavina u proračunu koristi razliku između padavina i evapotranspiracije. Matematika proračuna SPEI ista je kao i SPI. Uvođenje evapotranspiracije predstavljalo je unapređenje SPI indeksa.

Effective Drought Index (EDI) i Available water resources index (AWRI)

Byun i Wilhite (1999) uveli su novi koncept u proračun indikatora suše u cilju rešavanja i umanjavanja nedostataka do tada poznatih indeksa i poboljšanja monitoringa suše. Effective Drought Index (EDI) je indeks suše pomoću kojeg se može tačnije odrediti početak i kraj klimatološke suše. EDI je funkcija padavina potrebnih da se sistem vrati u normalu odnosno da se oporavi od akumuliranog deficita od početka suše. Za razliku od ostalih indikatora, EDI se u svojoj originalnoj formi računa na osnovu dnevnih vrednosti padavina. Padavine koje se koriste pri proračunu EDI indeksa predstavljaju odstupanje dnevnih efektivnih padavina od srednje vrednosti. EDI se može izračunati i pomoću mesečnih i na osnovu dnevnih meteoroloških podataka što mu omogućava širu primenu. EDI je prikladan za korišćenje jer je nezavisan od klimatskih karakteristika lokacije i kao takav može se porediti po svim geografskim širinama i dužinama i koristiti kao globalni indikator. Kao i kod SPI vrednosti EDI indeksa su standardizovane, što omogućava poređenje intenziteta suše na različitim lokacijama bez obzira na klimatske razlike među njima. Skala EDI indeksa je ista kao i kod SPI indeksa (tabela 2.6), stoga su ova dva indikatora pogodna za međusobno poređenje (Smakhtin and Hughes, 2004). Prvi korak u proračunu EDI indeksa je proračun efektivnih padavina (EP). Efektivne padavine se dobijaju preko ukupnih padavina kada se od njih odbije gubitak tokom

vremena, koji može da bude posledica infiltracije u zemljište, zadržavanja na vegetaciji (intercepcije) i stvarnog isparavanja. Usled nedostatka terenskih merenja obično je neophodno primeniti neki od matematičkih modela da bi se izračunali ovi gubici. Byun i Wilhite (Byun and Wilhite, 1999) su ustanovili da proračun EP najbolje opisuje formula:

$$EP_i = \sum_{n=1}^i [(\sum_{m=1}^n P_m)/n] \quad (2.48)$$

jer je oticaj najveći neposredno posle kiše.

Jednačina (2.48) je izvedena iz koncepta da se padavine od m dana pre osmatranog dana, dodaju ukupnoj vrednosti vodnih resursa kao srednja vrednost za period od m dana. Drugim rečima ukoliko osmatramo period od mesec dana, vrednost svakog meseca biće jednaka sumi dnevnih padavina (P_m) za taj mesec podeljenoj sa brojem dana u mesecu (n), gde je m dan u mesecu. Vrednost i predstavlja ukupnu dužinu perioda sumiranja izraženu u danima.

Tabela 2.6 Vrednosti EDI indeksa po kategorijama suše

Kategorija	Vrednosti EDI
Ekstremno vlažno	>+2
Veoma vlažno	od 1,50 do 1,99
Umereno vlažno	od 1,00 do 1,49
Normalno	od 0,99 do -0,99
Umereno suvo	od -1,0 do -1,49
Jaka suša	od -1,5 do -1,99
Ekstremna suša	< -2

Nakon izračunavanja mesečnih efektivnih padavina pristupa se proračunu različitih karakteristika merne stanice vezanih za padavine, koje su od značaja za proračun. Karakteristike svakog indeksa u proračunu EDI indeksa dati su u tabeli 2.7. Pošto EDI računamo na mesečnom nivou, za srednju vrednost padavina računamo godišnju srednju vrednost od 12 meseci u nizu od 30 godina dobijamo normalnu vrednost EP (MEP). Dalji korak je računanje odstupanja EP od normale (DEP) :

$$DEP=EP-MEP \quad (2.49)$$

i vrednosti EDI indeksa:

$$EDI=DEP/ST(DEP) \quad (2.50)$$

gde je ST (DEP) standardna devijacija od DEP.

Upotreba EDI indeksa objašnjena je u nekoliko studija o suši sprovedenih u Koreji (Byun and Lee, 2002; Kang and Byun, 2004; Kim and Byun, 2006; Morid et al., 2006). EDI je operativan u Korejskom hidrometeorološkom zavodu i koristi se na dnevnoj bazi. Vrednost EDI indeksa izražavaju standardizovanu vrednost deficita ili suficita količine uskladištene vode. EDI omogućava poređenje ozbiljnosti suše na različitim lokacijama nezavisno od klimatskih uslova. Kao ni SPI ni EDI nije zavisano od orografskih karakteristika regije jer isključivo zavisi od padavina.

Available water resources index (AWRI) indeks predstavlja agregat indeksa suše EDI i proračunava se paralelno sa EDI indeksom. AWRI se računa iz vrednosti akumuliranih padavina u koji je uzet u obzir deficit vode (površinski oticaj, evapotranspiracija, infiltracija) i trajanje akumuliranja. Akumulirane padavine računaju se preko formule:

$$E = \sum_{N=1}^D \left(\sum_{m=1}^N \frac{P_m}{N} \right) \quad (2.51)$$

gde je P_m dnevne padavine od m dana, N je pomoćna promenljiva, a E je reprezentativna vrednost vodnih resursa akumuliranih za D dana.

Tabela 2.7 Opis varijabli uključenih u proračun EDI indeksa *Izvor: (Byun and Lee, 2002).*

<i>Naziv</i>	<i>Način proračuna</i>	<i>Pojednostavljeno značenje</i>
EP	Jednačina (2.48)	Ukazuje na količinu raspoložive/uskladištene vode
MEP	normala za EP proračunava se kao 30 godišnja srednja vrednost EP za svaki dan/ mesec	Klimatološki srednjak količine vode
DEP	Odstupanje MEP od EP	Deficit/višak količine vode od srednje vrednosti
SEP	DEP podeljen sa jednom standardnom devijacijom od EP	Standardizovani deficit količine vode od srednje vrednosti
AVG	Srednja vrednost	Srednja vrednost padavina

Akumulirane padavine izračunate u (2.45) konvertuju se u AWRI:

$$AWRI = \frac{E}{W} \quad (2.52)$$

$$W = \left(\sum_{N=1}^D \frac{1}{N} \right) \quad (2.53)$$

gde se za D uzima vrednost 12 (jer radimo na mesečnom nivou te se računa za 12 meseci). Velike vrednosti AWRI ukazuju na veliku količinu raspoložive vode, a male vrednosti ukazuju na njen deficit.

2.6.3 Indeks efikasnosti sušenja vazduhom / Index of Drying Efficiency of Air – IDEA

Indeks efikasnosti sušenja vazduhom predstavlja kapacitet vazduha da apsorbuje vodu iz sistema, gde je mera suše postignut deficit (WD), odnosno uklonjena količina vlage iz sistema. **IDEA u svojoj osnovi ima analogiju potencijalnoj evapotranspiraciji, sa razlikom što umesto da se fokusira na površinu koja isparava, ona opisuje karakter vazduha koji uzrokuje proces isparavanja sa površine koju dodiruje:**

$$IDEA = WD \quad (2.54)$$

U disertaciji odstupamo od generalne definicije suše i usvajamo da **suša predstavlja jedan jedinstven događaj koji odražava sposobnost vazduha da apsorbuje i iznese vodu iz sistema i da se kao takav događaj može manifestovati na vodne resurse, količinu raspoložive vode za potrebe biljaka, pri čemu je početak definisan stanjem atmosfere koje uzrokuje deficit padavina, pogoduje povećanom isparavanju i konzumiranju vode iz sistema.** IDEA indeks otuda može da se definiše kao indeks klimatološke suše ukoliko razmatramo tradicionalni pristup definiciji suše, u suprotnom u odnosu na predloženu definiciju, IDEA predstavlja odnos ulaza i izlaza na atmosferskom nivou i definiše fizičko stanje sistema, odnosno količinu vlage koju sistem može da izgubi u datim uslovima. Osnovne hipoteze za proračun IDEA su sledeće:

Prva pretpostavka je da svaka tačka u kojoj se određuje mora da ima poznatu očekivanu (normalnu) količinu padavina i podatke o stvarnim izmerenim padavinama za traženi vremenski period. Pored toga uključuje u sebe i isparavanje, odnosno on sam predstavlja količinu vode koja se izvuče iz sistema putem procesa sušenja materijala. Polazna osnova IDEA indeksa je bilansna jednačina odakle dobijamo:

$$SS = \frac{AV0+AV1+AV2+BM+PAV4}{NU} \quad (2.55)$$

gde je SS stanje sistema, a AV0, AV1, AV2 su akumulacija vode na atmosferskom, površinskom i podzemnom nivou, respektivno, BM je voda neophodna za proizvodnju odgovarajuće količine biljne mase i PAV4 je akumulirana potrošnja iz svih resursa od strane ljudskih aktivnosti, NU predstavlja normalne uslove u datom vremenu, odnosno ono što očekujemo kao količinu raspoložive vode. U daljem razvoju razmatramo prirodu svakog člana i njegovu veličinu u **dt jedan dan**. Veličina AV2 nam je zbog vremenskog razmera procesa u podzemlju zanemarljiva i možemo je isključiti iz jednačine. Od ukupne količine vode uzete od strane biljaka 95% se vrati u atmosferu putem transpiracije, stoga sam član BM možemo zanemariti jer iznosi svega 5% od ukupne vode koju biljke uzmu, a ostalo se u jednačini javlja kroz evapotranspiraciju (Steduto, et al., 2009). Veličina PAV4 se svodi na vodosnabdevanje, no možemo reći da voda koja se uzme za vodosnabdevanje vraća se u znatnoj meri u vidu otpadnih voda, te iz tog razloga možemo reći da se ta promenljiva može zanemariti. Površinske vode zavise od uzlaznog i izlaznog profila. Razlika ulaza i izlaza je često zanemariva, ako uzmemo sve vodotoke u obzir, odnosno na dnevnom nivou ne postoji značajna prirodna akumulacija vode u vodotocima koja potiče od same vode u vodotoku, a nije rezultat padavina, koje u slučaju suše nedostaju. Ostaju nam članovi AV0 i NU. Član NU, odnosno količina vode koja je u normalnim uslovima na raspolaganju, odnosno zadržana, akumuliranja u sistemu, svodi se na količinu vode koja na osmatranu teritoriju dospe padavinama, pored tog člana idealni NU sadržao bi i količinu vode akumuliranu u jezerima, akumulacijama, inundacijama, koja je u normalnim uslovima na raspolaganju. Sa druge strane član AV0 je prilično lako aproksimirati razlikom P-E. Kad bismo svakog dana računali promene ponaosob, na mesečnom ili godišnjem nivou bi se javila jako velika greška zbog zanemarivanja malih promena na dnevnom nivou koje imaju kumulativno dejstvo. Logičkim zaključivanjem, zanemarili smo dt od jednog dana, i usvojili dt od 1 kalendarskog meseca za proračun bilansne jednačine i procentualnog deficita vode u odnosu na normalne uslove (očekivane uslove). Rešavanje bilansne jednačine na mesečnom nivou je kompleksan problem, no izdvojio se jedan član koji iterativno deluje na sve ostale članove. To je deficit atmosferske vlage – padavina. Na mesečnom nivou efekat deficita padavina i sprega koja nastaje u tom slučaju sa evapotranspiracijom, utiče na ponašanje svih ostalih članova. Deficit padavina utiče na prehranjivanje podzemnih voda i zemljišta i spuštanje nivoa vodenog fronta. Time se direktno utiče na razvojni ciklus biljke koja koristi tu vodu, odnosno osim izmene stanja zemljišta, sama atmosfera koja je nezasićena utiče na izvlačenje vlage iz biljaka i zemljišta, odnosno sa vodene površine, kao što je objašnjeno analogijom sa tehnikom sušenja vazduhom. Otuda se izdvaja element jednačine:

$$\frac{P}{P_N} - \frac{E}{P_N} \quad (2.56)$$

Veličina $\frac{P}{P_N}$ u slučaju kada je $P < P_N$ predstavlja deficit padavina, odnosno odstupanje mesečnih padavina od normale što pogoduje suši. Fizički to je onaj deo vlage koji čini da vazduh povuče vlagu iz okoline umesto da je donira. To važi u slučaju da su T i p iznad

normale i da je nezasićenost vazduha veća, što je najčešći uzrok izostanka padavina, ne postojanje uslova kondenzacije i njihovog formiranja. Član $-\frac{E}{P_N}$ ukazuje na iterativni efekat deficita i na gubitak vode iz sistema putem evapotranspiracije

$$E = \sum I + T \quad (2.57)$$

i što je on veći veća je i sposobnost vazduha da poremeti termodinamičku ravnotežu između vlažnog materijala (površine) i vazduha nad njom.

Da bismo mogli odrediti sposobnost vazduha pri određenim uslovima da apsorbuje vodu iz sistema, prvo krećemo od opšte prihvaćene aproksimacije da se zemljina atmosfera ponaša kao idealan gas (Pidwirny, 2006; Rendall, 2013; Duxbury, 2012; Andrews, 2010). Usvajamo da se fizika suše može aproksimirati procesom sušenja vazduhom u idealnoj sušnici, gde se za idealnu sušilicu pretpostavlja da se sva toplota dovedena vazduhu koristi samo za isparavanje, tj. da je promena stanja vazduha u kontaktu sa materijalom adijabatska – ne menja se njegova entalpija. Tako je utrošena toplota za sušenje u idealnoj sušnici tačno jednaka razlici entalpija izlaznog i ulaznog vazduha. Utrošak toplote u realnoj sušnici dobijamo kada na toplotu koja bi bila utrošena da je ona idealna dodamo toplotu utrošenu za zagrevanje materijala koji se suši, transportne opreme, zidova sušnice, kao i gubitke toplote u okolinu (Valent, 2001, Pavlov et al., 1979) što u slučaju aproksimacije koju vršimo je zanemarljivo jer se radi o jako velikom prostoru koji predstavlja sušnicu. I poslednje, ali ne manje bitno, razmatramo procese neophodne za ostvarivanje transporta vlage u vazduh. Za ovaj proces neophodno je osmatrati stanje termodinamičke ravnoteže. Termodinamička ravnoteža između vlažnog materijala i okolnog vazduha je uspostavljena ako:

- su temperature materijala i vazduha međusobno jednake (termička ravnoteža),
- nema ni upijanja ni odavanja vlage (difuziona ravnoteža).

Ravnotežni sadržaj vlage u nekom materijalu zavisi od:

- njegove sposobnosti da upija vlagu – higroskopnosti,
- temperature i pritiska vazduha,
- relativne vlažnosti vazduha, definisane kao količnik parcijalnog pritiska vlage u vazduhu i napona pare vode na datoj temperaturi.

Kao vlažan materijal u našem slučaju posmatramo površinu zemljišta, rastinje, urbane objekte i vodene površine.

U slučaju tečnog medijuma kao što su reke, jezera, bare, močvare, pod pretpostavkom da se ponašaju kao termodinamički idealan rastvor, odnos ravnotežnih koncentracija vode u vazduhu i u medijumu opisan je Raulovim zakonom:

$$\frac{y_w}{x_w} = \frac{p_w^0(T)}{p} \quad (2.58)$$

gde su T i p temperatura i pritisak vazduha, x_w molski udeo vode u materijalu, y_w molski udeo vodene pare u vazduhu. Ekstenzivne veličine stanja se prevode u intenzivne, tako što se računaju po kg suvog vazduha. Takav izbor osnove proračuna za ekstenzivna svojstva je pogodan jer olakšava materijalne bilanse (Paunović, 2010). Pri suši vazduh teži zasićenju. Mera zasićenja vazduha vlagom, jeste vlažnost vazduha. Ako je vazduh zasićen vlagom, u pitanju je vlažnost zasićenog vazduha, ρ_v^0 . U zasićenom vazduhu ($r=100\%$), parcijalni pritisak vodene pare tačno je jednak naponu pare na temperaturi vazduha. Tako se za vlažnost zasićenog vazduha iz 2.13 dobija:

$$\rho_v^0 = \frac{18}{29} \frac{e_s(T)}{p - e_s(T)} \quad (2.59)$$

Iz 2.13, 2.14 i 2.53 dobijamo vlažnost u funkciji od temperature vazduha i njegove relativne vlažnosti:

$$\rho_v(T, r) = \rho_v^0 \cdot \frac{p - e_s(T)}{p - r \cdot e_s(T)} \cdot r \quad (2.60)$$

Kako IDEA predstavlja ukupnu količinu uklonjene vode iz sistema, uklonjenu količinu vlage dobijamo množenjem masenog protoka suvog vazduha u datom mesecu sa srednjom mesečnom vlažnošću vazduha:

$$IDEA = m_s \cdot \rho_v \quad (2.61)$$

Pri čemu smo prethodno odredili maseni protok suvog vazduha, deljenjem kumulativnog deficita za osmatrani mesec (m^3/s) sa zapreminom vlažnog vazduha, koja na datim uslovima sadrži 1kg suvog vazduha (humid volume, m^3/kg):

$$m_s = \frac{F}{v} \quad (2.62)$$

Zapreminu vazduha po kg suvog vazduha – humid volume (zapremina vlažnog vazduha koja sadrži 1kg suvog vazduha) računamo iz jednačine idealnog gasnog stanja:

$$v = \frac{R_g T}{(p - r \cdot e_s(T)) \cdot M_{sv}} \quad (2.63)$$

Ključnu ulogu u funkcionalnosti IDEA-e igra uvođenje u proračun kumulativnog deficita F, koji time u IDEA-ju inkorporira i padavine kao bitan faktor u formiranju uslova koji pogoduju suši.

2.6.4 Postojeći algoritmi za procenu indikatora suše

U praksi istraživanja i monitoring suše i usled razvoja velikog broja indikatora suše, možemo uočiti veliku potrebu za procenom i klasifikacijom indikatora. Veliki broj istraživanja (Jain et al., 2015; Eshgahabad et al., 2014; Hao and AghaKouchak, 2013; Smakhtin and Huges, 2004; Agwata, 2014; Bayarjargal et al., 2006; Nauman et al., 2014; Gosling et al., 2012; Zargar et al., 2011; Brown and Matlock, 2011; Byun and Kim, 2010; Mishra et al., 2010; Niemeyer, 2008; Guttman, 1998; Rao and Voeller, 1996) za svoj glavni fokus ima pregled i poređenje dva ili više indikatora suše. Metodologije su međusobno različite i ne postoji standardizovani pristup. Većina istraživanja svodi se na nabranje i opis karakteristika svakog indikatora suše ponaosob, najčešće korišćenjem grafičkog prikaza (Hao and AghaKouchak, 2013; Agwata, 2014; Gosling et al., 2012; Zargar et al., 2011; Brown and Matlock, 2011; Byun and Kim, 2010; Mishra et al., 2010; Niemeyer, 2008; Guttman, 1998; Rao and Voeller, 1996). Studije ostavljaju slobodu samom čitaocu da oceni korisnost indikatora. U skorije vreme (Jain et al., 2015; Eshgahabad et al., 2014; Smakhtin and Huges, 2004; Bayarjargal et al., 2006; Nauman et al., 2014; Tigkas et al., 2015) uočena je potreba za preciznijim dokumentovanjem procesa poređenja, pri čemu se većina autora slaže o dve glavne tačke:

- 1) indikatore suše treba porediti sa istorijskim sušama,
- 2) neophodno je sprovesti korelacionu analizu.

Iako se autori slažu u generalnom pristupu, suštinski nema standardizacije u metodama određivanja istorijskih suša, pripremi podataka i nisu određene mere validnosti indeksa. Umesto korelacione analize sa meteorološkim parametrima, vrši se međusobna korelaciona analiza. Najdetaljnije metode poređenja indikatora suše dali su Jain et al., (2015) i Smakhtin and Huges, (2004). Smakhtin and Huges, (2004) su otišli korak dalje i dizajnirali softver SPATSIM primenjiv na teritoriji Azije. Ograničenje softvera je što se samo bazira na indikatorima suše orijentisanim prema padavinama i ne postoji

konkretna analiza samih indikatora, no korisniku je otvorena mogućnost da uradi proračun svih dostupnih indikatora (SPI, EDI, Decili i odstupanje od srednje vrednosti i medijane) i uradi analizu samostalno. Korisniku je omogućena fleksibilnost i promena vremenskog koraka proračuna datih indikatora suše. Softver ima veliku praktičnu vrednost, ali ne pruža mogućnost standardizovanog poređenja rezultata i validaciju samih indeksa po nekom standardu. Jain et al. (2015) sproveli su istraživanje najbliže predloženom algoritmu analize indikatora suše u disertaciji. Istraživanja su sprovedena paralelno i nezavisno. Istraživanja su saglasna u sledećim koracima:

1. Izbor i proračun indikatora suše,
2. Poređenje indikatora suše sa istorijskim događajima,
3. Međusobno poređenje indikatora u odnosu na prepoznate sušne događaje.

Istraživanje sprovedeno od strane Jain et al. (2015) odnosilo se samo na indikatore koji su funkcijski zavisni isključivo od padavina. Iako su urađene istorijske vremenske serije u radu nije prezentovana metodologija proračuna ili određivanja istorijskih suša, niti je izneta činjenica da li postoji relevantna baza istorijskih suša za osmatrano područje. Izvršena je komparativna analiza indikatora suša proračunom matrice korelacije. Pirsonov koeficijent korelacije pokazuje u kojoj su meri promene vrednosti jedne varijable povezane s promenama vrednosti druge varijable. Predznak koeficijenta korelacije (+ ili -) govori nam o smeru povezanosti. Prilikom izračunavanja korelacije najčešće se greške odnose na uslove za izračunavanje korelacije, tumačenje koeficijenta i značajnost korelacije, visoke koeficijente korelacije, pretpostavljanje uzročno-posledične veze, jačinu povezanosti (koeficijent determinacije), te poređenje dva koeficijenta korelacije (Udovičić et al., 2007). Uzimajući ovo u obzir, matematički i fizički gledano mere korelacije između samih indikatora suše nisu dovoljni pokazatelji validnosti indikatora suše. Za određivanje istorijskih sušnih perioda korišćeni su sami indikatori koje ujedno i procenjujemo. Za razliku od Jain et al. (2015), disertacijom predložena metodologija predviđa uvođenje markera u odnosu na koje poredimo sve indikatore suše, nezavisno od metode njihovog proračuna i broja parametara od kojih su funkcijski zavisni. Pored toga predložena metodologija daje jasan uvid u određivanje istorijskih suša, i oslanja se na javno deklamovane i medijski izveštavane sušne događaje. Osnovna struktura predložene metodologije predviđa detaljniji i svrsishodniji pristup proceni indikatora u odnosu na fiziku same suše.

Koraci metodologije za procenu indikatora suše predložene u doktoratu:

- 1) Priprema podataka
- 2) Izbor i proračun indikatora suše
- 3) Određivanje arhive istorijskih događaja suše
- 4) Dodeljivanje težinskih faktora
- 5) Poređenje vrednosti indikatora suše sa istorijskim događajima
- 6) Korelativna analiza indikatora suše sa meteorološkim parametrima od značaja za formiranje suše
- 7) Korelativna i poredbeno analiza odabranih indikatora
- 8) Testiranje prognostičke moći indikatora

Predložena metodologija je u skladu sa uočenim potrebama za procenu indikatora. Da bi istraživanja međusobno bila uporediva neophodno je uvesti standardne procedure i metode komparacije i procene indikatora suše, što predložena metodologija i nudi.

3. Metodologija za procenu indikatora suše – MEPIS

3.1 Teorijske osnove

Metodologija je dizajniran proces koji obuhvata metode i tehnike kao sredstva, to je sistemski, teoretska analiza metoda primenjenih na problem. Ona se odnosi na način na koji ćemo sistematično sticati znanje o nečemu i obuhvata koncepte kao što su *paradigma, teoretski model, faze i tehnike (kvalitativne i/ili kvantitativne)*. Jedinstvenom metodologijom za procenu indikatora klimatološke suše obezbeđuje se primena istih principa i metoda procenjivanja pri odabiru postojećih ili kreiranju novih indikatora suše. Cilj procene indikatora jeste utvrđivanje njegove koherentnosti i verodostojnosti predstave suše u vremenu i prostoru, kao i njegovih karakteristika i sposobnosti za upotrebu u prognozi suše. Predmet metodologije za procenu je definisanje metoda, procesa i koraka koji će obezbediti mogućnost standardizovane kategorizacije postojećih i budućih indeksa suše i ocenjivanje njihove sposobnosti i mogućnosti korišćenja u prognozi suše.

Za pristup stvaranju metodologije procene indikatora klimatološke suše primenjena je programerska analogija. U XXI veku IT tehnologije zauzimaju sam vrh u rešavanju problema. Sam način razmišljanja postaje „programerski“. Inženjerska rešenja sve više zahtevaju modele, koji nisu fizičke tvorevine, već softverska rešenja i modeli u IT okruženju u kom možemo razmatrati različite opcije u vrlo kratkom vremenu.

Paradigma metodologije kod programiranja jeste algoritam. Način građenja algoritma može biti različit. Prvi korak u stvaranju algoritma, a konkretno u razmatranom slučaju, je odgovor na pitanje šta, kako i koliko dugo nešto treba da radimo da bi procenili da indikator suše koji koristimo ili razvijamo ima smisla. U duhu inženjerskog pristupa gde je cilj dobiti linearni niz procesa koji od ulaza (problema), vode do izlaza (rešenja), nastao je algoritam za procenu indikatora klimatološke suše. Ovakav pristup odgovara *imperativnoj metodologiji programiranja*. Predmet doktorata pri tom nije programiranje modela, već upotrebom programerske analogije sortirati procese i metode na programerski način stvarajući metodologiju. Prilikom kreiranja algoritma, a uz upotrebu konstrukcija imperativne metodologije kao što su *sekvenca, grananje i ciklus*, iskorišćena je mogućnost korišćenja drugih paradigmi za kreiranje procesa unutar samog algoritma. Korišćenje više od jedne paradigme omogućava da svaku sekvencu, grananje ili ciklus organizujemo na odgovarajući način. Imperativna metodologija je izabrani pristup za izgradnju metodologije za procenu indikatora suše (MEPIS). Stoga, MEPIS je osnovi imperativna metodologija koja koristi između ostalih i „razdvoj i osvoji“ paradigmu.

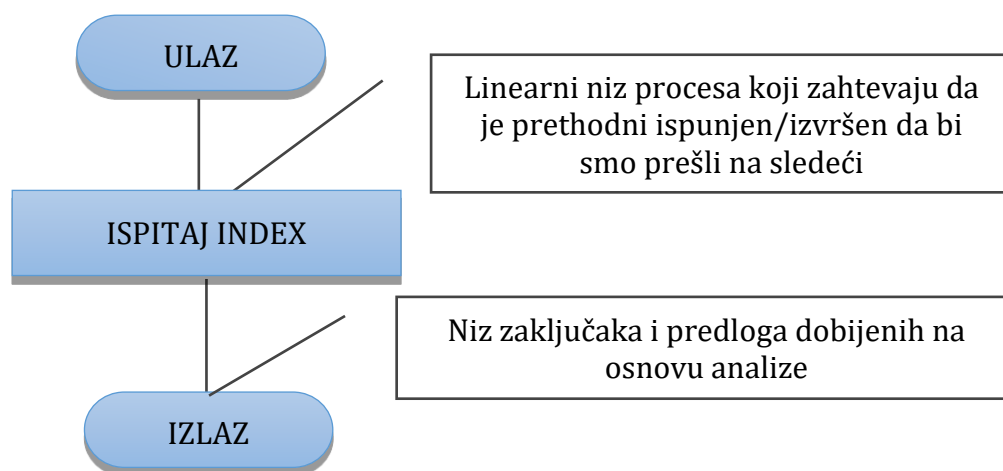
Polazna osnova je „prazan“ orman, prosta konstrukcija čijim popunjavanjem će MEPIS oživeti. U kasnijim poglavljima opisani su eksperimenti koji su poslužili za popunjavanje pojedinih „polica“ u MEPIS-u. MEPIS je napravljen tako da može menjati sadržaj na „policama“, ali tako da zadržava svoj karakter (slika 3.1).

Indikator suše su složeni, no ipak ne obuhvataju sve fizičke veličine koje opisuju sušu. U fizičkom prostoru suša je definisana brojnim parametrima:

$$D = f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, \dots, x_m) \quad (3.1)$$

gde $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, \dots, x_m$, redom mogu biti temperatura vazduha na $2m$, vazdušni pritisak, relativna vlažnost vazduha, vetar, visina padavina, intenzitet padavina, evapotranspiracija, GPS koordinate, stanje tla (vlaga u tlu), vrsta tla, visina podzemnih voda, visina površinskih voda, proticaj, sezona (leto, zima, jesen, proleće), datum,

urbana ili ruralna sredina, broj stanovnika, potrebe za vodom i pritisak na prirodne resurse. Ni jedan od indikatora suše ne obuhvata sve parametre koji definišu sušu u faznom prostoru. Cilj je prepoznati onaj jedan dovoljno dobar indikator koji će se najviše približiti realnom stanju.



Slika 3.1 Osnovna konstrukcija MEPIS-a.

U literaturi suša se, kao što je već napomenuto, deli na klase. No, šta ako se radi o jednoj pojavi čiji se uticaj vremenom širi, a ne o više ne povezanih događaja? Da li onda klase suše možemo posmatrati kao stepene njenog intenziteta, odnosno kao mere uticaja - posledice? Takođe, postavlja se pitanje, kako predvideti tok pojave, ako nisu definisani svi početni uslovi. Suša je, najčešće, određena po svojoj manifestaciji, pri čemu osmatramo neki ograničeni lokalitet (podaci sa određene meteorološke stanice). U toku posmatranja može doći do delovanja spoljnog faktora (ljudskog) koji remeti manifestaciju pojave, gde onda nemamo informaciju niti saznanje da li se isti uticaj proširio i kako je delovao van tog osmatranog domena. Otvorena su i pitanja, koliko možemo u slučaju suše, tačkasta merenja ekstrapolirati na površinu; kako rešiti preklapanje uticaja i postaviti granice i domene stanica; razrešiti pitanje uticaja geomorfoloških karakteristika, kao i klimatskih i geomorfoloških promena. Adekvatan indikator suše trebao bi svojim ponašanjem da obuhvati svako od ovih pitanja i u sebi da sadrži rešenje.

3.2 Teorija “ORMANA”

Teorija „ORMANA“ predstavlja opis procesa nastanka metodologije za procenu indikatora klimatološke suše. Teorija kreće od aksioma da sve što nam treba ili nam može zatrebati već postoji te da treba samo različite činioce dovesti u odgovarajuću relaciju.

Postavljena teorija nastala je modifikovanjem načina kojim svakodnevno rešavamo probleme. Polazimo od činjenica da je bitno da znamo *kako* stvari rade, i druga ne manje bitno, ali često vrlo zanemareno pitanje je *koliko dugo* stvari ili procesi treba da su u funkciji.

Iz praktičnog života ukoliko krenemo da rešavamo problem šta da obučemo, otvorimo orman i razmotrimo svoje opcije. Naš orman biće napunjen onom odećom za koju pretpostavljamo da će nam trebati; zatim onom odećom koja nam se dopada te predviđamo situacije u kojima bi nam mogla biti od koristi; i često gomilom odeće koja ne sortirano leži poluiskorišćena i/ili nepotrebna ili više nije od značaja. Kako sistem

ormana možemo preslikati na proces prognoze suše ili proces procene indikatora za prognozu suše?

Polazimo od situacije u kojoj smo i za koju treba da se „obučemo“. Treba razmotriti čime raspolažemo i da li smo predvideli trenutnu situaciju za koju tražimo odgovarajuću kombinaciju. Drugim rečima, ukoliko je naš „orman“ algoritam (metodologija) za procenu indikatora suše to znači da prvo moramo razumeti *šta to procenjujemo*. Kad odgovorimo na to pitanje i formulišemo šta je to *indikator* suše, pristupamo problemu vezanom za pitanje *sa čim raspolažemo*. Ono što je osnovna gradivna struktura svih indikatora suša jesu *podaci* koji su nam neophodni da bi proračunali indikatore. Da bi znali imamo li neophodne podatke za traženi indikator neophodno je prvo da posedujemo *bazu ili arhivu podataka*. Arhiva podataka je nezavisna struktura, i to je u našem ormanu osnovna polica sa podacima; ukoliko na toj polici nema onoga što tražimo znači da traženi indikator nije od značaja za dalje poređenje. Indikator za koji se ne poseduju podaci neophodni za njegov proračun postavlja se kao opcioni. Bitno je *koji i kakvi podaci* su u njoj i *kako se skladište*.

Pretpostavimo da arhiva poseduje sve podatke od značaja za modelovanje suše, odnosno sve podatke od kojih se na bilo koji način može izračunati/dobiti bilo koji indikator suše, jer je to ono što teorija „ORMANA“ pretpostavlja, *da imamo sve neophodno*. Zadovoljivši uslov da smo se opremili svim podacima, preuzimamo sledeće korake u procesu procene. Sledeće probleme treba rešavati paralelno sa korišćenjem „ormana“:

1. Podatke dobro i pregledno organizovati po sekcijama. Sekcije, npr. arhiva podataka, organizuju se u skladu sa početnim znanjima. Konkretno, sekcije mogu biti definisane po događajima (svaka suša zasebna sekcija) ili po grupi „odevnih“ predmeta (praćenje isključivo činilaca koji su pod uticajem i/ili uzrokuju sušu, ne deleći ih i ne kategorišući ih po nekom specifičnom događaju, npr. temperatura, padavine, pritisak).
2. Konstantno ažuriranje sekcije, obuhvata rešavanje nepotrebnog, oštećenog i dodavanje novog u skladu sa okolnostima i protokom vremena. Konkretna problem koji se može javiti pri organizaciji arhive (baze podataka) je da ako bazu podataka organizujemo na osnovu meteorološke stanice vremenom može doći do gašenja neke od stanica, promene metoda rada na toj stanici i sl. Ovim i ovakvim promenama utiče se na samu strukturu, a time i kvalitet podataka. Ovakvi problemi ne mogu biti rešeni jednom već zahtevaju kontinualno praćenje i ažuriranje sistema i procesa pod njihovim uticajem.

Kako bi rešili ove probleme, a u skladu sa programerskom paradigmom „razdvoj i osvoji“, organizovane su za početak tri nezavisne arhive, koje se koriste u procesu procene indikatora, i ujedno se sa vremenom mogu relativno jednostavno ažurirati i održavati:

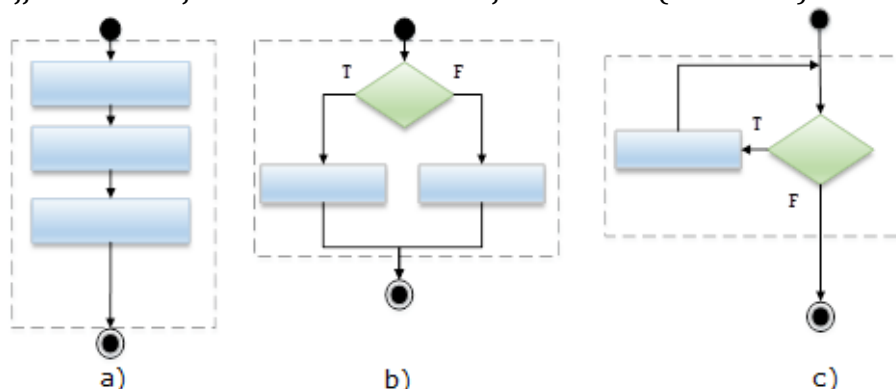
1. **arhiva merenih i osmotrenih podataka** koje dobijamo iz sistema monitoringa (WMO, RHMZ) u Vojvodini, kao izabranoj oblasti za istraživanje, nedostupnost ili pak nepostojanje osmotrenih i izmerenih podataka u dužem periodu vremena vrši restrikciju među indeksima suše, te je ovakva arhiva od velikog značaja jer može u velikoj meri odrediti regionalnost ili mogućnost globalne primene nekog indikatora,
2. **arhiva istorijski zabeleženih suša** (pri čemu arhiva sadrži u fizičkom prostoru definisane koordinate svake suše),
3. **arhiva repernih indikatora suše** na osnovu kojih kontinualno možemo pratiti dešavanja u vremenu.

Teorija „ORMANA“ predviđa kontinualno ažuriranje svih podataka neophodnih za funkcionisanje algoritma. Međutim, ona ne definiše način kako, ali indukuje potrebu da postoji vremensko ograničenje upotrebljivosti određenih podataka i ujedno da ne možemo na samom početku predvideti sve događaje već moramo osposobiti algoritam da se „adaptira“ vremenom novim uslovima. Teorija „ORMANA“ insistira da se konstantno sagledava celokupna slika (ceo algoritam) a da ujedno postoji mogućnost fokusa na pojedinačni problem („zoom in /zoom out“).

Paradigme kreiranja MEPIS-a

Proces nastanka MEPIS-a je analogan programiranju. Ovakav pristup omogućava lako transformisanje metodologije u potencijalni softver. U skladu sa tim korišćene su i programske paradigme. **Programska paradigma** određuje stil programiranja. Paradigma je metod dizajniranja algoritma, generalni pristup konstrukciji efikasnog rešenja zadatog problema. Programska paradigma određuje pogled koji programer ima nad programom i njegovim izvršavanjem. Algoritam MEPIS-a koristi se multi-paradigmskim pristupom. Imperativno sagledan problem procene indikatora suše, sistematično je podeljen na faze, i dalje prateći suštinu imperativne metodologije da nema vraćanja unutar glavnog stabla. U skladu sa „razdvoj i osvoji“ paradigmom dobili smo slobodu da svaku fazu sekvencijalno razdvojimo, zahtevajući da svaka sekvenca bude zadovoljena pre nego se pređe na drugu, a ujedno u istom koraku podelili smo problem procene indikatora na pot-probleme koje je tehnički moguće rešiti u datom koraku. Rešavanje pojedinih koraka zasniva se na funkcionalnoj paradigmi.

Imperativno programiranje je programska paradigma koja opisuje računanje kao izraze koji menjaju stanje programa. Kao što se u govornom jeziku zapovedni način (ili imperativ) koristi za izražavanje naredbi, tako se imperativni programi mogu posmatrati kao niz naredbi koje računar treba izvršiti. Proceduralno programiranje je česta metoda izvršavanja **imperativnog programiranja**, te se ova dva termina često koriste kao sinonimi. Imperativni model (Dave and Dave, 2008) omogućava praćenje i opis stanja unutar samog modela. Pri programiranju to posmatramo kao mogućnost uvida u promenu svake promenljive tokom njihovog proračuna. Kod imperativnog modela u programiranju koriste se komande ili instrukcije da bi se izvršila željena promena. Stoga, koncept promenljive kod imperativnog modela, je da se vrednost koja se može promeniti pomoću odgovarajuće komande odnosi na kvantitet. Imperativni model koristi konstrukcije strukturnog programiranja (slika 3.2). Kod ovih programskih struktura bitno je da postoji samo jedan ulaz (start) i samo jedan izlaz (exit). Osnovni deskriptivni blok programa je *imperativni blok* koji komanduje procesoru da uradi nešto. A najjednostavnija kontrolna struktura je sekvenca (slika 3.2a).



Slika 3.2 Dijagrami osnovnih kontrolnih struktura imperativne metodologije: a) sekvenca, b) granjanje i c) ciklus.

U matematici i programiranju paradigma „razdvoj i osvoji“ je paradigma dizajniranja algoritama koja koristi jednostavan proces podele problema na pot-probleme do te mere dok pot-problemi nisu dovoljno jednostavni da budu rešeni. Pot-problemi se rešavaju direktno ili rekurzivno i na kraju se rešenja pot-problema kombinuju da bi se dobilo rešenje glavnog problema. Prednost korišćenja paradigme „razdvoj i osvoji“ leži u mogućnosti rešavanja složenih problema, pomaže u otkrivanju efikasnih algoritama, koji su kasnije podobni za softverski inženjering. Mana ovog pristupa je što nam se često može desiti da podelom dobijemo manje delove koji su veoma slični po svojoj prirodi ali nemaju jedno isto niti zajedničko rešenje. U tom slučaju možemo se koristiti istom metodom rešavanja problema iz sličnih kategorija, ali moramo biti sigurni u razdvajanje njihovih rešenja da pri analizi rezultata i njihovoj sintezi u konačno rešenje ne bi došlo do greške. Funkcionalno programiranje je programska paradigma, način izgradnje strukture i elemenata programa, koji tretira proračun kao evaluaciju matematičkih funkcija i izbegava promenu stanja i promenljivost podataka. To je deklarativna programska paradigma, što znači da se pri programiranju izražavamo preko izraza. U funkcionalnom kodu, izlazna komponenta zavisi isključivo od ulaznih parametara, odnosno ukoliko pozovemo funkciju $f(x)$ dva puta koristeći istu vrednost argumenta x rezultat funkcije $f(x)$ biće isti u oba slučaja. Eliminirajući spoljne faktore funkcionalna paradigma čini mnogo lakšim razumevanje i predviđanje ponašanja programa. Svaka od paradigmi u velikoj meri je kompatibilna procesu praćenja i sagledavanja suše. Za potrebe MEPIS-a od izuzetnog je značaja mogućnost izbora različitog pristupa, i mogućnost odabira najefikasnijeg i najpodobnijeg pristupa pojedinačnom problemu. U sledećem poglavlju detaljno je objašnjena svaka faza i etapa MEPIS-a.

3.3 Logičke sekvence - algoritma MEPIS

Algoritam MEPIS-a sastoji se od nekoliko faza. Svaka naredna faza zahteva da su svi uslovi iz prethodne faze zadovoljeni da bi se procena odabranog indeksa mogla nastaviti, u suprotnom indeks se ocenjuje kao nepotpun ili neadekvatan i isključuje se iz dalje analize. Prvi korak algoritma zahteva da definišemo bazu indikatora suše koje želimo da procenimo. Za početak dovoljno je da tu bude i samo jedan indikator. Odnosno da bismo testirali MEPIS dovoljno je da odaberemo, jedan, prvi indikator suše, koji ćemo testirati.

Svaki indikator suše funkcija je određenog broja dostupnih parametara (jednačina 3.1). Da bismo proverili da li je odabrani indikator, za kojeg radimo procenu, baziran na promenljivima za koje raspoložemo neophodnim istorijskim podacima, moramo proveriti da li ti parametri uopšte postoje u arhivi merenih i osmatranih podataka (slika 3.3). Arhiva merenih i osmatranih podataka je individualna jedinica i ne zavisi od samog algoritma. U arhivi su navedene sve izmerene meteorološke promenljive y određene baznim koordinatama i, j, k koje se odnose redom i - na redni broj promenljive (odnosno o kojoj je promenljivoj reč), j - na vremenski kod (sat, dan, mesec, godina) i koordinata k - se odnosi na prostorno određenje gde je podatak izmeren i u našem slučaju identifikuje se rednim brojem meteorološke stanice na kojoj je podatak izmeren. Za sam algoritam sama organizacija arhive i njena struktura nisu od presudnog značaja, ali je veoma bitno da su parametri x_1, x_2, \dots, x_n sortirani istim redosledom kako se javljaju mereni parametri u arhivi. Stoga se na samom početku nakon indentifikacije odabranog indikatora suše, identifikuju i sortiraju po zadatom redosledu u bazi. Sam način sortiranja podataka može da se izmeni, jer neće uticati na samu organizaciju i funkcionalnost MEPIS-a. Predlog algoritma za sortiranje je brzo sortirajući algoritam koji koristi „razdvoj i osvoji“ paradigmu. U prvom koraku sortiranja proveravamo da li

je postojeći raspored x_1, x_2, \dots, x_n jednak zadatom rasporedu y_1, y_2, \dots, y_m . Ukoliko se rasporedi ne poklapaju u ovom slučaju odabiramo nasumično jedan element, koji nazivamo s , a podaci se dele u tri grupe:

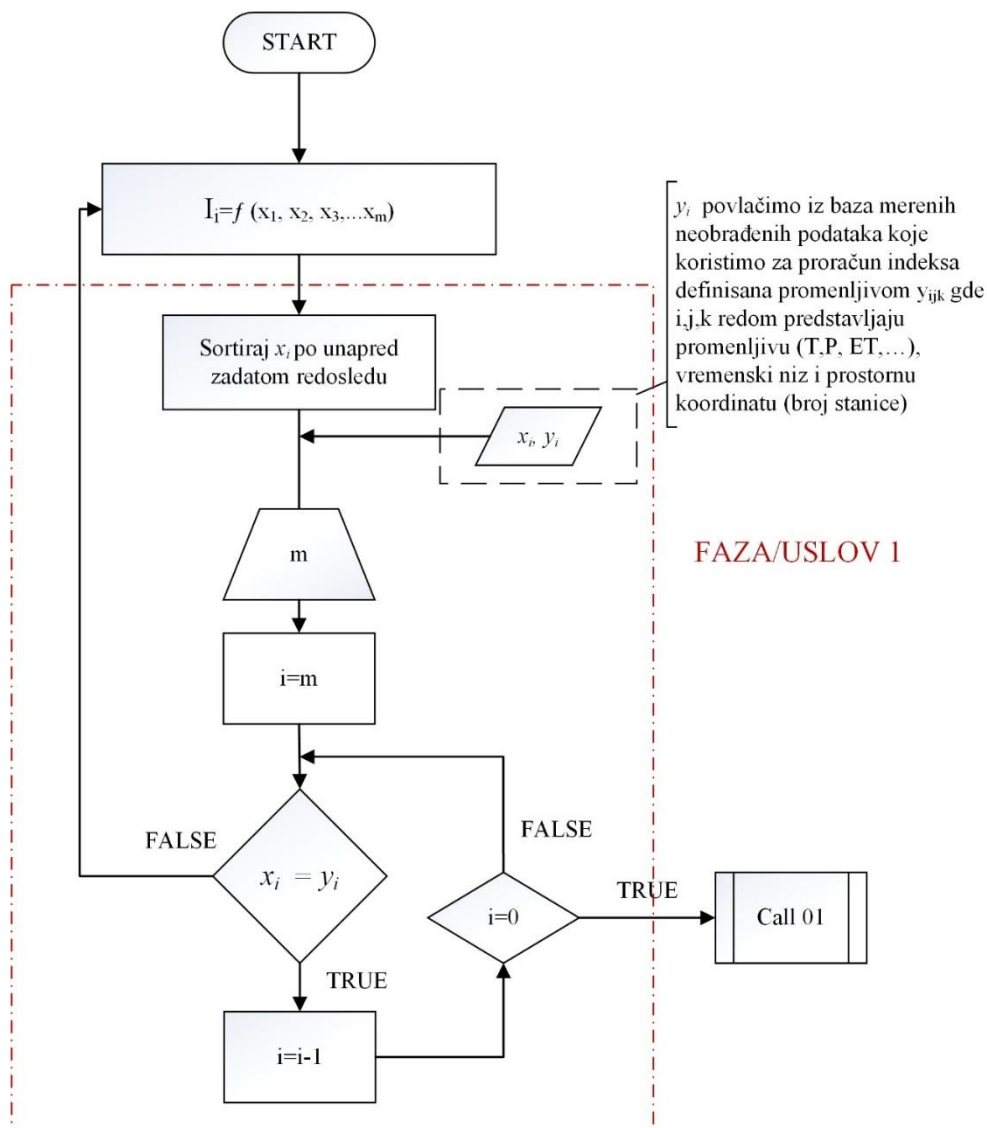
- 1) A-elementi manji od s ,
- 2) B-elementi jednaki s ,
- 3) C-elementi veći od s .

Jednom kada su formirane ove tri potgrupe, sledeći korak je rekurzivno sortiranje A i C, i na kraju kombinovanje A, B, C ponovo zajedno. To znači da ako je u arhivi podataka prva promenljiva y_1 temperatura T, druga y_2 padavine P, treća y_3 evapotranspiracija ET itd., tako i promenljive x_1, x_2, \dots, x_n moraju biti sortirane. Ovo je od velikog značaja jer pre nego što uopšte uzmemo indeks u obzir za neko korišćenje neophodno je da budemo sigurni da postoje podaci iz kojih se željeni indeks može izračunati. Možda se ovaj korak čini suvišnim ali je od izuzetnog značaja i za proveru šta nama to zaista treba da bismo mogli iskoristiti benefite svih željenih indeksa. Isto tako, raspoloživost podataka varira od regiona do regiona, nekad čak i od stanice do stanice, te u nekoj prefinjenijoj pretrazi bi mogli proveravati da li postoji traženi element u svim prostorno-vremenskim tačkama koje tražimo. Ukoliko bismo to zahtevali, za algoritam bi to značilo da osim poređenja po i , vršio bi pretragu i po j i po k . No taj korak možemo uraditi u potprogramu za proračun samog indeksa. ***U našem slučaju uredili smo da je naša arhiva homogena za tražene j i k , za svaki i -ti parametar.*** Da bismo započeli analizu odabiramo nasumično prvi indeks sa proizvoljno predefinisane liste indeksa od značaja kao što su, SPI, SPEI, EDI (AWRI), IDEA. Kriterijum da li je indeks od značaja u ovoj fazi je jedino zahtev korisnika da upotrebi neki indeks u svojim daljim analizama.

Nakon proizvoljno definisane liste indeksa koji su nam od značaja (u našem slučaju SPI, SPEI, EDI (AWRI) i IDEA) odabiramo prvi nasumično i definišemo njegovu funkcionalnu zavisnost od merenih i izvedenih parametara i proveravamo njihovu dostupnost u arhivi podataka. Nakon izvršene provere postojanja neophodnih podataka, pristupa se proračunu samog indeksa na proceni. Svaki indeks zahteva određenu metodu proračuna koju definiše korisnik MEPIS-a. Izlaz iz datog koraka je vremenski niz indikatora $I(j,k)$ za svaku k -tu stanicu.

Da bi pristupili daljoj proveru indeksa neophodno je da postoji arhiva $DH(j,k)$ istorijskih suša. Svaka suša koja se desila treba da u fizičkom prostoru bude definisana vremenom (datum/mesec kada se desila), stanica (prostorna koordinata), i po mogućnosti trajanje i ozbiljnost suše, no za samo ispitivanje indikatora uslov da prepoznaje sušu prostorno i vremenski je neophodan i dovoljan. Finija prepoznavanja mogu se obaviti samo u slučaju da se istorijski zabeležene suše mogu adekvatno kategorisati i katalogizirati u arhivi podataka. MEPIS za indeks od interesa iterativno proverava da li za svako $DH(j,k)$ postoji odgovarajuće $I(j,k)$. U ovom koraku je dovoljno da indeks pokazuje sušu istovremeno kada je zabeležena suša u realnom vremenu. Po mogućnosti proveravamo finoću indeksa i da li po intenzitetu indeks pokazuje odgovarajući događaj. Njegov rezultat se ne uzima kao jedini kriterijum iz razloga što istorijski suše nisu uniformno beležene i katalogizirane te se istorijske suše određuju na osnovu analize istorijskih meteoroloških podataka, ovako određene istorijske suše nisu dovoljno merilo tačnosti samog indeksa. Ukoliko se nađe za svako $DH(j,k)$ poklapanje u vremenskom nizu sa $I(j,k)$ MEPIS će propustiti $I(j,k)$ u dalju analizu, no ukoliko za neko j,k se desi odstupanje MEPIS beleži svako odstupanje, ukoliko se i vremenski i prostorno desi da više od trećine podataka nema podudaranje, indeks se izuzima od dalje analize i prelazi se na sledeći zadati indeks ili pak završava

analiza, sa zaključkom da razmatrani indeks nije odgovarajući za korišćenje pri ranoj najavi i prognozi suše.



Slika 3.3 Prva faza MEPIS-a.

Prednost MEPIS-a u odnosu na prostu korelativnu analizu sa istorijskim sušama je što traži potvrdu na podudaranje kretanja indeksa suša i istorijski zabeleženih suša i određuje tačan broj prepoznatih događaja i daje informaciju o ukupnom broju sušnih događaja koje indeks prepoznaje (slika 3.4). Važnost osvrta na istorijski zabeležene suše je što se odmah vrši i kalibracija indeksa, odnosno uočavamo koliko indeks sa vremenom reaguje na regionalne i klimatske promene koje utiču na pojavu suše. Dizajnom je predviđeno da se arhiva DH vremenom ažurira, kao i arhiva merenih podataka. U eksperimentalnom delu doktorata dat je predlog informacija koje treba da definišu istorijski zabeleženu sušu u fizičkom prostoru. Struktura podataka koja potkrepljuje definisane informacije nije definisana usled nepostojanja dovoljnog broja istorijskih suša po zadatim stanicama sistema monitoringa, koje se koriste u arhivi ulaznih merenih podataka. Ovako struktuiran algoritam omogućava da već u početnim

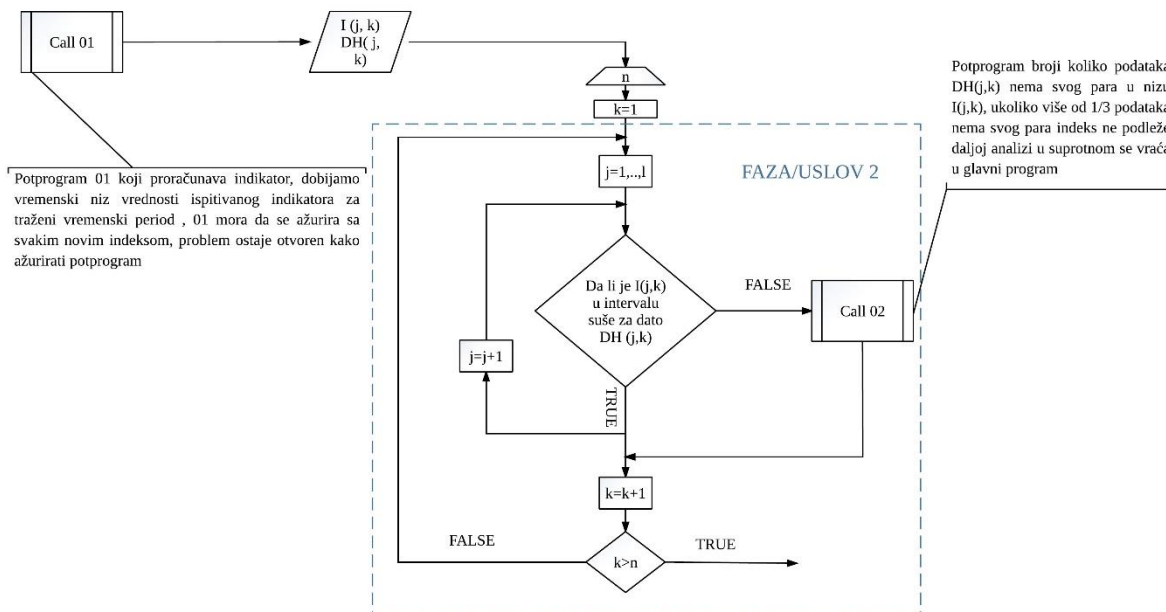
koracima vidimo koliko je zadati indeks osetljiv na klimatske regione i prostorne karakteristike i da li se može koristiti van regiona za koji je projektovan.

Treća faza procene bazirana je na ideji da se postojeći, i svaki novonastali indikator suše klasifikuje u odnosu jedan na drugi, te vremenom dobijamo arhivu indikatora suša u kojoj je određeno koji je indikator najpogodniji za prognozu suše. MEPIS je predviđen da vremenom podiže kriterijum tako što svaki indeks koji je ocenjen kao bolji od polaznih sam postaje reporni, i u sledećoj proveri od indeksa koji se procenjuje se očekuje da prevaziđe rezultate novoprihvaćenog repernog indeksa. Prednost postojanja ovakve arhive je što se vremenom svi indeksi prikupljaju na jedno mesto, i složeni su po rezultatima koje daju u prognozi i proceni suše, te korisnik može svesno da odabere koji mu je indeks od koristi, pri tom prihvatajući rizike ili nesavršenosti odabranog indeksa. U realnom vremenu i prostoru ograničeni smo resursima i vremenom pa pojedini indeksi nisu u mogućnosti biti korišćeni operativno.

Funkcija treće faze MEPIS-a je da se proveri da li indeks, $I(j, k)$ zadovoljava uslov da se ponaša isto ili bolje od polaznih, repernih indeksa. U ovom uslovu prvi korak je grafičko poređenje, odnosno vizuelno-numeričko poređenje. **Zahteva se da indeks $I(j, k)$ u istom vremenskom intervalu j predviđa sušu kao i reporni indeks $B_i(j, k)$, pri čemu se poređenje vrši za sve podatke vremenske serije (j ide od 1 do h , gde je h ukupan broj podataka).** Ovde se podrazumeva da su reporni indeksi već zadovoljili prethodni uslov provere. U ovoj fazi otvorena je i mogućnost za finiju kategorizaciju indeksa gde će se porediti slaganje indeksa po njihovim intervalima, odnosno ako je $B_i(j, k)$ u svom apsolutnom minimumu da li je i $I(j, k)$ u svom apsolutnom minimumu i ako nije koji interval suše $I(j, k)$ odgovara kom intervalu suše $B_i(j, k)$ u datom vremenskom trenutku. Kada se prođe ceo vremenski niz, proverava se konzistentnost poklapanja intervala različitih indeksa. Što omogućava razvoj zajedničke skale intenziteta suše za različite indekse. Slično kao i u prethodnom uslovu, i odstupanja su nam od značaja. Pri čemu, ukoliko ispitivani indeks ne ukazuje na sušu u intervalu kad bazni indeks suše to pokazuje, mora zadovoljiti uslov da se 2/3 ili više podataka ipak poklapa da bi bio uzet u obzir za dalje razmatranje. Ovaj korak se može raditi grafičkom analizom ili matematičkom analizom preko ispitivanja funkcija. Razmotreno je da je jednostavnije ipak prvo pristupiti grafičkom poređenju, i onda ići u dublju analizu, ukoliko postoje fina poklapanja. Predložen metod daje grafičko prepoznavanje odnosno da u datom vremenskom interval t oba indeksa predviđaju sušu a u daljoj analizi – potprogramu 03 – proveravamo složenost preklapanja.

Na slikama 3.5 i 3.6 prikazana je razlika u strukturi samog MEPIS-a ukoliko taktički odaberemo da fina preklapanja obavljamo kao odvojeni korak. No, logički MEPIS ne trpi nikakvu promenu ako izaberemo jedan ili drugi metod.

Suština MEPIS-a je da predviđa koje izlaze moramo dobiti iz svakog koraka. Sam izbor metoda koje će nas dovesti do izlaza je na korisniku MEPIS-a ukoliko nisu strogo definisane samim MEPIS-om. Pojedine faze MEPIS-a zahtevaju korišćenje tačno određenih metoda, koje obezbeđuju standardizaciju procesa procene. Preduslov za poređenje je da svaki indeks mora imati sposobnost da kategoriše sušu u sledeće kategorije: bez suše, srednja suša, ozbiljna suša i ekstremna suša. U samom slučaju poređenja izlaza vremenskih funkcija indeksa, nije od krucijalne važnosti da li ćemo ih prvo grubo porediti i tražiti da se zadovolji uslov da indeksi istovremeno ukazuju na sušu, pa ih onda fino kategorisati i porediti da li ukazuju na isti ili sličan intenzitet suše (slika 3.5) ili ćemo sve uraditi u jednom koraku (slika 3.6).



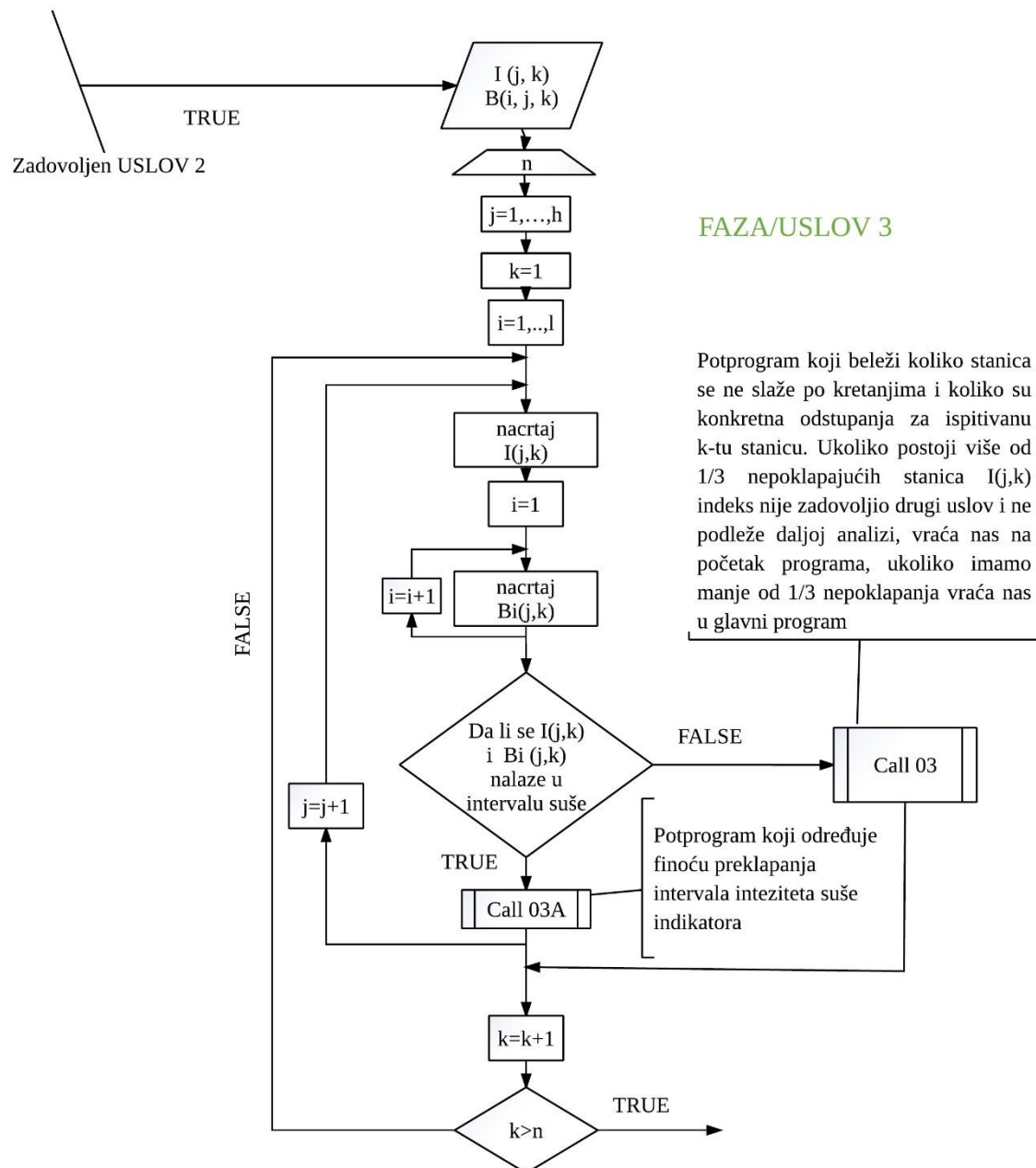
Slika 3.4 Druga faza MEPIS-a.

Na kraju moramo biti sigurni da je „bolji“ indeks pokazao sušu istog ili jačeg intenziteta. Ovo je neophodno jer u slučaju rane najave ukoliko indeks „podbacuje“ veća je verovatnoća da nećemo uočiti sušu nego ako indeks „preteruje“ u svojoj proceni. Sve vreme moramo imati na umu suštinu MEPIS-a, a to je da proceni koji je indeks pogodan za prognozu suše i njeno rano upozorenje.

Nakon što izvršimo poređenje nizova odabranog sa repnim indeksima, u ovom koraku nam je dovoljan odgovor da li indeks ide u dalju analizu ili ne. Cilj u ovoj fazi nije da klasifikujemo indeks da li je repni ili ne, čak i ako pokaže odlične rezultate u odnosu na uslov da treba da se slaže sa kretanjima ostalih repnih indeksa.

Četvrta faza okarakterisana je određivanjem stohastičke zavisnosti indeksa i merenih parametara, ukoliko indeks nije u njihovoj funkciji, odnosno ne koristimo ih direktno u proračunu samog indeksa. U MEPIS je uključeno osam meteoroloških parametara od značaja. To su pritisak, padavine, temperatura, relativna vlažnost vazduha, vetar, oblačnost, dužina sunčevog sjaja i evapotranspiracija (slika 3.7). Funkcija ove faze je naći mere slaganja varijacija procenjivanog indeksa suše i svakog merenog parametra ponaosob. Korelaciona analiza za svaki parameter vrši se u odgovarajućem potprogramu (potprogrami 04-06). Potprogrami mogu biti zamenjeni odgovarajućim softverom koji vrši korelacionu analizu (XLSTAT) ili mogu biti programski kôd (R).

MEPIS kaže da bi indeks bio ocenjen kao validan neophodne je da indukuje sušu u momentima kada vrednosti merenih podataka na to ukazuju, bez obzira da li je indeks u funkciji od istih ili ne. Drugim rečima da bismo bili sigurni da je indeks reprezentativan sa stvarnim kretanjima, poredimo ga sa kretanjima parametara čije stanje uzrokuje sušu. U slučaju padavina, pritiska, relativne vlažnosti vazduha i temperature vrlo je jednostavna procedura, jer se uradi korelaciona analiza sa merenim podacima. No, što se tiče evapotranspiracije moramo odabrati standardni metod za procenu evapotranspiracije, jer u najvećem broju slučajeva ne postoje kontinualna merenja isparavanja i transpiracije na meteorološkim stanicama. I tek nakon generisanja niza proračunatih vrednosti evapotranspiracije, vršimo korelacionu analizu.

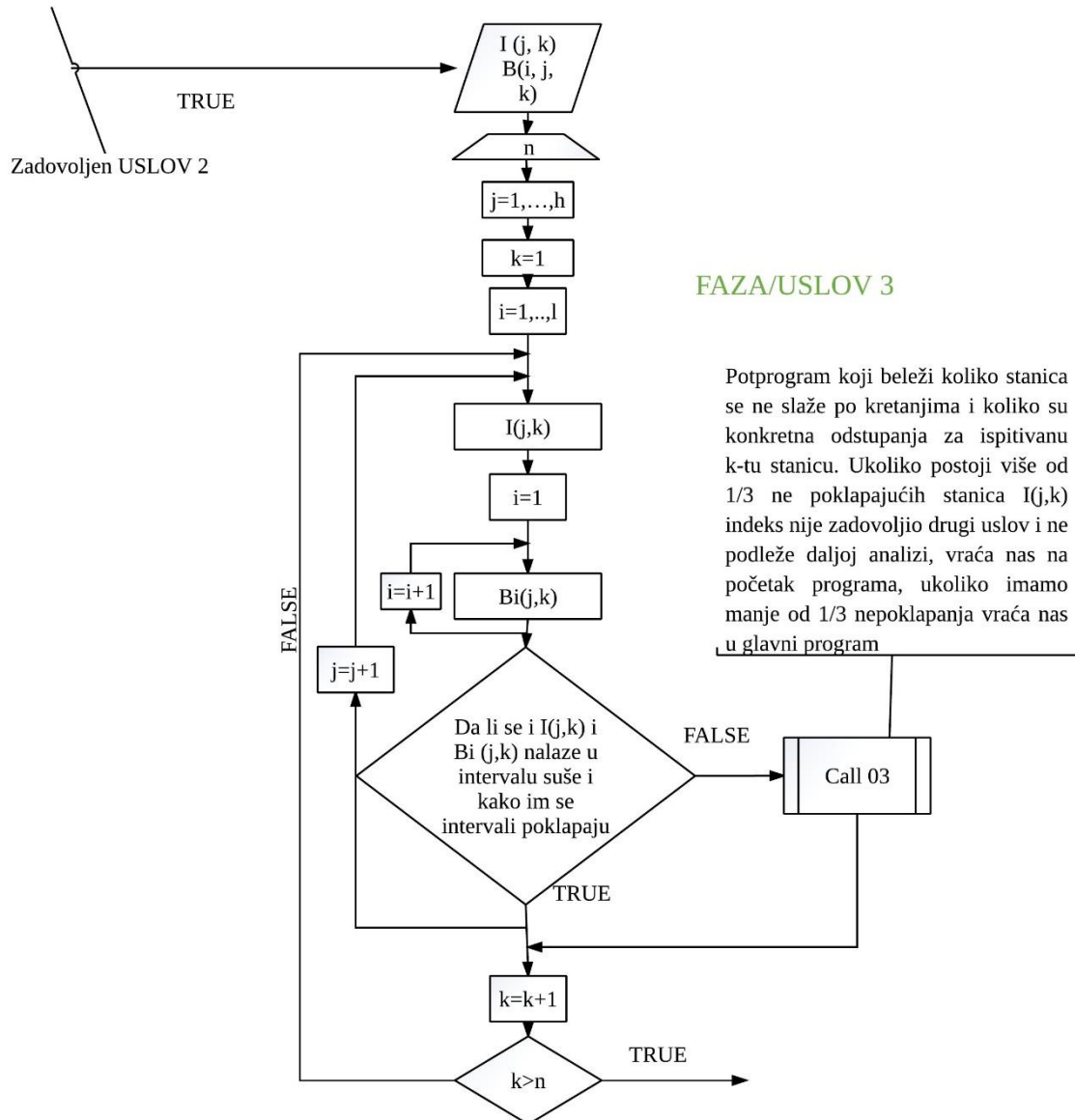


Slika 3.5 MEPIS algoritam ako za izbor napravimo grafičko poređenje indikatora i njihovu kasniju analitičku analizu.

Mera slaganja varijacija dve karakteristike je kovarijansa, odnosno kod jednovremenog posmatranja dveju karakteristika to je mera pravilnosti u njihovim međusobnim vezama. Tako za niz parova $(I_j, x_{i,j})$ imamo:

$$\sigma_{xI} \begin{cases} x: x_1, x_2, \dots, x_N, \bar{x}, \sigma_x^2 \sigma_x \\ I: I_1, I_2, \dots, I_N, \bar{I}, \sigma_I^2 \sigma_I \end{cases} \quad (3.2)$$

gde je kovarijansa za niz prava definisana izrazom



Slika 3.6 MEPIS algoritam ako poređenje i klasifikaciju intervala indikatora radimo u istom koraku.

$$\sigma_{xI} = \frac{1}{N} \sum_1^N (x_i - \bar{x}) (I_i - \bar{I}) \quad (3.3)$$

Posle množenja binoma i sabiranja dobija se:

$$\sigma_{xI} = \frac{1}{N} \sum_1^N x_i I_i - \bar{x} \bar{I} \quad (3.4)$$

Kovarijansa može biti jednaka 0, tj. $\sigma_{xI} = 0$, tada kažemo da su promenljive međusobno nezavisne, odnosno, u varijacijama nizova vlada potpuno neslaganje. U slučajevima kada je σ_{xI} različito od nule postoji izvesna međusobna zavisnost, odnosno slaganje među varijacijama. U slučajevima delimičnog slaganja dveju promenljivih, kada je kovarijansa različita od ± 1 , odnosno kada postoji izvesna labavija veza među promenljivama, kažemo da se radi o stohastičkoj zavisnosti. Stohastička zavisnost može se uočiti u masi, kao tendencija, kao prosečno ponašanje, a ne može se uočiti za pojedinačnu vrednost. Ispitivanje stohastičkih odnosa vrši se između ostalog korelacionom analizom. Korelacionom analizom određuje se kvantitativno slaganje među slučajnim

promenljivama, odnosno ispituje se kakva je mera ili stepen slaganja među njima. Cilj je verifikacija pretpostavke o međusobnoj vezi, koja se ogleda u kvantitativnom slaganju varijacija među promenljivima. Stepem slaganja, odnosno, stepen stohastičke zavisnosti merimo koeficijentom korelacije. U slučaju slaganja indikatora suše sa kretanjima vrednosti merenih promenljivih, tražimo zavisnost linearnog tipa. Za merenje stepena linearne zavisnosti među dvema promenljivama koristi se Pearsonov koeficijent korelacije definisan pomoću kovarijanse

$$r_{xI} = \frac{\sigma_{xI}}{\sigma_x \sigma_I} \quad (3.5)$$

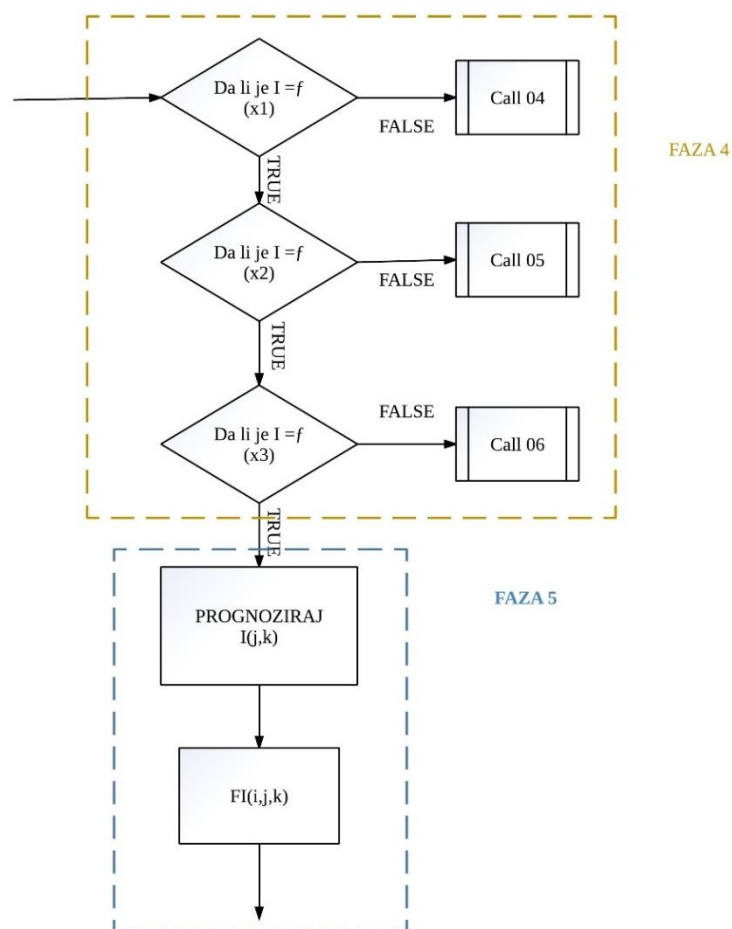
Za vrednosti r_{xI} u intervalu (0,1) kažemo da tačke vrednosti promenljivih x i I ispoljavaju tendenciju linearnog tipa. Odnosno ukoliko je koeficijent korelacije bliži nuli tačke se više rasipaju oko prave, a ukoliko je bliži jedinici tačke se više grupišu oko prave linije. Isto važi i za vrednosti u intervalu (-1,0). Ukoliko je konačna vrednost r_{xI} jednaka 0, onda među tačkama promenljivih nema nikakve veze, odnosno nikakve ispoljene tendencije. U tom slučaju ispitivani indeks suše i nije od značaja jer je potpuno nezavisan on kontrolne promenljive x_i (temperature, padavina, evapotranspiracije), jer nema ni stohastičke ni funkcionalne zavisnosti, te taj i takav indeks nije reprezentativan za praćenje suše. U tom slučaju predviđeno je da MEPIS prekida procenu indeksa i preuzima sledeći indeks ili završava procenu sa zaključkom da odabrani indeks nije zadovoljio sve neophodne uslove.

Uslov da je indeks na proceni u stohastičkoj zavisnosti od parametara sa kojima nije u funkcionalnoj zavisnosti od velikog je praktičnog značaja. Već smo napomenuli da je suša u fizičkom prostoru definisana sa velikim brojem parametara koji nisu svi uključeni u proračun samog indeksa. Ovakvom proverom i uslovljavanjem indeksa stiže se sigurnost da iako indeks ne obuhvata sve promenljive koje definišu sušu ipak je reprezentativan za definisanje i praćenje njenog ponašanja. Pored tri kontrolna parametra, u MEPIS mogu biti dodati drugi parametri od značaja ukoliko ih korisnik primeti, no ne preporučuje se uvođenje provere onih parametara koji su već u sigurnoj funkcionalnoj zavisnosti sa kontrolnim parametrima. Uvođenjem takvih parametara samo bi se produžavalo vreme procene, a ne bi se dobilo na kvalitetu, jer važi da **ukoliko je indeks suše na proceni u stohastičkoj zavisnosti sa odabranim kontrolnim parametrom, onda je u stohastičkoj zavisnosti i sa svim ostalim parametrima koji su funkcionalno zavisni od istog kontrolnog parametra.**

Ukoliko indeks zadovolji da je u funkcionalnoj ili stohastičkoj zavisnosti sa kontrolnim parametrima, ulazi se u fazu provere njegovih prognostičkih sposobnosti. Ova faza deli se na tri podfaze. U ovim fazama od interesa je testirati osetljivost i preciznost indeksa u slučaju primene statističkih metoda i numeričkih metoda prognoze, kao i njegovu osetljivost na izmenu početnih uslova. U eksperimentalnom delu pri testiranju MEPIS-a urađen je eksperimentalni primer testiranja indeksa suše, koji se u sledećim analizama koriste kao reperi pri proceni drugih indeksa suše. U ovoj fazi važi isto pravilo kao i u fazi 3, da ukoliko se procenjivani indeks pokaže bolji i pouzdaniji od postavljenih baznih, tj. repernih indeksa, u tom slučaju taj i takav indeks se postavlja kao novi reporni indeks.

Mozak MEPIS-a koncentrisan je na sistematično testiranje indeksa i njegovih prognostičkih sposobnosti. Korišćenjem više baznih metoda prognoze porede se mogućnosti prostorno vremenskog predviđanja pojave i toka suše pomoću indikatora. Svaka metoda je kompleksan proces za sebe. Zadatak valjanog indikatora je da prilikom prognoze daje podjednako dobre rezultate nezavisno od metode koja se koristi.

Konkretno MEPIS je projektovan da ispita tri metode prognoze, koje su prihvaćene kao reperne metode. Da bi se postigla standardizacija, a ukoliko korisnik uvidi ili predviđa neku drugačiju metodu prognoze od predviđenih, neophodno je da preispita i označi ponašanje svih indeksa u bazi MEPIS-a pre nego što pristupi proverbi novog. Ovakvim pristupom se čini da MEPIS ujedno bude i algoritam koji uči, ali i obezbeđuje jednakost u rangiranju i poređenju indikatora. Opravdanost svake metode pri prognozi trebalo bi da leži u dokazanoj njenoj tačnosti, kao i primenjivosti na sistem monitoringa kao takav.

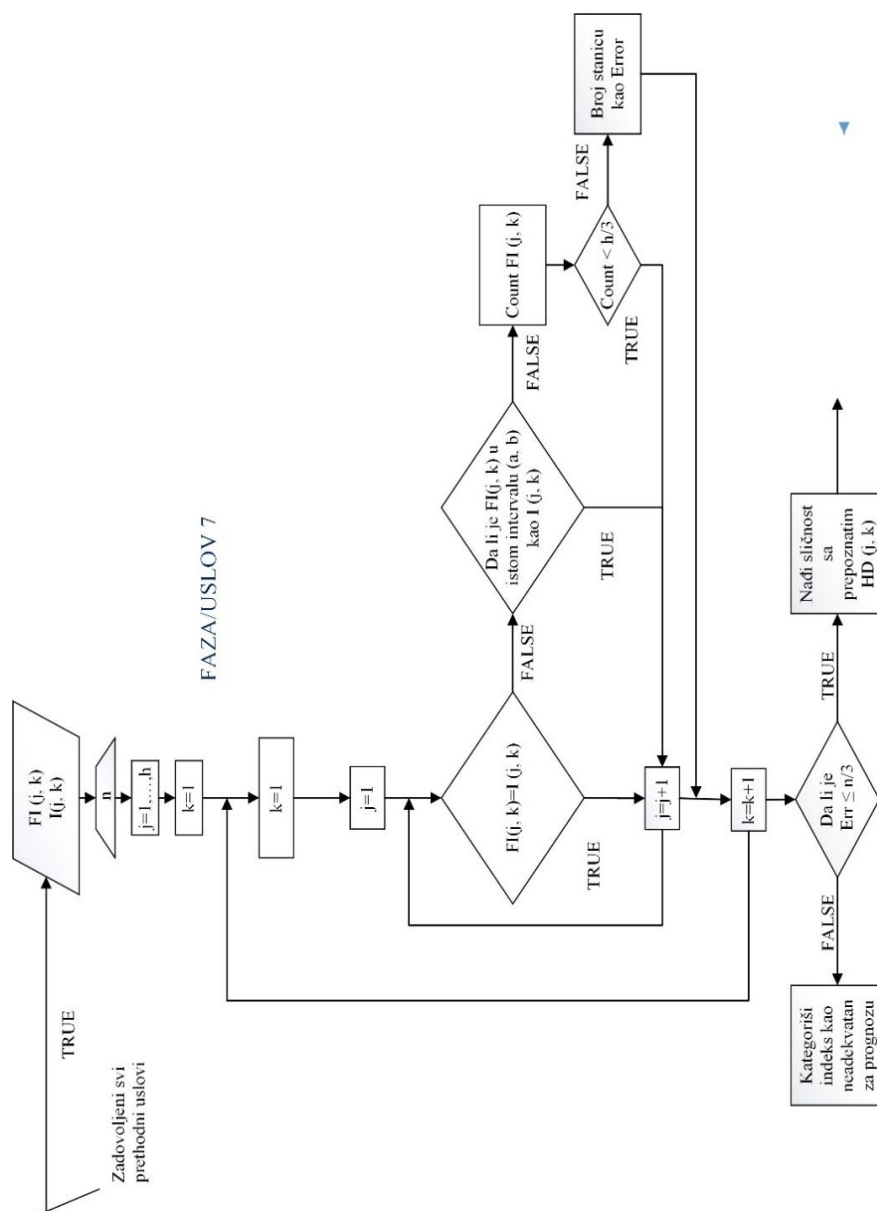


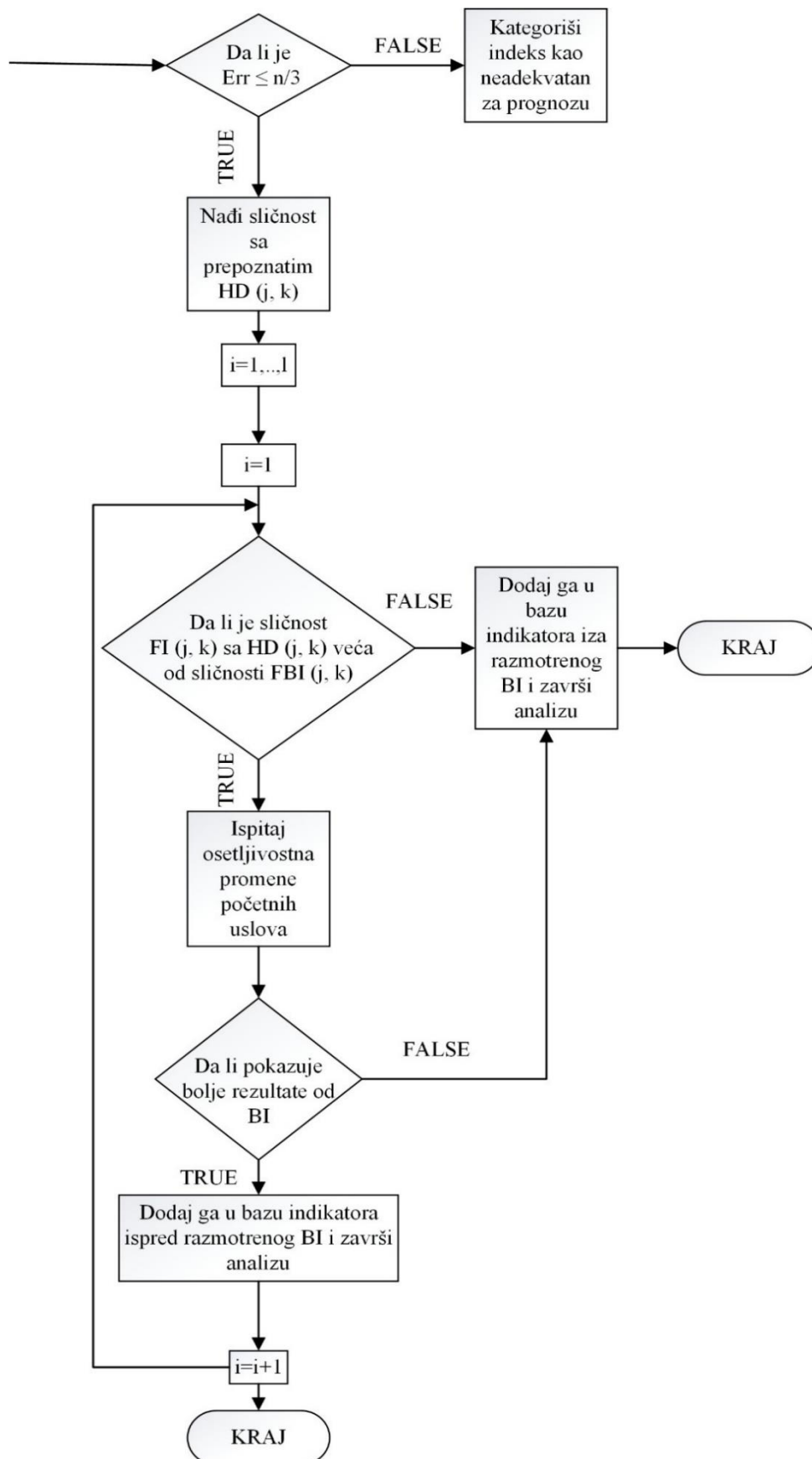
Slika 3.7 Ocena korelacije indeksa suše sa ponašanjem merenih parametara, redom, npr. temperature, padavina i evapotranspiracije.

Poslednja faza algoritma vezana je za zaključak da li je ispitivani indeks bolji ili u istom rangu kao i reperni indeksi, a na osnovu njegove sposobnosti da se koristi u prognozi. U ovom momentu algoritma podrazumeva se da je indeks zadovoljio sve uslove i prošao kroz sve prethodne faze. Znači poštujući imperativni model, ne možemo doći do ovog momenta bez da svi prethodni nisu zadovoljeni. U prvom koraku prognozu radimo u prošlom vremenu, odnosno odabiramo vremenski interval koji ćemo prognozirati a za koji imamo izmerene istorijske podatke. Ovakav pristup omogućava validaciju dobijene prognoze. Dobijeni vremenski niz prognoziranog indeksa poredimo sa vrednostima indeksa dobijenih proračunom iz izmerenih vrednosti meteoroloških parametara, od kojih je indeks suše u funkciji. Faza 5 pretpostavlja da je odabrana metoda prognoze vrednosti indikatora suše adekvatna. Postoji značajna verovatnoća da uspešnost metode prognoze zavisi od samog indikatora. Prednost MEPIS-a je u tom slučaju što unapred definišemo metodu prognoze koja je dostupna i operativna.

Sažetak. MEPIS se sastoji od pet logičkih sekvenci koje prate jedna drugu. Priprema MEPIS-a podrazumeva analizu vremenskih serija hidrometeoroloških faktora koji definišu stanje i prirodu suše. Time se definišu pragovi i odrednice koje svaki indikator suše mora da predvidi u svojim kretanjima, usvajanje istorijskih sušnih događaja. Prva logička sekvenca podrazumeva proračun samog indeksa, druga je njegovo poređenje sa pragovima, odnosno usvojenim istorijskim sušnim događajima. Treća logička sekvenca podrazumeva poređenje referentnog indeksa suše sa novotestiranim. Da bi bio reprezentativan pokazatelj stvarnih vremenskih kretanja indikator suše mora da bude u koordinaciji sa ponašanjem vremenskih nizova meteoroloških i hidroloških promenljivih od značaja. I to proveravamo u četvrtoj logičkoj sekvenci. Peta logička sekvenca MEPIS-a je definisanje metoda analize vremenskih serija kojima će svaki indikator biti podvrgnut a koje su od efektivnog značaja za prognozu suše, odnosno ekstremnih vodnih perioda (suvih ili vlažnih).

Slika 3.8 Algoritam poslednje faze procene indikatora suše sa faznim uslovom.





Slika 3..9 Algoritam poslednje faze procene indikatora suše sa faznim uslovom.

4. Analiza hidrometeoroloških parametara

Eksperimentalni deo rađen je u četiri etape. **Prva etapa** podrazumevala je izučavanje neophodnih ulaznih podataka i njihovu strukturu. **Druga etapa** podrazumevala je proračun razmatranih tradicionalnih indeksa suše i određivanje njihove osetljivosti na promenu proračuna izvedene promenljive PET. **U trećoj etapi** izvršeno je testiranje novog pristupa i proračun IDEA i poređenje sa razmatranim tradicionalnim pristupima. **Četvrta etapa** obuhvatila je diskusiju o mogućnostima primene indeksa u prognozi suše. Svaki korak eksperimentalnog dela u osnovi prati algoritam MEPIS.

4.1 Priprema podataka

Osnovni tipovi podataka korišćeni u analizi suše su vremenske serije meteoroloških parametara. Na meteorološkim stanicama vrši se osmatranje određenih karakteristika hidrolološkog ciklusa (sumarne padavine, srednja maksimalna temperatura vazduha, srednja minimalna temperatura vazduha, srednja temperatura vazduha, srednja brzina vetra iz svih pravaca, srednje trajanje sunčevog sjaj u toku dana, srednja oblačnost, relativna vlažnost vazduha, vazdušni pritisak), koje se mere u tačno određenom vremenskom intervalu na prostorno određenoj lokaciji, meteorološkoj stanici. Uzimajući u obzir karakter podataka, možemo zaključiti da se radi o tačkastim merenjima (prostorno diskontinualnim). Ukoliko postoji zadovoljavajuća gustina tačkastih podataka za odabranu površinu, pomoću interpolacije ili ekstrapolacije možemo odrediti prostorne karakteristike merenih parametara. Prostorne vrednosti uključene su u drugi set podataka. Ovi podaci su obično poznati kao tematski i uglavnom su uskladišteni ili procesirani u okviru geografskog informacionog sistema (GIS). U ovu grupu podataka takođe spadaju podaci koji su konstantni u vremenu, kao što su geološke karakteristike, morfološke strukture itd. Tematski podaci su često osnova različitih tipova modelovanja (npr. modelovanje proticaja podzemnih voda, transport zagađenja i toplote, itd.) Poslednja grupa podataka obuhvata tzv. metapodatke. Metapodaci imaju ulogu katalogiziranja i klasifikacije i predstavljaju u suštini podatke o podacima. Njihova uloga je da opišu podatke iz prve dve grupe. Metapodaci daju informaciju o koordinatama mernih tačaka, načinima merenja, definiciji osmotrenih vrednosti, kvalitetu i tačnosti merenja i mernih jedinica.

Prva faza MEPIS-a čini sagledavanje podataka sa kojima se raspolaže u praksi i koji se mogu koristiti svakodnevno za potrebe procene stanja sistema i prognoze suše. Podaci kojima u Srbiji raspolažemo su podaci iz javnog servisa Republičkog Hidrometeorološkog zavoda (RHMZ) Srbije. Baza prikupljenih podataka uključuje 7 meteoroloških stanica sa podacima o srednjoj mesečnoj temperaturi vazduha i ukupnim mesečnim padavinama, srednjem mesečnom vazdušnom pritisku, srednjoj mesečnoj vrednosti relativne vlažnosti vazduha i proračunatim vrednostima evapotranspiracije po izloženim metodama za vremenski period od 1951 do 2012 (tabele 4.1 i 4.2). Sve vremenske serije proverene su u cilju utvrđivanja nedostajućih podataka. *Generalno gledano podaci sa mernih stanica tokom vremena gube na homogenosti usled gašenja ili nekontinualnog rada stanica. Ne postoji konzistencija u izdavanju i dostupnosti podataka i priroda mernih stanica (primarne, sekundarne, tercijalne) se menjala tokom vremena na teritoriji bivše SFRJ. Nedoslednost u izdavanju i publikovanju podataka, a još više u njihovom merenju i beleženju uslovljava kvalitet podataka kao takvih. Usled toga postoji svega sedam stanica u Vojvodini koje zadovoljavaju homogenost podataka i kontinuitet u merenju (slika 4.1).* Da bi se izbegao problem nedostatka ili problem kvaliteta podataka urađena je analiza homogenosti vremenskih nizova. Hidrometeorološki podaci

formiraju odgovarajuće vremenske sekvence da se mogu proučavati metodama analize vremenskih serija.

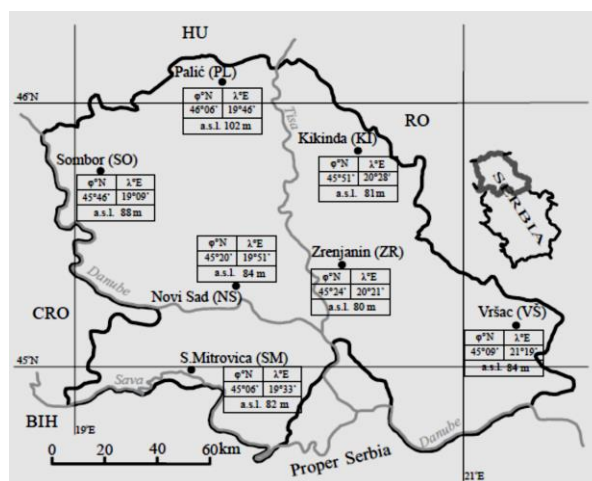
Tabela 4.1 Podaci stanica sa kojih su obrađeni podaci

Ime stanice	Akronim	Geo. širina	Geo. dužina	WMO šifra stanice	Nadmorska visina (m.n.m)
Palić	PL	46° 06 N	19° 46 E	130670	102
Novi Sad – Rimski Šančevi	NS	45° 20 N	19° 51 E	131680	84
Sombor	SO	45° 46 N	19° 09 E	131600	88
Zrenjanin	ZR	45° 24 N	20° 21 E	131730	80
Kikinda	KI	45° 51 N	20° 28 E	131740	81
Vršac	VŠ	45° 09 N	21° 19 E	131830	84
Sremska Mitrovica	SM	45° 06 N	19° 33 E	132660	82

Tabela 4.2 Korišćeni podaci i vreme osmatranja sa hidrometeoroloških stanica RHMZ

Stanice obuhvaćene istraživanjem	Meteorološki parametri uzeti u razmatranje	Vreme osmatranja
Palić	Sumarne padavine	1951-2012
Novi Sad – Rimski Šančevi	Srednja maksimalna temperatura vazduha	
Sombor	Srednja minimalna temperatura vazduha	
Zrenjanin	Srednja temperature vazduha	
Kikinda	Srednja brzina vetra iz svih pravaca	
Vršac	Srednje trajanje sunčevog sjaj u toku dana	
Sremska Mitrovica	Srednja oblačnost	
	Relativna vlažnost vazduha	
	Pritisak	
Ime stanice	Hidrološke stanice	Vreme osmatranja
Bezdan	Relativan vodostaj	1951-2012
Bogojevo	Apsolutni vodostaj	
Novi Sad		

U matematičkoj statistici postoji niz alata koji inženjerima omogućavaju da reše problem određivanja frekvencije dešavanja određenih hidrometeoroloških pojava (Shaw, 1994). Klimatski podaci mogu se koristiti da se generiše ogromna količina informacija o ponašanju atmosfere i prirodi vremenskih promena koje utiču na sve aspekte ljudske delatnosti (Aguilar et al., 2003). Mnogi faktori utiču na kvalitet i pouzdanost podataka prikupljenih na meteorološkim stanicama. Prilikom korišćenja podataka od velikog značaja je kako su oni prikupljeni (lokacija, uslovi merenja, sam instrument, preciznost stručne osobe prilikom očitavanja podataka itd.), šta fizički zaista znače (svaki izmeren podatak mora biti strogo fizički određen i tačno definisan) i kako se analizom, odnosno primenjenim tehnikama i metodama analize podataka menja njihova struktura i fizički značaj. Konkretno vremenske serije padavina pod uticajem su lokacije kišomera, način i metod prikupljanja podataka kao i kvalitet očitanih vrednosti utiču na homogenost strukture podataka (Dikbas et al., 2010). Iz tih razloga se pouzdanost i kvalitet podataka korišćenih u analizama testiraju statistički. Kada je vremenska serija homogena strukture, tada možemo reći da je osmotrena vremenska serija pouzdana klimatska serija. Homogena klimatska serija može se definisati kao vremenska serija podataka u kojoj su varijacije u samim podacima strogo i jedino posledica varijacija u samim vremenskim uslovima i klimi (Keiser and Grieffiths, 1997).



Slika 4.1 Geografske lokacije meteoroloških stanica u Vojvodini i njihove koordinate.

Drugim rečima, ukoliko su vremenske serija padavina ili temperature homogene, to znači da su sve promene i varijacije unutar serije posledica atmosferskih procesa. No, veliki broj klimatskih serija nalazi se pod uticajem drugih brojnih ne-klimatskih faktora, koji čine podatke nereprezentativnim za praćenje klimatskih varijacija tokom vremena (Aguilar et al., 2005). Pod ove faktore možemo navesti sve promene koje menjaju uslove dobijanja podataka, pri čemu je cilj tokom generisanja vremenske serija održati uslove istima. Pod istim uslovima možemo podrazumevati stalnost u sledećim osobinama: regulativa merenja (termini osmatranja, postavljanje instrumenata), lokacija mernog mesta, meteorološke stanice (ekspozicija, položaj, okolina i promene okoline), merni instrumenti (princip rada instrumenata, fizičke osobine, ispravnost, kalibracija), osmatrači (pravilnost u radu, ostvareni kvalitet). Ako bilo šta od ovoga nije ispunjeno, onda takva promena može da izazove nehomogenost vremenskog niza klimatoloških podataka. Neke promene mogu se iskazati приметnim diskontinuitetom u vrednostima merenih parametara, dok se druge mogu lagano apsorbovati u podatke čineći da oni postepeno ugrađuju grešku u sebe. Ovakva očitavanja često pogrešno možemo osmotriti kao trend ili klimatsku promenu. Iz tih i takvih razloga neophodno je utvrditi homogenost i nedostatke vremenskih serija u upotrebi, i po mogućnosti ustanoviti moguće greške upotrebom sirovih neizmenjenih vremenskih serija. Na homogenost nizova utiče regulativa merenja koja je ustanovljavana međunarodnim konvencijama, počev od Bečke konferencije 1848. do postojećih pravila i preporuka koje propisuje Svetska meteorološka organizacija (WMO). Međutim, postoje razni uslovi rada neke meteorološke stanice, i oni se mogu menjati kroz istoriju. Promena neke regulative je administrativni uzrok nehomogenosti, i on je sveden na minimum. Izučavajući klimatološke godišnjake u nadležnosti RHMZ možemo uočiti brojne primere stanica koje su menjale nadležnost ili način rada, kao i nacionalne regulative. Metodi prikupljanja podataka takođe su menjani tokom vremena tako da su termini osmatranja jedan od tipičnih problema, jer jedna stanica radi samo danju, druga 24 sata dnevno, ili se u istoriji prelazilo sa recimo izračunavanja srednje temperature iz T_{max} i T_{min} na izračunavanje iz tri klimatološka termina, ili osam sinoptičkih. Lokacija mernog mesta nije uvek ista. Stanice se ponekad premeštaju sa jedne lokacije na drugu iz tehničkih, praktičnih, pa čak i vlasničkih razloga. Okolina stanice se menja, počev od banalnih uzroka u rastu i seči drveća i drugog rastinja, preko ogoljavanja ili zatravljivanja tla, izgradnje ili rušenje nekog objekta u blizini stanice, pa do urbanizacije čitavog mesta. Pri tom je gotovo nemoguće parametrizirati i proceniti uticaj bilo kog od uzroka promene

okoline. Merni instrumenti se menjaju sa razvojem tehnologije. Krajnja instanca nehomogenosti leži u ljudskom faktoru. Metapodaci sa svake stanice su dodatni podaci koji nose informaciju o svim promenama tehničke prirode na lokaciji stanice. Vođenje tih beleški je propisano, pa ipak u praksi metapodaci nisu javno dostupni niti postoje kontinualni zapisi. Sve navedene promene stvaraju nehomogenosti u vremenskim serijama.

4.2 Analiza homogenosti

U statističkom pogledu pojam homogenosti uzoraka po pravilu pretpostavlja da se za dva nezavisna uzorka $(X_{11}, X_{21}, X_{31}, \dots, X_{n1})$ i $(X_{12}, X_{22}, X_{32}, \dots, X_{n2})$ proverava da li pripadaju istoj populaciji sa posmatranim obeležjem X . U zavisnosti od kriterijuma tačnosti i svrhe ispitivanja testiraju se nulte hipoteze, protiv odgovarajućih alternativnih. Testiranje hipoteze je svaki postupak verifikacije statističke hipoteze. Cilj testiranja hipoteze je njeno prihvatanje ili odbacivanje pri čemu se verifikacija obavlja odabranom statističkom metodom. Polazna ili tzv. nulta hipoteza označava se sa H_0 . Druga hipoteza naziva se alternativna hipoteza i označava se sa H_a . Pravilo za testiranje hipoteze H_0 je statistički test. Statistika na osnovu koje se vrši testiranje zove se test statistika. Svaki realizovani uzorak obima n , definiše jednu tačku n -dimenzionalnog prostora, R^n . Pri testiranju statističkih hipoteza po pravilu se definiše podskup skupa R^n skup C koji služi kao kriterijum za odbacivanje, odnosno prihvatanje nulte hipoteze i to: ako je $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \in C, H_0$ se odbacuje, a ako je $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \in C^c$ nema razloga da se H_0 odbaci. Pri čemu važi da je $C^c \cup C = R^n$. Skup svih vrednosti za koje je $C \subset R^n$ za koje se H_0 odbacuje je kritična oblast testa. Prilikom tumačenja rezultata testa možemo doneti dve odluke, da odbacimo odnosno prihvatimo nultu hipotezu. Pri toj odluci možemo načiniti dva tipa greške. *Greška prve vrste* je greška koju činimo ako odbacimo moguću tačnu hipotezu. Situacija pri kojoj se čini ova greška nastaje kada realizovani uzorak upadne u kritičnu oblast iako je H_0 tačna, pa se H_0 odbaci. *Greška druge vrste* čini se kada se nulta hipoteza prihvati, a zapravo nije tačna. Najčešće pri analizi izražavamo verovatnoću (%) da učinimo grešku prve vrste odbacivanjem hipoteze H_0 . Pored određivanja tačnosti hipoteze, određujemo i *prag značajnosti testa*. Statistički testovi kod kojih raspodela test statistike bitno zavisi od raspodele posmatranog obeležja su parametarski testovi, a testovi kod kojih raspodela test statistike ne zavisi od raspodele posmatranog obeležja su neparametarski testovi (Popović and Blagojević, 1999). Takođe, testove homogenosti možemo podeliti i na apsolutne i relativne. U prvoj grupi testova, statistički test se primenjuje na skupove podataka svake stanice zasebno. Kod drugog skupa testova, procedura testiranja zavisi od referentne stanice (podaci sa susednih stanica) za koje pretpostavljamo da su homogene. Oba pristupa imaju svoje prednosti i mane stoga je dobro uraditi testove iz različitih grupa. U radu smo koristili nekoliko tehnika testiranja homogenosti koje su ukratko izložene.

Aleksandersonov test (SNHT – Standard Normal Homogeneity Test) koristi se za ispitivanje relativne homogenosti višegodišnjih serija meteoroloških elemenata i predstavlja jednu od esencijalnih metoda koje se koriste prilikom proučavanja klimatskih promena (Alexandersson, 1986; Hanssen-Bauer et al., 1991; Toumenvirta and Alexandersson, 1997; Kaliq and Ouarda, 2007). Početnu formulaciju metoda testiranja kreirao je Houkins (Hawkins, 1977), koja je kasnije razvijena u SNHT. SNHT se zasniva na pretpostavci da je odnos između vrednosti na testiranoj stanici (test stanica) i vrednosti okolne stanice (referentna stanica) gotovo konstantan sa vremenom. Nehomogenost u jednoj od serija se otkriva pomoću sistematske promene

tog odnosa. Odnosno nulta hipoteza pretpostavlja normalnu distribuciju međusobno nezavisnih podataka, a alternativna hipoteza pretpostavlja prekid u ponašanju podataka u nizu. SNHT je sposoban da locira period (mesec ili godina) prekida i osetljiv je na prekide na krajevima vremenskih serija, te ga je dobro kombinovati sa testovima koji su osetljiviji na prekide u sredini serije poput Pettitovog ili Buishandovog testa homogenosti. Buishandov Rang test (Buishand, 1982; Wijngaard et al., 2003) je parametarski test koji pretpostavlja pod nultom hipotezom da vrednosti test promenljivih su nezavisne i raspoređene po normalnoj raspodeli. Kao alternativna hipoteza, stoji pretpostavka da postoji prekid u podacima u nekom vremenskom koraku. Test je sposoban da locira period (mesec ili godinu) mogućeg prekida, a najosetljiviji je na prekide u sredini vremenske serije. R test (Buishand, 1982) je agregat Buishandovog testa homogenosti. Pettit test homogenosti (Pettit, 1979; Wijngaard et al., 2003) je neparametarski test koji otkriva prekid u ponašanju u vremenskom nizu podataka. Nulta hipoteza pretpostavlja da su podaci nezavisni i slučajno kvantitativno raspoređeni. Alternativna hipoteza je da postoji promena u podacima u nekom vremenskom koraku. Ovaj test je blizak logici statistike Mann-Withni-ja. Najtačniji je u centralnim delovima nizova i preciznost mu opada prema krajevima.

Dobri rezultati testova homogenosti odgovaraju i na ključno pitanje pri analizi vremenskih serija, da je posmatrana promenljiva u vremenu t , nezavisna u odnosu na prethodna dešavanja u vremenskom nizu.

4.2.1 Rezultati analiza homogenosti vremenskih serija padavina

Padavine na slivu su najznačajniji klimatski faktor kod određivanja hidrološkog režima i određivanja suše. Padavine determinišu neophodne ulaze na sliv odnosno osmatrano područje. U disertaciji su obrađene vremenske serije padavina za period 1951-2012. Da bismo vremenske serije mogli uvrstiti u arhivu ulaznih podataka neophodno je bilo proveriti njihovu homogenost. Rezultati odabranih testova homogenosti sa pragom značajnosti $\alpha = 0,05$, vremenskih serija sumarnih mesečnih padavina za nizove u celosti dati su u tabelama 4.3-4.5.

Tabela 4.3 Rezultati Pettittovog testa homogenosti

Stanica	K	t	p	H ₀	Greška prve vrste
NS	12459,00	514	0,189	OK	18,86%
SO	7942,00	497	0,724	OK	72,44%
ZR	8875,00	120	0,577	OK	57,68%
KI	7760,00	354	0,739	OK	73,88%
VŠ	9711,00	379	0,471	OK	47,07%
SM	10077,00	379	0,423	OK	42,33%
PL	11718,00	630	0,254	OK	25,44%

Tabela 4.4 Rezultati SNHT testa homogenosti

Stanica	T0	t	p	H ₀	Greška prve vrste
NS	7,284	528	0,242	OK	24,16%
SO	4,193	720	0,644	OK	64,40%
ZR	2,669	720	0,915	OK	91,51%
KI	3,402	720	0,793	OK	79,30%
VŠ	2,130	67	0,970	OK	96,99%
SM	5,628	727	0,407	OK	40,67%
PL	7,218	630	0,246	OK	24,63%

Na osnovu dobijenih rezultata homogenosti vremenskih serija ukupnih mesečnih padavina ustanovljeno je da su ovi podaci prihvatljivi i usvojeni su u bazu ulaznih podataka kao takvi za proračun odgovarajućih indeksa suše.

Tabela 4.5 Rezultati Buishandovog testa homogenosti

Stanica	Q	t	p	H ₀	Greška prve vrste
NS	33,438	528	0,083	OK	8,30%
SO	20,622	483	0,580	OK	58,30%
ZR	17,260	528	0,781	OK	78,10%
KI	16,838	630	0,804	OK	80,43%
VŠ	14,906	379	0,906	OK	90,56%
SM	22,519	379	0,471	OK	47,12%
PL	26,640	602	0,274	OK	27,37%

4.2.2 Rezultati analize homogenosti vremenskih serija temperatura vazduha

Analizirane su vremenske serije srednje mesečne i maksimalne mesečne temperature vazduha za period 1951-2012. Rezultati testova homogenosti za vremenske serije srednjih temperatura sa pragom značajnosti 0,05 prikazani su u tabelama 4.6.

Tabela 4.6 Proračunate p-vrednosti.

Stanica	Pettit	SNHT	Buishand	R
NS	0,518	0,784	0,598	0,873
SO	0,347	0,821	0,444	0,722
PL	0,458	0,726	0,533	0,817
ZR	0,395	0,792	0,449	0,745
KI	0,424	0,847	0,514	0,807
VŠ	0,521	0,702	0,626	0,846
SM	0,593	0,791	0,725	0,937

Vrednosti relevantnih parametara analize na osnovu kojih se može zaključiti da su nizovi homogeni date su u tabeli 4.7.

Tabela 4.7 Vrednosti intervala poverenja i greške prve vrste.

Stanica	Pettit		SNHT		Buishand		R	
	99% interval poverenja	Greška prve vrste	99% interval poverenja	Greška prve vrste	99% interval poverenja	Greška prve vrste	99% interval poverenja	Greška prve vrste
NS	0,505-0,531	51,83	0,773-0,795	78,40	0,586-0,611	59,82	0,865-0,882	87,33
SO	0,335-0,359	34,72	0,811-0,831	82,08	0,432-0,457	44,43	0,710-0,733	72,18
PL	0,446-0,471	45,84	0,715-0,738	72,63	0,520-0,545	53,25	0,807-0,827	81,67
ZR	0,382-0,407	39,48	0,781-0,802	79,17	0,436-0,462	44,90	0,734-0,756	74,50
KI	0,411-0,437	42,42	0,838-0,856	84,71	0,501-0,526	51,35	0,797-0,817	80,71
VŠ	0,508-0,534	52,08	0,690-0,713	70,15	0,614-0,639	62,63	0,937-0,855	84,59
SM	0,580-0,606	59,29	0,781-0,802	79,13	0,713-0,736	72,49	0,931-0,944	93,74

Na osnovu dobijenih rezultata možemo zaključiti da su analizirani vremenski nizovi homogeni.

4.2.3 Rezultati analize homogenosti vremenskih serija PET

Analizirane su vremenske serije proračunate PET Hagreavesovom metodom na sedam stanica u Vojvodini. Rezultati testova homogenosti za vremenske serije PET sa pragom značajnosti 0,05 dati su u tabelama 4.8 i 4.9

Tabela 4.8 Proračunate p-vrednosti.

Stanica	Pettit	SNHT	Buishand	R
NS	0,822	0,963	0,977	1,000
SO	0,560	0,930	0,772	0,974
PL	0,940	0,951	0,979	0,998
ZR	0,967	0,936	0,990	1,000
KI	0,960	0,943	0,987	0,999
VŠ	0,844	0,946	0,930	0,993
SM	0,793	0,929	0,908	0,986

Tabela 4.9 Vrednosti intervala poverenja i greške prve vrste.

Stanica	Pettit		SNHT		Buishand		R	
	99% interval poverenja	Greška prve vrste	99% interval poverenja	Greška prve vrste	99% interval poverenja	Greška prve vrste	99% interval poverenja	Greška prve vrste
NS	0,812-0,832	82,18	0,958-0,968	96,27	0,973-0,981	97,71	0,999-1,000	99,98
SO	0,547-0,572	55,97	0,923-0,936	92,98	0,761-0,783	77,22	0,970-0,978	97,41
PL	0,934-0,946	94,04	0,945-0,956	95,08	0,976-0,983	97,93	0,996-0,999	99,75
ZR	0,962-0,972	96,70	0,929-0,942	93,58	0,987-0,993	99,00	0,999-1,000	99,98
KI	0,955-0,965	96,01	0,937-0,949	94,30	0,984-0,990	98,72	0,999-1,000	99,94
VŠ	0,835-0,853	84,41	0,940-0,951	94,56	0,923-0,936	92,98	0,991-0,995	99,28
SM	0,782-0,803	79,25	0,922-0,936	92,89	0,900-0,915	90,76	0,983-0,989	98,59

Vremenske serije prihvaćene su za dalju analizu bez korekcija.

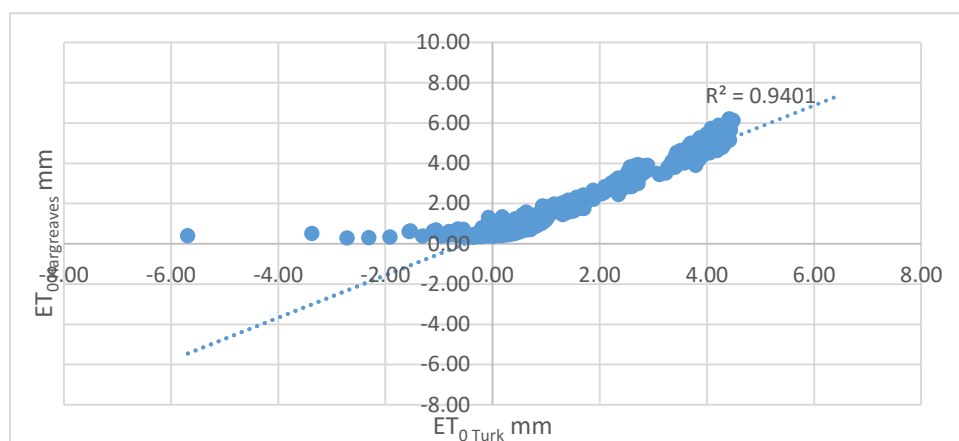
4.3 Model strukture baze ulaznih podataka

Poznato je da od kvaliteta i obima podataka zavisi i kvalitet obračuna i analiza. Da bi postojala standardizacija u pristupu procene indikatora predložimo usvajanje jedne baze ulaznih podataka koji bi na uniforman način bili pripremljeni i uvršćeni u bazu. Kako indikatori suše često zavise od regiona za koji su projektovani neophodno je biti siguran da su funkcionalni i za druge prostore. Ujedno od značaja je da poredimo različite indikatore. Da bismo mogli imati ovaj pristup neophodni su provereni podaci koji bi bili dostupni svakome ko želi da proveri, proceni i rangira svoj indikator. Sa tim na umu formirana je arhiva ulaznih podataka gde su svi vremenski nizovi prethodno provereni na isti način. Svaka stanica u arhivi definisana je sa šest parametra (ime, akronim, geografska širina, geografska dužina, WMO šifra stanice i nadmorska visina)(tabela 4.1). Ovo je uniformni pristup opisa mesta odakle podatak potiče. Svaka stanica ima pripadajuće homogene nizove vrednosti sumarnih mesečnih padavina, evapotranspiracije, srednjih mesečnih temperatura vazduha, maksimalnih temperature vazduha, pritiska i relativna vlažnosti vazduha za određeni vremenski period. Drugi cilj baze ulaznih podataka je da se prilikom proračuna indikatora korisnik može priključiti na nju ne menjajući strukturu svog programa. Drugim rečima, poznato je da se izvorni kodovi pišu u različitim jezicima, što programskim što lingvističkim, te su oznake promenljivih različite. Da bi budući korisnik mogao koristiti bazu a da pri tom ne menja njenu strukturu niti vrši promene u svom kodu, predlaže se među korak, koji podrazumeva upitnik i indentifikaciju promenljivih. U tom koraku korisnik se

obaveštava o redosledu promenljivih i njihovim nazivima u bazi i traži se da identifikuje svoje promenljive. Nakon toga, ne menjajući nikakve nazive u bazi niti podatke, za traženu promenljivu baza će izlistati podatke koje je korisnik identifikovao pod svojim imenom i može ih direktno uvući u svoj kod za proračun.

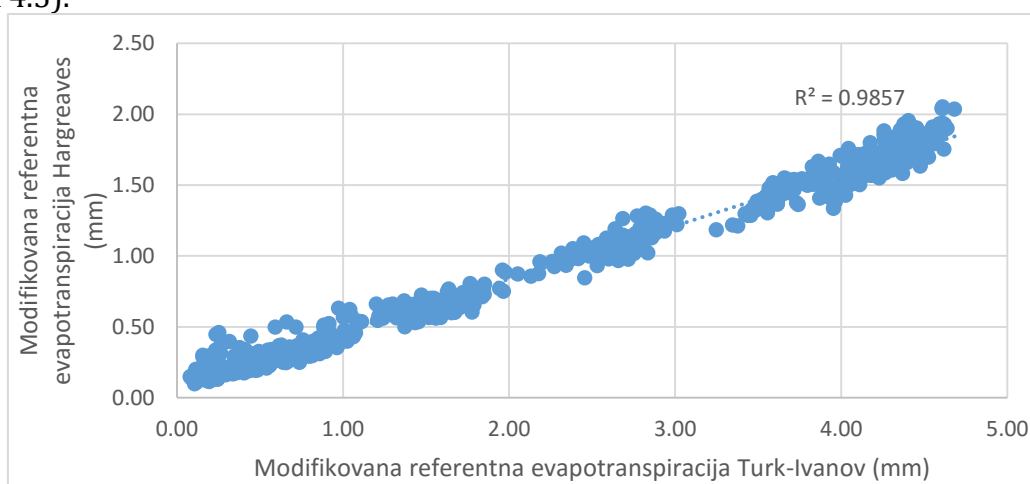
4.4 Analiza ET_0

Turkova metoda (TURC), daje standardno dobre proračune na svim područjima koja su uzeta u razmatranje. Daljom analizom uočeno je ne slaganje vrednosti isparavanja pri vrednostima srednje temperature bliskim nuli (slika 4.2).



Slika 4.2 Korelacija kretanja referentne evapotranspiracije izračunate po Hargreaves-ovoj metodi i po Turkovoj metodi za Novi Sad, Vojvodina.

Na osnovu dobijenih rezultata usvojena je smena Turkove formule formulom Ivanova za vrednosti evapotranspiracije kada je srednja mesečna temperatura u intervalu $[0,1]$. Izmenjena formula omogućava pouzdan, jednostavan i brzi proračun evapotranspiracije na većini lokacija na kojima postoje makar merenja temperature vazduha i vlažnosti vazduha. Analiza dobijenih vremenskih serija ukazala je na dobro slaganje dobijenih vrednosti modifikovane Hargreavesove metode i modifikovane Turk-Ivanov metode (slika 4.3).

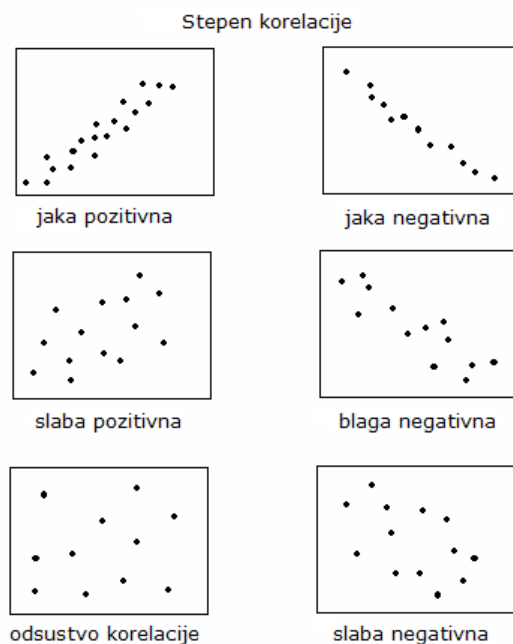


Slika 4.3 Korelacija kretanja referentne evapotranspiracije izračunate po modifikovanoj Hargreaves-ovoj metodi i po modifikovanoj Turk-Ivanov metodi za Novi Sad, Vojvodina.

Za referentnu evapotranspiraciju u disertaciji je usvojena metoda Hargreaves-a.

4.5 Određivanje prostorne korelacije

Korelacija (lat. *con* = sa, *relatio* = odnos) predstavlja odnos ili međusobnu povezanost između različitih pojava predstavljenih vrednostima dveju promenljivih. Pri tome ova povezanost znači da je vrednost jedne promenljive moguće sa određenom verovatnoćom predvideti na osnovu saznanja o promenama druge promenljive. Koeficijent korelacije je mera jačine linearne veze, ako je bliža 1, onda se dve usko povezane promenljive mogu predvideti jedna na osnovu druge korišćenjem linearne jednačine. Ukoliko je mera pravca: pozitivna korelacija ukazuje da se promenljive X i Y povećavaju ili smanjuju zajedno, a negativna korelacija ukazuje da dok jedna promenljiva opada, druga raste. Korelaciona veza dve pojave naziva se prostom korelacijom. U klasičnom modelu proste korelacije obe posmatrane pojave su slučajne promenljive, od kojih ni jednu nije nužno identifikovati kao zavisnu, odnosno nezavisnu promenljivu. Kada nam je očigledno da korelacija između posmatranih pojava postoji, a pri tome ne možemo unapred odrediti nezavisno, odnosno zavisno promenljivu, tada određujemo meru njihovog međusobnog slaganja, odnosno stepen njihove korelacije. Postojanje kvantitativnog slaganja (korelacione veze) dve pojave otkriva dijagram raspršenosti. Tačke koje na dijagramu raspršenosti pokazuju prostu korelaciju pojava biće locirane na površini čiji se oblik približava elipsi. Na slici 4.4 se vidi raspored tačaka na dijagramu raspršenosti u slučaju jake korelacije (funkcionalne zavisnosti), blage korelacije, slabe korelacije i odsustva korelacije. U slučaju potpunog kvantitativnog slaganja varijacija - savršene korelacije, tačke osmatranja će biti na istoj krivoj, a sasvim raspršene kad je korelacija neznatna ili je uopšte nema. Prema obliku rasporeda tačaka na dijagramu, prosta (blaga ili slaba) korelacija može biti linearna ili krivolinijska i, zavisno od smera slaganja, direktna ili inverzna. Kad obe posmatrane pojave pokazuju tendenciju istog smera (obe rastu ili obe opadaju), imaćemo direktnu korelacionu vezu, a kad se njihove promene kreću u suprotnom smeru (jedna raste dok druga opada) inverznu.



Slika 4.4 Raspršenost dijagrama i stepen korelacije.

Tabela 4.10 Vrednosti proticaja Q₁ i Q₂ na stanicama 1 i 2

Q ₁	Q ₂	Q ₁ ·Q ₂	Q ₁ ²	Q ₂ ²
1787,44	1392,52	2489044,89	3194954,96	1939102,29
1924,99	233,33	449159,14	3705567,79	54443,46
2187,07	1162,78	2543077,67	4783269,86	1352055,02
1986,11	1556,41	3091200,15	3944616,60	2422420,06
2796,20	2894,31	8093071,41	7818739,81	8377028,31
2212,77	1772,01	3921040,06	4896329,82	3140016,24
1870,66	1659,68	3104688,62	3499370,81	2754521,30
1793,34	1515,31	2717453,59	3216053,11	2296154,25
1642,74	1336,57	2195646,40	2698603,14	1786429,08
1541,65	1081,60	1667450,60	2376697,17	1169855,19
1793,34	909,76	1631496,33	3216053,11	827654,32
2613,57	2019,49	5278086,12	6830762,94	4078342,83
1961,56	1569,04	3077763,81	3847723,83	2461878,88
2641,32	1990,39	5257250,01	6976557,78	3961649,64
2690,18	1881,75	5062230,32	7237060,45	3540964,73
3058,00	2967,65	9075070,12	9351360,95	8806942,45
3392,06	1202,12	4077663,86	11506049,27	1445095,72
4469,53	4182,79	18695116,46	19976721,31	17495732,85
3223,09	2977,80	9597713,07	10388321,83	8867274,02
2290,62	1938,27	4439844,65	5246951,49	3756890,18
1805,14	1496,28	2700991,79	3258544,36	2238839,14
1464,82	949,13	1390308,97	2145702,88	900851,21
1443,16	905,62	1306946,98	2082704,29	820140,63
1858,68	1553,52	2887497,18	3454677,96	2413434,79

Kao mera jačine proste linearne korelacione veze koriste se kovarijanse i koeficijent proste linearne korelacije. Kovarijansu linearne korelacije definišemo po sledećoj formuli:

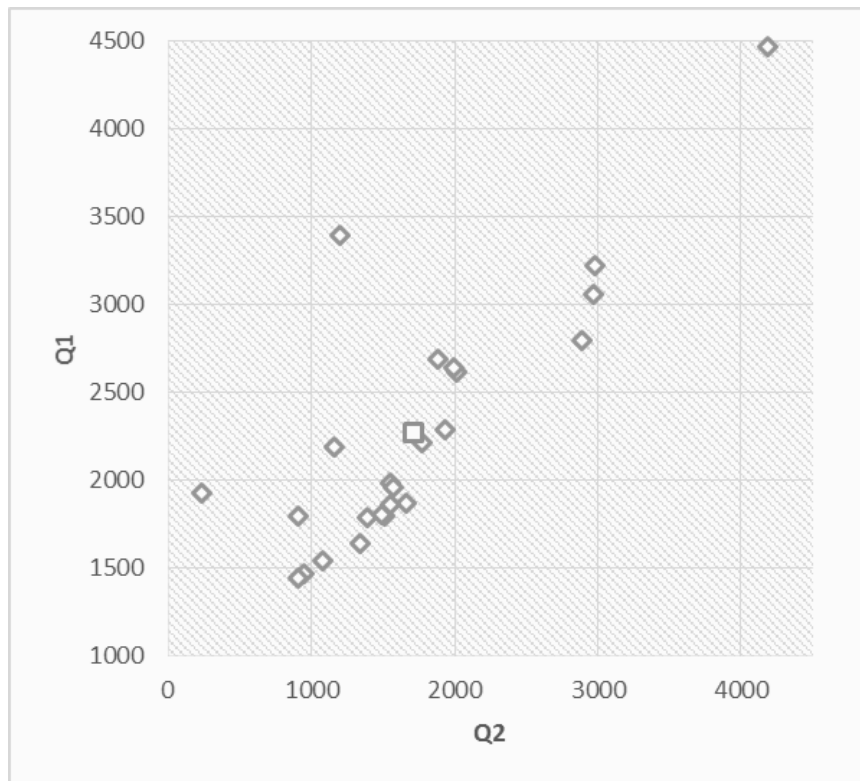
$$cov(X, Y) = E(XY) - E(X)E(Y) \quad (4.1)$$

gde je X npr. proticaj na stanici Q₁ (Bezdan) uzvodno od stanice Q₂ (Novi Sad), x km, a Y je proticaj na stanici Q₂. U tabeli 4.10 je dat primer proticaja na stanici 1 i na stanici 2 u određenom periodu, a u ostale tri kolone su izračunate vrednosti potrebne za izračunavanje ocene kovarijanse.

Na slici 4.5 prikazan je dijagram raspršenosti za proticaje Q₁ i Q₂, a posebno je svojim koordinatama obeležena tačka koja predstavlja aritmetičke sredine posmatranih pojava Q₁ i Q₂. Ta tačka se naziva centroidom podataka, a prosek proizvoda odstupanja pojedinih vrednosti Q₁ i Q₂ od te tačke kovarijansom. Ocena kovarijanse skupa na temelju podataka uzoraka dobija se po formuli:

$$S_{xy} = \sigma_{xy} = \frac{\sum[(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{n-1} \quad (4.2)$$

Za x=Q₁ i y=Q₂, gde su n – veličina uzorka, a n-1 broj stepeni slobode.



Slika 4.5 Dijagram raspršenosti za primer proticaja na stanicama Q_1 i Q_2

Kovarijansa zavisi u velikoj meri od veličine vrednosti posmatranih pojava. Te ukoliko bi se nivo proticaja promenio za red veličine, kovarijansa bi se isto promenila za red veličine, iako bi relacije njihovih odstupanja od centroida ostale nepromenjene. Ostao bi nepromenjen i stepen njihovog međusobnog slaganja. Ovo ograničava primenu kovarijanse kao mere korelacije (Brown et al., 1977). Za sagledavanje veze između dve linearno međuzavisne promenljive najčešće se upotrebljava koeficijent korelacije. U korelacionoj analizi se po pravilu koristi relativna mera korelacije, zasnovana na standardizovanim odstupanjima od centroida, koja se naziva Pirsonovim koeficijentom proste linearne korelacije. Pirsonov koeficijent korelacije (r) koristi se u slučajevima kada između promenljivih posmatranog modela postoji linearna povezanost i neprekidna normalna distribucija. Vrednost Pirsonovog koeficijenta korelacije kreće se od +1 do -1. Predznak koeficijenta ukazuje na smer korelacije. Ovako definisan koeficijent korelacije bazira se na upoređivanju stvarnog uticaja posmatranih promenljivih, jedne na drugu u odnosu na maksimalni mogući uticaj dve promenljive. Za izračunavanje koeficijenta korelacije potrebne su tri različite sume kvadrata: suma kvadrata promenljive X, suma kvadrata promenljive Y i suma množilaca promenljivih X i Y. Ocenu ovog koeficijenta u skupu, ρ_{xy} , predstavlja koeficijent proste linearne korelacije uzorka r_{xy} :

$$r_{xy} = \rho_{xy} = \frac{S_{xy}}{S_x S_y} \quad (4.3)$$

gde S_{xy} predstavlja ocenu kovarijanse a,

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \text{ i } S_y = \sqrt{\frac{\sum (Y_i - \bar{Y})^2}{n-1}} \quad (4.4)$$

ocene standardnih devijacija promenljivih X i Y, respektivno. Jednostavnije, koeficijent proste linearne korelacije uzorka, koji predstavlja ocenu koeficijenta korelacije skupa, izračunava se (sa uprošćenom simbolikom) po formuli:

$$r_{xy} = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \sqrt{n \sum y^2 - (\sum y)^2}} \quad (4.5)$$

Ova formula predstavlja samo drugi oblik formule za ocenu kovarijanse. Obe su simetrične u odnosu na promenjive X i Y, pa rezultat ne zavisi od toga koju smo od posmatranih pojava obeležili sa X, a koju sa Y, odnosno koju tretiramo kao nezavisnu, a koju kao zavisnu promenljivu. Obe formule, dakle, vode računa o reverzibilnosti relacije između promenljivih X i Y. Treba primetiti da je r_{xy} pristrasna ocena, izuzev kada je $r_{xy} = 0$. Koeficijent proste linearne korelacije varira od -1 do 1 i označava sve čvršću korelacionu vezu - što je bliže jedinici, i to od -1 do 0 negativnu ili inverznu, a od 0 do 1 pozitivnu ili direktnu. Ako između posmatranih pojava postoji potpuna (savršena) korelaciona veza, koeficijent korelacije iznosi -1 ili 1, a kada između njih uopšte nema linearne korelacije, koeficijent korelacije se izjednačava sa nulom. Nula, dakle, ne znači odsustvo bilo kakve korelacione veze, nego odsustvo linearne korelacione veze. Često se izračunava koeficijent determinacije koji predstavlja koeficijent korelacije dignut na kvadrat. Putem njega se sagledava koliki je udeo promenljive X u ukupnom varijabilitetu promenljive Y. Tako, na primer, ako je $r = 0.9$, onda je $r^2 = 0.81$. Znači od 100%, uzet kao ukupan varijabilitet promenljive Y, 81% se objašnjava vezom sa promenljivom X.

Pirsonov koeficijent korelacije je otkrio naučnik Bravais 1846. godine, ali ga je Karl Pirson prvi opisao 1896. godine, kao i standardne metode za izračunavanje, pokazujući da je to najbolji mogući koeficijent korelacije. Bitna pretpostavka u Pearsonovom radu iz 1896. godine je normalnost analiziranih promenljivih, koja može biti ostvarena samo za kvantitativne promenljive. Pirsonov koeficijent korelacije je mera jačine linearne veze između dve takve promenljive. Zato je 1904. godine Kopljanik usvojio Pirsonov koeficijent korelacije kao meru jačine veze između dve promenljive koje se ne mogu meriti kvantitativno. Pored Pirsonovog koeficijenta korelacije često se koristi i Spermanov koeficijent korelacije (ρ). Spermanov koeficijent korelacije (McDonald, 2014)(produkt rang korelacije) koristi se za merenje povezanosti između varijabli u slučajevima kada nije moguće primeniti Pirsonov koeficijent korelacije. Bazira se na tome da se izmeri doslednost povezanosti između poređanih varijabli, a oblik povezanosti (npr. linearni oblik koji je preduslov za korišćenje Pirsonovog koeficijenta) nije bitan. Spermanov koeficijent korelacije kao rezultat daje približnu vrednost koeficijenta korelacije koji se tretira kao njegova dovoljno dobra aproksimacija. Prilikom korišćenja Spermanovog koeficijenta, vrednosti promenljivih potrebno je rangirati i na takav način svesti na zajedničku meru. Najjednostavniji način rangiranja je da se najmanjoj vrednosti svake promenljive dodeli rang 1, sledećoj po veličini rang 2 i tako sve do poslednje kojoj se dodeljuje maksimalni rang. Izračunavanje koeficijenta radi se korišćenjem vrednosti dodeljenih rangova. Spermanov koeficijent označavaćemo sa r_s . Formula za izračunavanje Spermanovog koeficijenta korelacije je:

$$r_s = 1 - 6 \sum_{i=1}^n \frac{d_i^2}{n(n^2-1)} \quad (4.6)$$

gde je d razlika vrednosti rangova dve posmatrane varijable, a n je broj različitih serija. Spermanov koeficijent korelacije je neparametarski rang statistike, predstavljen kao mera jačine povezanosti dveju varijabli. To je mera monotone povezanosti koja se koristi kada se distribucija podataka uz pomoć Pirsonovog koeficijenta korelacije čini

nepoželjnom ili obmanjujućom. Spermanov koeficijent nije merilo linearnog odnosa između dveju varijabli. On procenjuje koliko dobro proizvoljna monotona funkcija može opisati odnos između dve varijable, bez donošenja bilo kakve pretpostavke o učestalosti distribucije varijabli. Za razliku od Pirsonovog koeficijenta korelacije, on ne zahteva pretpostavku da je odnos između varijabli linearna veza, niti zahteva da varijable budu merene na intervalnim skalama; on se može koristiti za varijable merene na nominalnoj skali. Kendalov koeficijent (τ) je od strane Kendala uveden 1938. godine (Kendell, 1938). Ovaj koeficijent korelacije se lako može koristiti kao alternativa za Spermanov ρ -koeficijent, za podatke prikazane u obliku redova. To je funkcija koja odražava minimalni broj susednih razmena potrebnih za nastanak jednog reda podataka iz drugog. Glavna prednost korišćenja Kendalovog koeficijenta su činjenica da njegova distribucija ima nešto bolja statistička svojstva, te da postoji direktno tumačenje ovih svojstava u skladu sa mogućnostima posmatranja saglasnosti i nesaglasnosti tih parova. Ipak, koeficijent τ nije tako često upotrebljavan u prošlosti (u zadnjih šezdesetak godina), kao što je bio Spermanov koeficijent u merenju stepena korelacije, uglavnom zbog toga što je bio težak za izračunavanje. Kendalov τ -koeficijent je ekvivalent Spermanovom koeficijentu u smislu osnovnih pretpostavki, ali oni nisu identični u veličini, budući da su njihova osnovna logika i formule za izračunavanje sasvim drugačije. Spermanov koeficijent se smatra sličnim Pirsonovim r -koeficijentom korelacije, u slučaju udela varijabilnosti koja se računa, a Kendalov τ -koeficijent predstavlja verovatnoću, odnosno, razliku između verovatnoća da su posmatrani podaci u istom redosledu naspram verovatnoće da posmatrani podaci nisu u istom redosledu. Jačinu korelacione veze definiše apsolutna vrednost korelacionog koeficijenta (tabela 4.11).

Tabela 4.11 Tabela jačine korelacione veze.

r	Jačina korelacije
0	nema
0-0,5	slaba
0,5-0,8	srednja
0,8-1	jaka
1	potpuna

Korišćenje Pirsonovog koeficijenta i Spermanovog koeficijenta u analizi prostorne korelacije prvi je koristio Hajning (1991). Analiza prostorne korelacije je od značaja za predviđanje kretanja vremenskih sistema i promena kroz prostor. Prostorna distribucija suše ima limitiran prostorni doseg (km). Ustanovljavanjem trajektorije pojave, odnosno polja njenog uticaja omogućava lakše planiranje mera odbrane od iste ili pak bolju preraspodelu resursa i ranu najavu. Određivanje prostorne korelacije tačkastih merenja je od velikog značaja za praćenje stanja sistema na lokacijama ili u regijama gde ne postoje ili nisu adekvatna terenska merenja stanja sredine.

4.6 Rezultati ocene prostorne korelacije i linearne regresije parametara od značaja

U tabelama 4.12-4.14 prikazani su rezultati analize prostorne korelacije vremenskih serija padavina 7 stanica za period osmatranja 1951-2012 u celosti. Korelaciona matrica prostorne korelacije data je na slici 4.6.

Tabela 4.12 Korelaciona matrica između stanica po Pirsonu.

Stanica	NS	SO	ZR	KI	VŠ	SM	PL
NS	1						
SO	0,745	1					
ZR	0,859	0,720	1				
KI	0,815	0,762	0,823	1			
VŠ	0,716	0,606	0,784	0,710	1		
SM	0,837	0,715	0,788	0,742	0,691	1	
PL	0,730	0,786	0,688	0,760	0,591	0,663	1

Nivo značajnosti $\alpha=0,05$

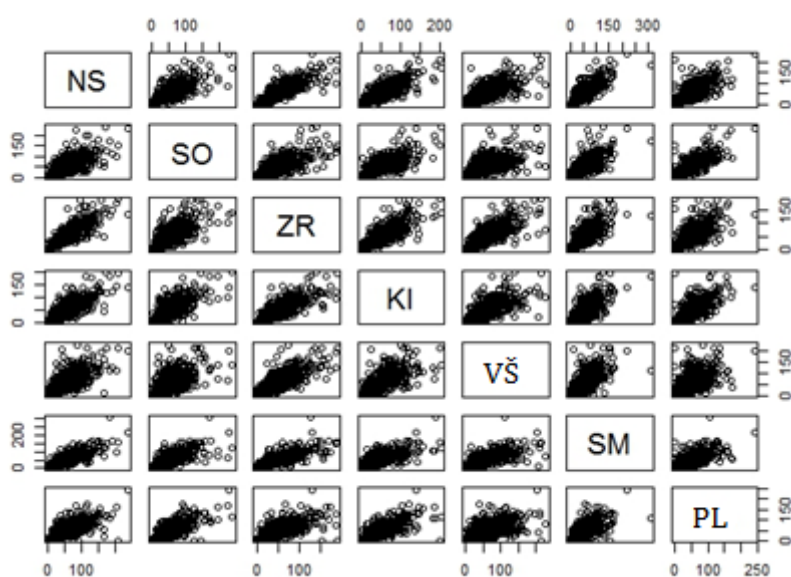
Tabela 4.13 Korelaciona matrica između stanica po Spearmanu.

Stanica	NS	SO	ZR	KI	VŠ	SM	PL
NS	1						
SO	0,767	1					
ZR	0,888	0,732	1				
KI	0,827	0,766	0,854	1			
VŠ	0,747	0,647	0,804	0,759	1		
SM	0,850	0,741	0,815	0,751	0,729	1	
PL	0,747	0,795	0,722	0,787	0,634	0,695	1

Nivo značajnosti $\alpha=0,05$

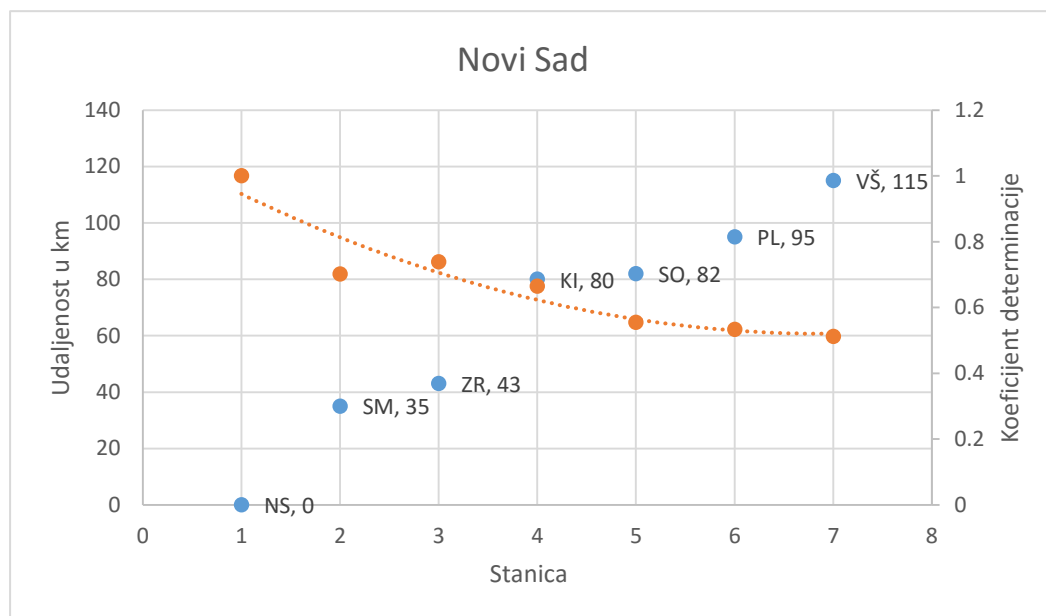
Tabela 4.14 Koeficijent determinacije po Pirsonu.

Stanica	NS	SO	ZR	KI	VŠ	SM	PL
NS	1						
SO	0,555	1					
ZR	0,738	0,518	1				
KI	0,664	0,580	0,677	1			
VŠ	0,512	0,368	0,615	0,504	1		
SM	0,701	0,512	0,621	0,551	0,477	1	
PL	0,533	0,617	0,474	0,578	0,349	0,439	1



Slika 4.6 Korelaciona matrica prostorne uslovljenosti padavina u Vojvodini.

Koeficijent determinacije Pirsona ukazuje na udeo promena na stanici X u ukupnom varijabilitetu stanice Y. Što u odnosi na udaljenost stanica možemo videti da sa distancom i uticaj stanica opada. Pri čemu je trend opadanja koeficijenta determinacije srazmeran kvadratnoj funkciji. Prikaz trenda koeficijenta determinacije dat je na slici 4.7. U tabeli 4.15 date su vrednosti udaljenosti stanica jedne od druge u km.



Slika 4.7 Prikazuje prostornu uslovljenost promena na stanicama u odnosu na promene na stanici Novi Sad, iskazanu u vrednostima Pirsonovog koeficijenta determinacije.

Tabela 4.15 Vazдушna udaljenost stanica u km.

Stacija	NS	SO	ZR	KI	VŠ	SM	PL
NS	0						
SO	82	0					
ZR	43	107	0				
KI	80	103	51	0			
VŠ	115	186	79	104	0		
SM	35	97	74	115	133	0	
PL	95	61	93	61	163	125	0

U tabelama 4.16 – 4.18 prikazani su rezultati analize prostorne korelacije vremenskih serija PET na 7 stanica za period osmatranja 1951-2012 u celosti. Usled uslovljenosti PET temperaturom koja ukazuje na homogenu raspodelu na prostoru Vojvodine korelacioni odnos transponovan je na PET (slika 4.8).

Tabela 4.16 Korelaciona matrica između stanica po Pirsonu.

Stacija	NS	SO	ZR	KI	VŠ	SM	PL
NS	1						
SO	0,991	1					
ZR	0,992	0,998	1				
KI	0,992	0,999	0,999	1			
VŠ	0,991	0,998	0,999	0,998	1		
SM	0,992	0,999	0,999	0,998	0,998	1	
PL	0,975	0,983	0,984	0,984	0,982	0,982	1

Nivo značajnosti $\alpha=0,05$

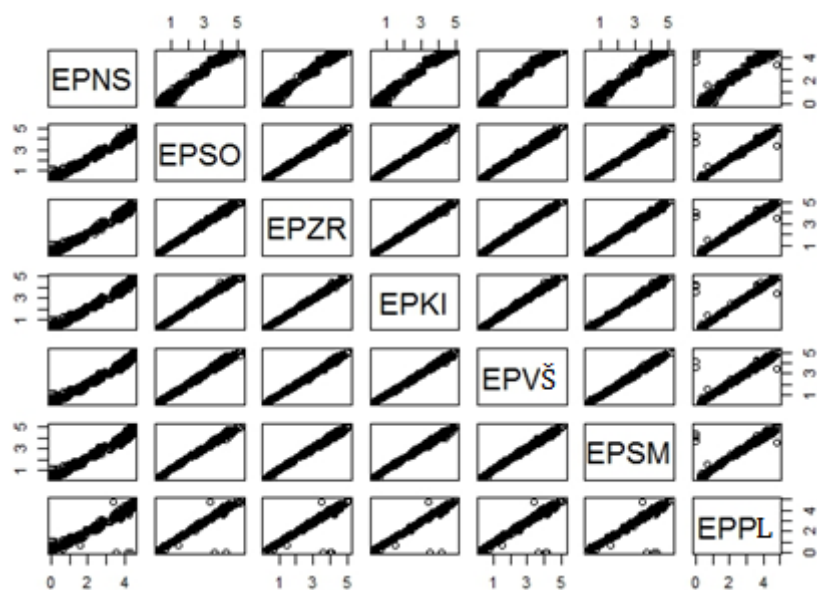
Tabela 4.17 Korelaciona matrica između stanica po Spearmanu.

Stanica	NS	SO	ZR	KI	VŠ	SM	PL
NS	1						
SO	0,983	1					
ZR	0,984	0,997	1				
KI	0,985	0,998	0,999	1			
VŠ	0,984	0,996	0,997	0,997	1		
SM	0,984	0,997	0,998	0,997	0,997	1	
PL	0,963	0,979	0,981	0,980	0,978	0,979	1

Nivo značajnosti $\alpha=0,05$

Tabela 4.18 Koeficijent determinacije po Pirsonu.

Stanica	NS	SO	ZR	KI	VŠ	SM	PL
NS	1						
SO	0,982	1					
ZR	0,983	0,997	1				
KI	0,984	0,998	0,999	1			
VŠ	0,982	0,995	0,997	0,997	1		
SM	0,983	0,997	0,997	0,997	0,996	1	
PL	0,951	0,966	0,968	0,967	0,964	0,965	1



Slika 4.8 Korelaciona matrica prostorne uslovljenosti PET po Hargreves-u u Vojvodini

Tabela 4.19 Korelaciona matrica između stanica po Pirsonu.

Stanica	NS	SO	ZR	KI	VŠ	SM	PL
NS	1						
SO	0,999	1					
ZR	0,987	0,987	1				
KI	0,999	0,998	0,988	1			
VŠ	0,999	0,999	0,987	0,999	1		
SM	0,997	0,995	0,983	0,998	0,997	1	
PL	0,999	0,998	0,987	0,999	0,999	0,996	1

Nivo značajnosti $\alpha=0,05$

Kako smo već napomenuli prostorna uslovljenost polja srednjih mesečnih temperatura na stanicama je velika te su korelacioni odnosi veoma bliski linearnoj funkcionalnoj zavisnosti (tabela 4.19). Kao što je bilo i za očekivati vrednosti koeficijenta determinacije za korelacioni odnos između hidroloških stanica Bezdán-Noví Sad na Dunavu je visoke vrednosti 0,949 za period osmatranja 1951-2012 u celosti (tabela 4.20).

Tabela 4.20 Koeficijent determinacije po Pirsonu.

Stanica	NS	SO	ZR	KI	VŠ	SM	PL
NS	1						
SO	0,997	1					
ZR	0,975	0,974	1				
KI	0,999	0,997	0,975	1			
VŠ	0,998	0,997	0,975	0,999	1		
SM	0,994	0,989	0,966	0,995	0,994	1	
PL	0,998	0,997	0,973	0,998	0,997	0,993	1

Na osnovu dobijenih rezultata korelacione i regresione analize meteoroloških parametara na sedam stanica u Vojvodini možemo zaključiti da postoji značajna prostorna zavisnost među pojavama.

4.7 Definisanje vremenskog niza istorijskih suša

U cilju određivanja istorijskih suša, obrađeni su podaci sa sedam meteoroloških stanica u Vojvodini i medijski izveštaji. Usled ne postojanja zvanične metodologije i s obzirom da jedini zvanični pristup proklamovanja suše nije baziran na proračunima već na odluci države, u odnosu na prijavljene očekivane gubitke u datom periodu, te ne postojanju definisanih pragova suše, urađeno je nekoliko pristupa analizi istorijskih podataka o sušnim događajima. Pri analizi vremenska varijacija padavina izražava se radi lakše analize preko srednjih godišnjih suma padavina, odnosno preko mesečnih suma. Da bi se moglo izvršiti poređenje i izraziti komplementarnost hidroloških i meteoroloških parametara utvrđeni su njihovi linearni trendovi (Pavlović, 2009.). Sprovedena analiza trendova hidroloških i meteoroloških parametara u Vojvodini (Pavlović, 2009) dovela je do zaključka da su trendovi kretanja proticaja i padavina dobijeni analizom podataka sa hidroloških i meteoroloških stanica u Vojvodini usklađeni jedni sa drugima i da je vrednost intenziteta trenda umerena, bez značajnih skokova. Stoga je zaključeno da se padavine mogu koristiti kao relevantan parametar za procenu klimatološke suše i razvoja suše ka hidrološkoj. Pretpostavka je da će se klimatološke suše jakog intenziteta odraziti i u deficitu vode u površinskim i podzemnim tokovima. Ova pretpostavka se rukovodi idejom da su klimatološke suše velikog intenziteta u korelaciji sa pojavom hidroloških suša 1:1. Jedini skok uočen je u povećanoj količini padavina tokom leta, koju prati jak rastući trend, nasuprot tome u istom periodu javlja se opadajući trend oticaja. Ovakvo ponašanje može biti uzrokovano prirodom površinskih tokova u Vojvodini, koji su tranzitni i pod uticajem uzvodnih dešavanja. Drugi uzrok može biti povećana evapotranspiracija u tom periodu koja bi anulirala uticaj povećanih padavina. Treći razlog može ležati u vremenskoj raspodeli padavina na satnom nivou, koja može ukazati na to da veća količina kiše pada u kraćim vremenskim intervalima što uzrokuje jak površinski oticaj i pala voda ne učestvuje u vodnom bilansu same prostorne lokacije već brzo bude transportovana u niže delove vodotoka. Pored svega toga moramo uzeti prirodnu zakasnelu reakciju usled različite

vremenske skale razvoja procesa oticanja i padavina kao i geografski položaj stanica (Pavlović et al, 2012).

4.8 Određivanje markera sušnih perioda na osnovu prostorno vremenske analize odstupanja mesečnih padavina od normale, HDN

Dragović S., je na osnovu merenih padavina u Vojvodini proračunao i zaključio da u period od sto godina, samo 17 godina su zabeležile normalnu količinu padavina, 37 je beležilo veću prosečnu visinu padavina, a čak 51 godina beležila je količinu padavina ispod proseka (Dragović et al., 2013). Po ugledu na metodu Dragovića, urađena je statistička analiza podataka sa meteorološke stanice Rimski Šančevi (Novi Sad), koja je locirana 15 km od Novog Sada, u periodu od 89 godina (1924-2012) za mesece jul i avgust je pokazala da je 84,27% u julu i 84,27% godina u avgustu bile sušne (tabela 4.21). Analiza se zasniva na baznom osmatranju vrednosti kiše u određenom opsegu. Mera neophodnog minimum padavina je količina padavina potrebna da zadovolji potrebe biljaka za vodom, u Vojvodini usvojeni minimum neophodne kiše je 100 mm pale kiše u letnjim mesecima, pri čemu taj minimum je mnogo veći za pojedine biljne vrste.

Tabela 4.21 Procenat sušnih godina u odnosu na ukupne padavine u mesecima jul i avgust u periodu od 1924 do 2012, u Vojvodini hidrometeorološka stanica Novi Sad.

Padavine mm	Jul		Avgust		Kategorija suše
	broj godina	%	broj godina	%	
0-25	13	14,61	21	23,60	Ekstremno sušno
26-50	33	37,08	24	26,97	Veoma sušno
51-75	19	21,35	19	21,35	Suša
75-100	10	11,24	11	12,36	Blaga suša
	75	84,27	75	84,27	UKUPNO
101-125	7	7,87	10	11,24	blago kišovito
>126	7	7,87	4	4,49	kišovito
Ukupno	89	100,00	89	100,00	

Izraženi podaci u tabelama 4.22 – 4.24 ukazuju koliko je suša prostorno homogena. Zastupljenost od 100% ukazuje da se suša javila na svim mernim stanicama. No ovakav metod još uvek nije dovoljno precizan za praćenje sušnih godina (meseci).

Tabela 4.22 Procenat sušnih godina u odnosu na ukupne padavine u mesecima jul i avgust u periodu od 1951 do 2012, u Vojvodini, (padavine ispod 100 mm).

Vojvodina Zastupljenost %	Jul		Avgust	
	broj godina	%	broj godina	%
100	35	56,45	39	63
85	13	20,95	9	14,5
70	4	6,5	6	9,6
55	3	4,8	5	8,1
Ukupno	55	88,7	59	95,2
<50	7	11,3	3	4,8

Tabela 4.23 Procenat sušnih godina u odnosu na ukupne padavine u mesecima jul i avgust u periodu od 1951 do 2012, u Vojvodini, (padavine ispod 50 mm).

Vojvodina	Jul		Avgust	
	Zastupljenost %	broj godina	%	broj godina
100	7	11.29	14	22.58
85	4	6.45	12	19.35
70	8	12.91	3	4.84
55	14	22.58	8	12.91
Ukupno	33	53.23	37	59.68
<50	29	46.77	25	40.32

Tabela 4.24 Procenat sušnih godina u odnosu na ukupne padavine u mesecima jul i avgust u periodu od 1951 do 2012, u Vojvodini, (padavine ispod 25 mm).

Vojvodina	Jul		Avgust	
	Zastupljenost %	broj godina	%	broj godina
100	0	0	3	4.84
85	2	3.225	4	6.45
70	2	3.225	3	4.84
55	0	0	4	6.45
Ukupno	4	6.45	14	22.58
<50	58	93.55	48	77.42

Kao prvi korak u definisanju metode za određivanje markera sušnih godina uzete su godine u kojima se suša homogeno (na svim ili na 85% stanica) javila sa najvećim intenzitetom, odnosno visina padavina za dati mesec nije prelazila 25 mm (tabela 4.25).

Tabela 4.25 Detektovane ekstremne sušne godine (padavine ispod 25 mm) u Vojvodini po prostornoj homogenosti.

Vojvodina	Jul	Avgust
	Zastupljenost %	godine
100		1967, 2000, 2012
85	1952, 1988	1952, 1961, 1992, 2011
70	1989, 2000	1962, 1988, 2008
55		1973, 1984, 1990, 2003

Na osnovu dobijenih rezultata definisana je metoda za prvi marker istorijskih suša za prostor Vojvodine. U ovoj metodi krenulo se od pretpostavke da se pik suše javlja u letnjim mesecima. Prag od 25 mm određen je na osnovu normala za mesece jul i avgust u Vojvodini, i predstavlja količinu kiše ispod 50% od normale, odnosno manje od pola očekivane količine kiše za dati mesec. Normale meteoroloških parametara definišu se kao srednja vrednost 30 godišnjeg vremenskog niza. Svaki mesec je okarakterisan svojom normalom. U tabelama 4.26 i 4.27 predstavljeni su pragovi suše na osnovu normala za visinu padavina za periode 1961-1990 i 1981-2010. Pragovi suše izvedeni su po analogiji da se suša može očekivati u slučaju da je deficit pale kiše u odnosu na normalu 50% i veći, a da blagu sušu očekujemo u slučajevima kada imamo 33% deficita. Veoma sušni period očekujemo kada deficit pređe 70%, a ekstremnu sušu očekujemo za periode kada je deficit u rang 85% ili više (tabela 4.28). Na osnovu usvojenih pragova definisani su markeri ekstremnih suša, koje se homogeno javljaju na teritoriji Vojvodine u periodu 1951-2012 (tabela 4.29).

Tabela 4.26 Normale visine padavina i pragovi suše po mesecima za Vojvodinu izražene u mm.

1961-1990					
	Srednja normala	ekstremno sušno	veoma sušno	suša	blaga suša
JAN	36,63	9,16	12,21	20,20	24,42
FEB	33,33	8,33	11,11	18,65	22,22
MAR	37,23	9,31	12,41	20,40	24,82
APR	47,38	11,85	15,79	25,55	31,59
MAJ	56,00	14,00	18,67	29,10	37,33
JUN	80,40	20,10	26,80	42,15	53,60
JUL	59,63	14,91	19,88	32,30	39,76
AVG	52,13	13,03	17,38	27,10	34,76
SEP	38,53	9,63	12,84	22,05	25,69
OKT	34,33	8,58	11,44	19,10	22,89
NOV	46,80	11,70	15,60	26,00	31,20
DEC	44,50	11,13	14,83	24,70	29,67
suma	566,92	141,73	188,97	307,30	377,94

Tabela 4.27 Normale visine padavina i pragovi suše po mesecima za Vojvodinu izražene u mm.

1981-2010					
	srednja normala	ekstremno sušno	veoma sušno	suša	blaga suša
JAN	36,32	9,08	12,11	18,95	24,21
FEB	29,60	7,40	9,87	14,60	19,73
MAR	37,25	9,31	12,42	20,20	24,83
APR	45,63	11,41	15,21	24,20	30,42
MAJ	57,33	14,33	19,11	28,10	38,22
JUN	83,68	20,92	27,89	42,20	55,79
JUL	60,93	15,23	20,31	30,80	40,62
AVG	51,77	12,94	17,26	26,40	34,51
SEP	51,47	12,87	17,16	25,15	34,31
OKT	46,53	11,63	15,51	27,30	31,02
NOV	50,23	12,56	16,74	26,40	33,49
DEC	46,68	11,67	15,56	22,80	31,12
suma	597,42	149,35	199,14	307,10	398,28

Tabela 4.28 Usvojeni pragovi suše na osnovu visine padavina po mesecima za Vojvodinu izražene u mm kiše.

USVOJENI PRAGOVI SUŠE za HDN					
	srednja normala	ekstremno sušno	veoma sušno	suša	blaga suša
JAN	36	9	12	15	24
FEB	30	7	10	15	20
MAR	37	9	12	20	25
APR	46	11	15	20	30
MAJ	57	14	19	25	38
JUN	84	21	28	40	56
JUL	61	15	20	25	41
AVG	52	13	17	25	35
SEP	51	13	17	25	34
OKT	47	12	16	25	31
NOV	50	13	17	25	33
DEC	47	12	16	20	31
suma	597	149	199	280	398

Naznačeni marker (tabela 4.29) potvrđeni su i izvodima iz medija i novina i zvanično su proklamovane suše na teritoriji Vojvodine. Dobijeni markeri označavaju mesece kada se očekuje da se vrednosti indikatora suše kreću u intervalu u kom indikator ukazuje na ekstremnu sušu. Homogenost markera označava da prostorno gledano indikator treba da identifikuje ekstremnu sušu na svim stanicama koje su uzete u razmatranje prilikom određivanja pragova.

Tabela 4.29 Markeri ekstremnih suša u Vojvodini u periodu 1951-2012

Markeri veoma sušnih meseci u Vojvodini u periodu 1951-2012					
mar.53	-3,0	maj.62	-3,0	okt.88	-3,0
sep.53	-3,0	okt.67	-3,0	feb.89	-3,0
okt.53	-3,0	okt.68	-3,0	feb.93	-3,0
nov.53	-3,0	dec.71	-3,0	feb.00	-3,0
nov.57	-3,0	jan.72	-3,0	jun.00	-3,0
maj.58	-3,0	jan.73	-3,0	jan.02	-3,0
sep.58	-3,0	okt.77	-3,0	mar.02	-3,0
jan.61	-3,0	okt.85	-3,0	sep.09	-3,0
avg.61	-3,0	sep.87	-3,0	apr.11	-3,0

Tabela 4.30 Markeri istorijskih suša, veoma sušnih meseci u Vojvodini u periodu 1951-2012, naznačeni markeri potvrđeni su i izvodima iz medija i novina i zvanično su proklamovane suše na teritoriji Vojvodine.

Markeri ekstremnih suša u Vojvodini u periodu 1951-2012					
okt.51	-4,0	dec.72	-4,0	avg.92	-4,0
jul.52	-4,0	feb.75	-4,0	okt.95	-4,0
sep.56	-4,0	dec.75	-4,0	feb.98	-4,0
mar.57	-4,0	feb.76	-4,0	avg.00	-4,0
feb.59	-4,0	okt.78	-4,0	okt.00	-4,0
okt.59	-4,0	nov.78	-4,0	okt.01	-4,0
mar.61	-4,0	sep.85	-4,0	mar.03	-4,0
sep.61	-4,0	sep.86	-4,0	okt.05	-4,0
okt.61	-4,0	nov.86	-4,0	apr.07	-4,0
okt.62	-4,0	feb.87	-4,0	feb.08	-4,0
okt.63	-4,0	okt.87	-4,0	apr.09	-4,0
jan.64	-4,0	jan.89	-4,0	avg.11	-4,0
avg.67	-4,0	jan.90	-4,0	nov.11	-4,0
okt.69	-4,0	jan.92	-4,0	mar.12	-4,0
mar.72	-4,0	mar.92	-4,0	avg.12	-4,0

Prikazani markeri definišu pojavu ekstremne suše i po intenzitetu i po prostornoj disperziji, odnosno ukoliko regionalni marker uzima ekstremnu vrednost to znači da se suša javila na svim stanicama u datom mesecu sa deficitom 85% ili većim. Izvedeni markeri suše važe na nivou cele Vojvodine i u skladu su sa pojavom suše na pojedinačnim stanicama. Pored regionalnih markera urađeni su i stanični markeri koji mogu da variraju u vremenu i intenzitetu u odnosu na regionalne, koji zahtevaju prostorno razvijeniju sušu. Regionalni markeri mogu uzeti blažu vrednost suše ukoliko ona nije prostorno obuhvatila sve stanice te stoga pojedine stanice pokazuju jači intenzitet suše u određenom mesecu nego regionalni markeri. Obe grupe markera, regionalni i stanični su od velikog značaja za procenu indikatora. Ukoliko se radi o staničnim vrednostima indikatora koristimo stanične markere, a u slučaju proračuna indikatora po grid-u koristimo regionalne markere, koji obuhvataju ceo grid. Vrednosti po gridu dobijamo kao izlaz iz numeričkog modela, te su nam stoga od velikog značaja

regionalni markeri. Markeri istorijskih suša na osnovu deficita padavina od normale izračunati su za sedam meteoroloških stanica u sklopu RHMZ-a u Vojvodini: Novi Sad, Sombor, Palić, Zrenjanin, Kikinda, Vršac i Sremska Mitrovica i prikazani su u tabelama 4.31 – 4.33. Na slici 4.9 dat je prikaz vremenskih serija markera suše markera sušnih perioda na osnovu prostorno vremenske analize odstupanja mesečnih padavina od normale za stanice u Vojvodini, HDN (*Historical Drought based on the Normal*).

Tabela 4.31 Markeri istorijskih suša, sušnih meseci u Vojvodini u periodu 1951-2012.

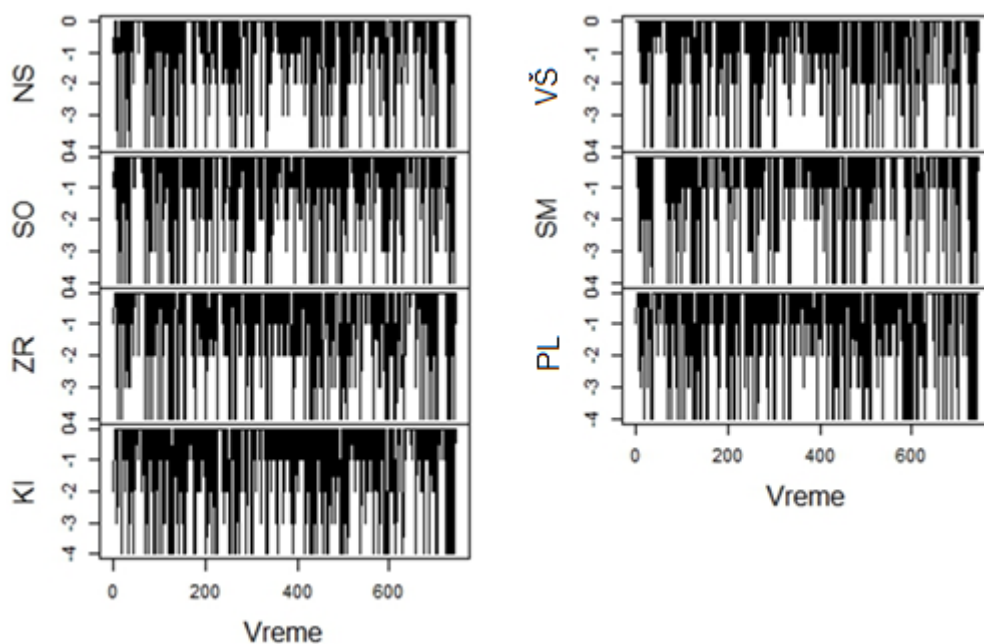
Markeri suša u Vojvodini u periodu 1951-2012									
sep.51	-2,0	mar.68	-2,0	okt.83	-2,0	maj.93	-2,0	jun.03	-2,0
avg.52	-2,0	apr.68	-2,0	nov.83	-2,0	nov.94	-2,0	avg.03	-2,0
dec.53	-2,0	sep.69	-2,0	jul.88	-2,0	mar.97	-2,0	nov.05	-2,0
okt.56	-2,0	feb.71	-2,0	avg.88	-2,0	mar.98	-2,0	sep.06	-2,0
jan.57	-2,0	okt.71	-2,0	nov.88	-2,0	mar.99	-2,0	okt.06	-2,0
jun.57	-2,0	mar.73	-2,0	dec.89	-2,0	jan.00	-2,0	nov.06	-2,0
jul.58	-2,0	jan.75	-2,0	maj.90	-2,0	jul.00	-2,0	okt.08	-2,0
mar.60	-2,0	sep.79	-2,0	jan.91	-2,0	sep.00	-2,0	jun.12	-2,0
jun.62	-2,0	sep.80	-2,0	dec.91	-2,0	nov.00	-2,0	sep.12	-2,0
avg.62	-2,0	sep.82	-2,0	maj.92	-2,0	dec.01	-2,0		
nov.67	-2,0	nov.82	-2,0	jan.93	-2,0	apr.03	-2,0		

Tabela 4.32 Markeri istorijskih suša, blago sušni meseci u Vojvodini u periodu 1951-2012.

Markeri blagih suša u Vojvodini u periodu 1951-2012									
jan.51	-1,0	apr.69	-1,0	feb.81	-1,0	dec.86	-1,0	sep.97	-1,0
feb.52	-1,0	maj.69	-1,0	maj.81	-1,0	jul.87	-1,0	nov.97	-1,0
mar.52	-1,0	sep.70	-1,0	jul.81	-1,0	dec.87	-1,0	dec.98	-1,0
apr.52	-1,0	apr.71	-1,0	jan.82	-1,0	maj.88	-1,0	maj.00	-1,0
jul.54	-1,0	maj.73	-1,0	feb.82	-1,0	dec.88	-1,0	feb.01	-1,0
sep.54	-1,0	sep.73	-1,0	maj.82	-1,0	jul.89	-1,0	apr.02	-1,0
maj.55	-1,0	jan.74	-1,0	feb.83	-1,0	okt.89	-1,0	nov.02	-1,0
avg.56	-1,0	feb.74	-1,0	mar.83	-1,0	avg.90	-1,0	feb.03	-1,0
sep.59	-1,0	mar.74	-1,0	apr.83	-1,0	feb.91	-1,0	maj.03	-1,0
avg.60	-1,0	mar.75	-1,0	avg.83	-1,0	sep.91	-1,0	dec.03	-1,0
feb.61	-1,0	nov.75	-1,0	dec.83	-1,0	jul.92	-1,0	dec.06	-1,0
jun.61	-1,0	mar.76	-1,0	avg.84	-1,0	sep.92	-1,0	jul.07	-1,0
jul.61	-1,0	maj.76	-1,0	dec.84	-1,0	okt.93	-1,0	maj.08	-1,0
jan.62	-1,0	jan.78	-1,0	jul.85	-1,0	mar.94	-1,0	avg.08	-1,0
sep.62	-1,0	jul.78	-1,0	dec.85	-1,0	okt.96	-1,0	sep.11	-1,0
mar.63	-1,0	avg.78	-1,0	maj.86	-1,0	maj.97	-1,0	nov.12	-1,0
jun.63	-1,0	jul.63	-1,0	mar.65	-1,0	sep.66	-1,0	mar.69	-1,0

Tabela 4.33 Izvod iz baze istorijskih suša na stanici Novi Sad dobijenih na osnovu analize deficita kiše u odnosu na normal.

Markeri za ekstremnu sušu za meteorološku stanicu Novi Sad							
okt.51	-4,0	jan.64	-4,0	jan.89	-4,0	apr.07	-4,0
jul.52	-4,0	okt.65	-4,0	jan.90	-4,0	feb.08	-4,0
mar.53	-4,0	avg.67	-4,0	jan.92	-4,0	apr.09	-4,0
nov.53	-4,0	okt.69	-4,0	mar.92	-4,0	sep.09	-4,0
sep.56	-4,0	mar.72	-4,0	avg.92	-4,0	avg.11	-4,0
mar.57	-4,0	dec.72	-4,0	feb.93	-4,0	nov.11	-4,0
jul.58	-4,0	jan.73	-4,0	okt.95	-4,0	mar.12	-4,0
feb.59	-4,0	feb.75	-4,0	feb.98	-4,0	avg.12	-4,0
okt.59	-4,0	dec.75	-4,0	feb.00	-4,0	sep.12	-4,0
jan.61	-4,0	feb.76	-4,0	avg.00	-4,0		
mar.61	-4,0	okt.78	-4,0	okt.00	-4,0		
sep.61	-4,0	sep.86	-4,0	jan.02	-4,0		
okt.61	-4,0	nov.86	-4,0	mar.03	-4,0		
okt.62	-4,0	feb.87	-4,0	apr.03	-4,0		
okt.63	-4,0	sep.87	-4,0	okt.05	-4,0		



Slika 4.9 Vremenska raspodela istorijskih suša, identifikovanih preko odstupanja padavina od normale, HDN.

4.9 Određivanje markera sušnih perioda na osnovu prostorno vremenske analize kumulativne razlike od srednje vrednosti, HDK

Kumulativna razlika od srednje vrednosti ukazuje na stanje sistema. Odnosno, određuje koliko vode sistemu treba da bi izašao iz deficita. Ovaj odnos je od velikog značaja za prognozu jer ukazuje da li će projektovana/prognozirana kiša nadomestiti postojeći deficit. U planiranju proizvodnje u poljoprivredi od izuzetnog je značaja da znamo koliko će vode biti na raspolaganju usevima, i sa koliko vode će rezervoari dočekati proizvodnu sezonu, ako govorimo o hidroenergiji. Ova mera može se istovremeno

koristiti i za praćenje uticaja poplavnih, odnosno veoma vlažnih perioda. Problem ove metode je usvajanje referentne srednje vrednosti koja bi bila odgovarajuća za praćenje deficita (suficita). U našem slučaju za referentnu srednju vrednost uzeli smo srednju vrednost celog vremenskog niza (tabela 4.32).

Tabela 4.34 Usvojene referentne srednje vrednosti

	Referentna srednja vrednost, mm, za period 1951-2012												
	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep	okt	nov	dec	sum
Novi Sad	38	37	37	48	62	86	66	56	44	45	51	51	622
Sombor	36	34	33	47	59	78	67	52	45	44	52	49	597
Palić	33	32	32	42	56	74	60	49	43	36	48	48	553
Zrenjanin	36	36	35	45	59	82	60	47	44	40	47	50	579
Kikinda	34	33	32	46	54	75	57	51	43	38	46	48	557
Vršac	41	40	35	55	67	86	75	62	50	43	48	54	658
Sr. Mitrovica	40	37	38	49	60	83	64	53	47	47	53	52	623
Vojvodina	37	35	35	48	59	81	64	53	45	42	49	50	598

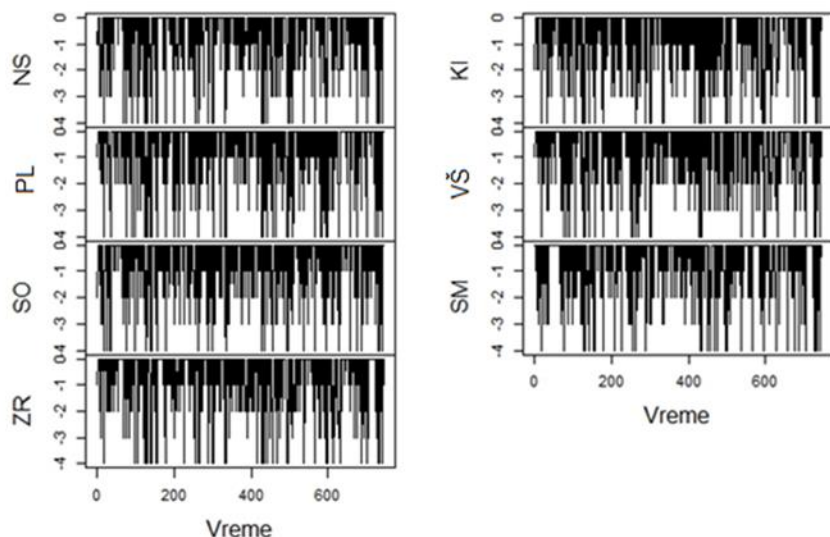
Drugim rečima, gledano po mesecima referentna srednja vrednost za mesec je:

$$\bar{P} = \frac{1}{N} \sum_{i=P1951}^{P2012} P_i \quad (4.7)$$

Za svaki mesec se računa kumulativna razlika od usvojene srednje vrednosti:

$$CPD_i = CPD_{i-1} + P_i - \bar{P} \quad (4.8)$$

gde je CPD_{i-1} kumulativni deficit iz prethodnog meseca. Fizički to znači da na osnovu sumarnih mesečnih padavina imamo meru ulaza u sistem. Na osnovu razlike od mere očekivane (potrebne) vrednosti da sistem ne bi bio u deficitu, određujemo deficit. Kako su mesečne vrednosti samo kalendarska odrednica, u prirodi stvari u pitanju je kontinualna bilansna jednačina koja se oslanja na stanje iz prethodnog meseca. Na taj način dobijamo meru koliko je na godišnjem, sezonskom ili mesečnom nivou sistem u deficitu u odnosu na neki vremenski interval osmatranja. Mana ovakvog određivanja nalazi se u početnom uslovu gde količinu padavina u prvom mesecu osmatranja uzimamo kao početno stanje sistema. Ovako određeno početno stanje može zanemariti deficite i suficite iz vremena osmatranja pre razmatranog. Usvojena pretpostavka je da se sistem pre osmatranog perioda nalazio u ravnoteži. U skladu sa iznetim izvršen je proračun kumulativne razlike od srednje vrednosti padavina na svih sedam stanica u Vojvodini. Nakon toga je po istom principu, kao i za marker odstupanja od normalne vrednosti, određen marker HDK (Historical Drought marker based on Cumulative deficit) u skladu sa procentom odstupanja. Tako da za negativno odstupanje od 33% do 50% kumulativne razlike od usvojene srednje vrednosti, usvajamo da se radi o prvoj kategoriji klimatološke suše (-1), za sve vrednosti uočenog deficita padavina do 33% vrednosti pretpostavlja se da ne uzrokuju sušu i da se sistem može nositi sa tim bez posledica. Vrednostima deficita od 50% do 70% dodeljuje se težinski faktor -2, od 70% do 85% težinski faktor -3, i vrednostima deficita većim od 85% težinski faktor -4. Fizički objašnjeno, ukoliko se u toku vremena akumulirao na mesečnom nivou deficit od 33% i veći smatramo da nedostatak vode u sistemu je suša. Ovako određeni markeri, dodelom težinskih faktora veoma su jasni i fizički precizni, no i dalje ne daju jednostavnost u predviđanju suše, ili njenom ranoj najavi, ali su veoma korisni u klasifikovanju istorijskih podataka.



Slika 4.9 Vremenska raspodela istorijskih suša, identifikovanih na osnovu kumulativne razlike od srednje vrednosti, HDK

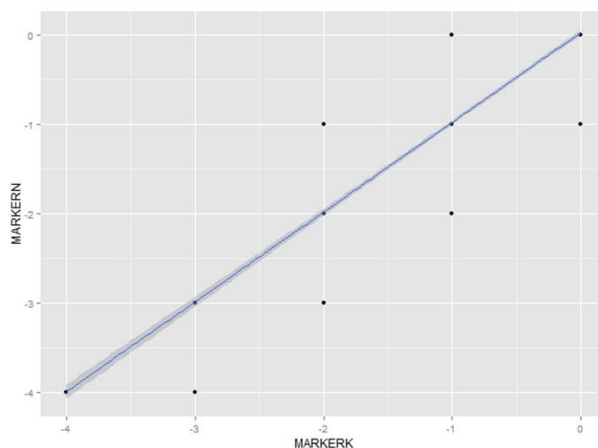
4.10 Rezultati analize prostorne korelacije istorijskih suša

Koeficijent korelacije između HDN i HDK i i broj prepoznatih sušnih meseci u period 1951-2012 dati su u tabeli 4.35.

Tabela 4.35 Mera saglasnosti istorijskih sušnih događaja određenih na osnovu HDK i HDN.

	r	HDK	HDN
NS	0.95	254	233
SO	0.95	253	232
PL	0.96	254	276
ZR	0.96	261	271
KI	0.96	269	294
VŠ	0.95	250	225
SM	0.96	244	232

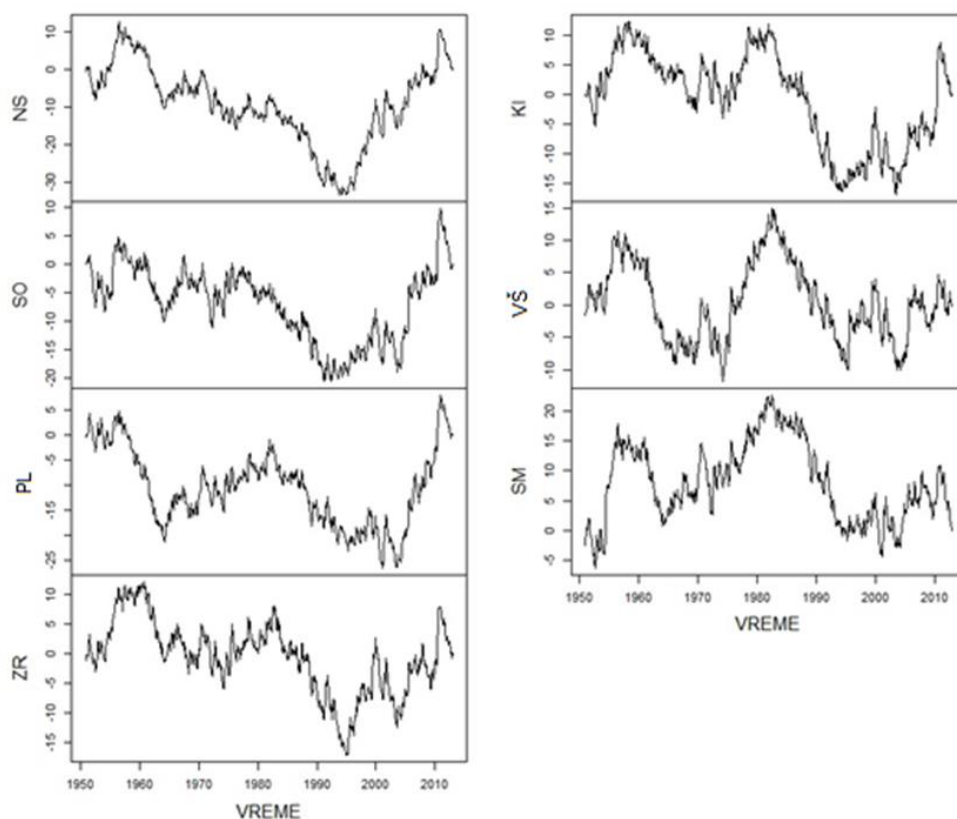
Dobijene vrednosti markera suša pokazuju dobro slaganje po obe metode, što potvrđuje i dijagram raspršivanja (slika 4.10).



Slika 4.10 Dijagram raspršivanja vrednosti markera istorijskih suša HDN - MarkerN i HDK - MarkerK.

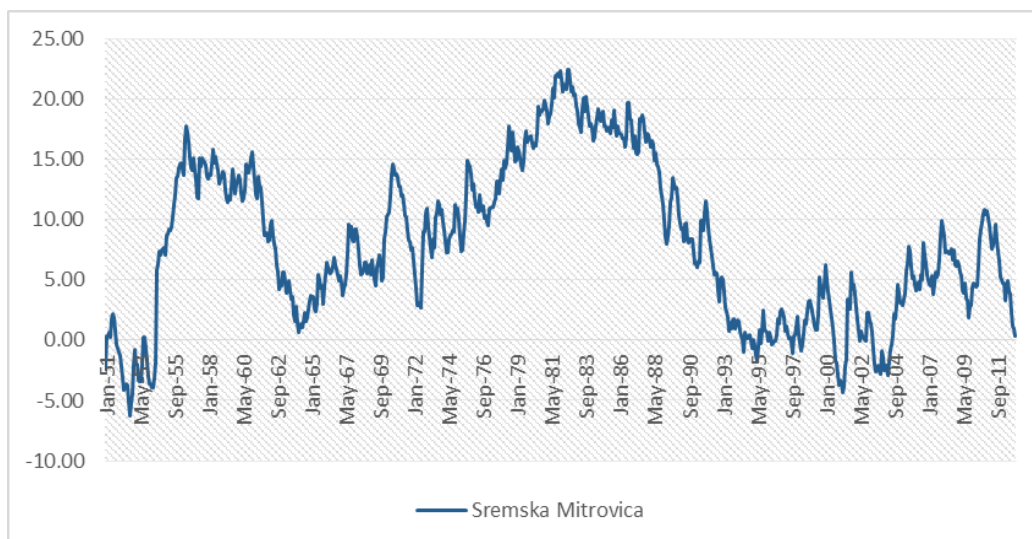
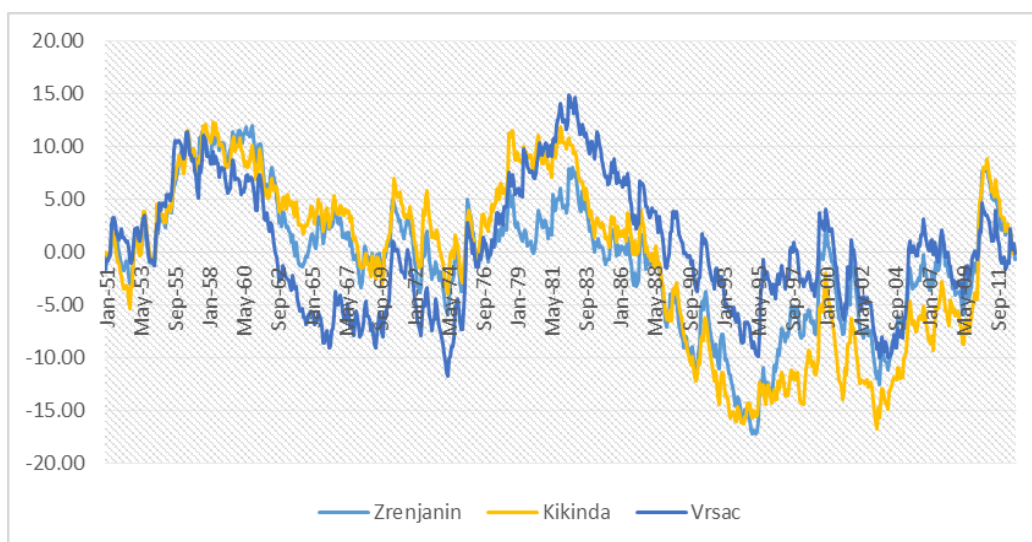
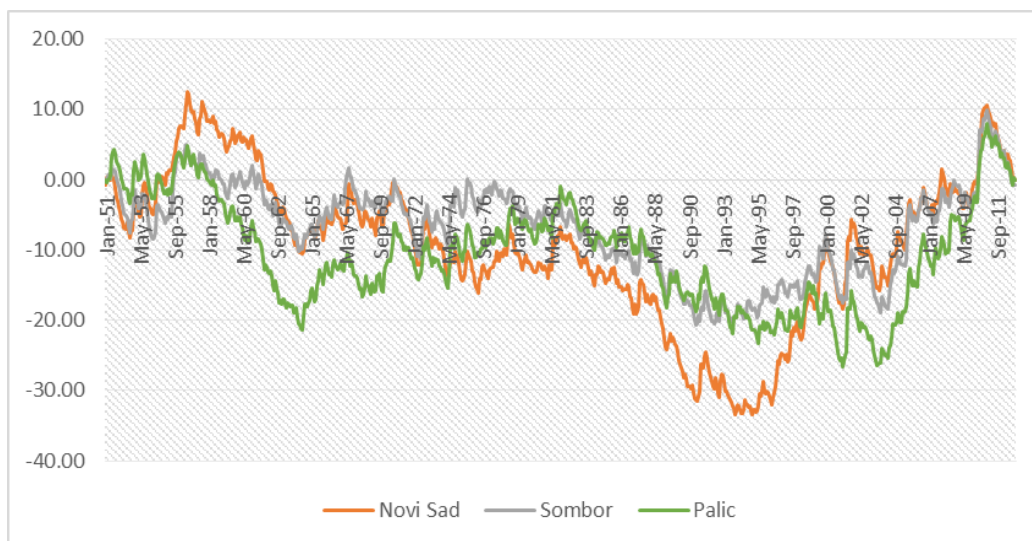
4.11 Analiza cikličnosti pomoću sumarnih krivih modulnih odstupanja

Modifikovanom metodom Oכולjića (Oכולjić, 1994) analizirana je cikličnost mesečnih padavina na sedam meteoroloških stanica u Vojvodini određivanjem modulnih koeficijenata (K) koji se dobijaju odnosom padavina svakog člana niza sa prosečnom višegodišnjom vrednošću. Oduzimanjem jedinice od K i sumiranjem ovih vrednosti u kumulativnom odnosu i podelom svakog takvog zbira sa koeficijentom varijacije dobijena je računaska sumarna kriva modulnih odstupanja od prosečne vrednosti. Dobijene računaska vrednosti su nanete na dijagram (slika 4.11), gde je na ordinati $\sum 1 - K/C_v$, a na apscisi godine perioda 1951-2012. Dobijene vremenske serije pokazuju hronološku promenljivost mesečnih vrednosti padavina, ili naizmenično smenjivanje sušnih i vlažnih perioda.



Slika 4.11 Vremenske serije hronološke promenljivosti mesečnih vrednosti padavina po Oכולjićevoj metodi određivanja cikličnosti hidrometeoroloških parametara.

Vremenski periodi u toku kojih su intenziteti prirasta sumarne krive pozitivni odgovaraju vlažnom periodu, i obrnuto, vremenski periodi u toku kojih su takvi prirasti negativni, sušnom periodu. Period vremena koji obuhvata jedan vlažan i jedan sušan period predstavlja hidrološki ciklus. Na dijagramima sa slike 4.14 mogu da se izdvoje više ciklusa i u okviru njih mikrociklusi. Svaki ciklus ima svoje karakteristike: trajanje, sušni i vodni period i prosečnu vrednost. Kada se govori o cikličnosti vlažnih i sušnih perioda mora se istaći da u svakom sušnom ili vlažnom periodu nisu zastupljene uvek sušne odnosno vlažne godine, odnosno da se u svakom sušnom odnosno vlažnom periodu mogu zapaziti vlažne odnosno sušne godine. Redosled pojavljivanja hidroloških ciklusa i mikrociklusa u okviru njih karakterističan je za svaku stanicu ponaosob. Možemo zapaziti da po broju ciklusa stanice možemo podeliti u tri grupe.



Slika 4.12 Tri karakteristične grupe hronološke promenljivosti padavina u Vojvodini, I grupu čine stanice Novi Sad, Sombor i Palić, II grupu čine stanice Zrenjanin, Vršac i Kikinda i III grupu čini stanica Sremska Mitrovica.

Prikazana podela stanica (slika 4.13) poklapa se sa klimatskom i hidrološkom analizom hidrometeoroloških parametara u Vojvodini (Pavlović, 2009). Od značaja za analizu suše jesu ciklusi koji na makro i mikro nivou predstavljaju sušne periode. Jedan hidrološki ciklus sačinjen je od jednog kontinuma pozitivnih vrednosti i jednog kontinuma negativnih vrednosti. Ukupna dužina – broj meseci u ciklusu predstavlja trajanje ciklusa, broj osenčenih meseci u ciklusu predstavlja dužinu sušnog perioda u tom ciklusu. Makro ciklusi su predstavljeni u odnosu na pozitivne i negativne vrednosti sumarne krive (Prilog 1 – tabela A.1.), dok su mikro ciklusi bazirani na mesečnim vrednostima sumarnih padavina (Prilog 2. – tabela B.1.). Ono što uočavamo je da unutar vlažnog (suvog) makro ciklusa beležimo mesece sa deficitom (surplusom) padavina. Međutim pojedinačni meseci nisu dovoljni da uvedu ceo sistem u sušu. Akumulacija deficita nakon izvesnog vremena rezultuje sušom. Mesec u kom se kumulativna kriva spusti ispod 0 beležimo kao početak suše. Za rano upozorenje lokalni trend kretanja sumarne krive deficita, koji ukazuje na ulaz makro ciklusa u negativne vrednosti, je pokazatelj razvoja suše.

5. Analiza proračuna indeksa suše

Na osnovu izmerenih podataka sa sedam meteoroloških stanica u Vojvodini u periodu 1951-2012, izvršen je proračun odabranih indikatora suše SPI, EDI i AWRI. Prva iteracija MEPIS-a podrazumevala je usvajanje prvog baznog/repernog indeksa. Usled opšte primene i prihvaćenosti kao univerzalnog indikatora kao polazni indikator usvojen je SPI3. SPI3 karakteriše pojavu klimatološke suše, gde u slučaju potrebe sagledavanja svih razmera suše neophodno je razmatrati ceo skup SPI indeksa (3, 12, 18, 24). Testiranje je vršeno samo za SPI3 indeks, usvajajući ga kao referentni za istraživanje na osnovu poređenja sa SPI12 i SPI24 rezultatima. Drugi razlog usvajanja SPI3 je što ga koristi i javni servis RHMZ Srbije u cilju praćenja kretanja suše u Srbiji. Za potrebe proračuna vrednosti SPI indeksa na osnovu 100-godišnje vremenske serije padavina generisane pomoću GCM ECHAM5 formirane su vremenske serije kumulativnih tromesečnih, dvanaestomesečnih i dvadesetčetvoromesečnih padavina. Izlaz iz modela nalazi se u vidu grb.txt fajle i uz upotrebu RStudio-a svi fajlovi su prepakovani u format pogodan za korišćenje u R-u i Excelu u kojima su generisani grafici

```
SPI_coeficient.f90 - Notepad
File Edit Format View Help
MODULE NUMERICAL
IMPLICIT NONE

!---objasnjenje-----
! imax      = total number of data
! PREC      = total day precipitation in [mm/m**2]
! sum_XXX   = total sum precipitation for cycles period
! sum_lnP   = logarithm of precipitation
! mean_P    = mean precipitation for period
! data_0    = number day with 0.0 precipitation

! AA        = parameter A
! alfa      = alfa coefficient
! beta      = beta coefficient
! gamma_f   = gamma function
! ln_gamma  = natural logarithm of gamma function
! incgamm   = incoplete gamma function
! q         = probability for PREC=0.0
! H         = cumulative probability
!
!-----
INTEGER      :: I, Y
INTEGER,PARAMETER :: imax=648
!-----
REAL         :: AA, SPI
!-----
REAL,PARAMETER  :: c0=2.515517, c1=0.802853, c2=0.010308, &
                  d1=1.432788, d2=0.189269, d3=0.001308
!-----
INTEGER,DIMENSION (12) :: act_y, data_0
REAL,DIMENSION (imax)  :: YEAR, PREC
REAL,DIMENSION (imax-2) :: prec_3m
REAL,DIMENSION (12)    :: alfa, beta, q

REAL(KIND=8)          :: t, H
REAL(KIND=4)          :: mean_P, sum_lnP, sum_3m
!-----
CHARACTER (len = *),PARAMETER  :: FILENAME_1='init_data/prec_SM'
CHARACTER (len = *),PARAMETER  :: FILENAME_2='init_data/SPI_index.txt'

CHARACTER (len = 4), DIMENSION (imax) :: MONTH
!-----
END MODULE
```

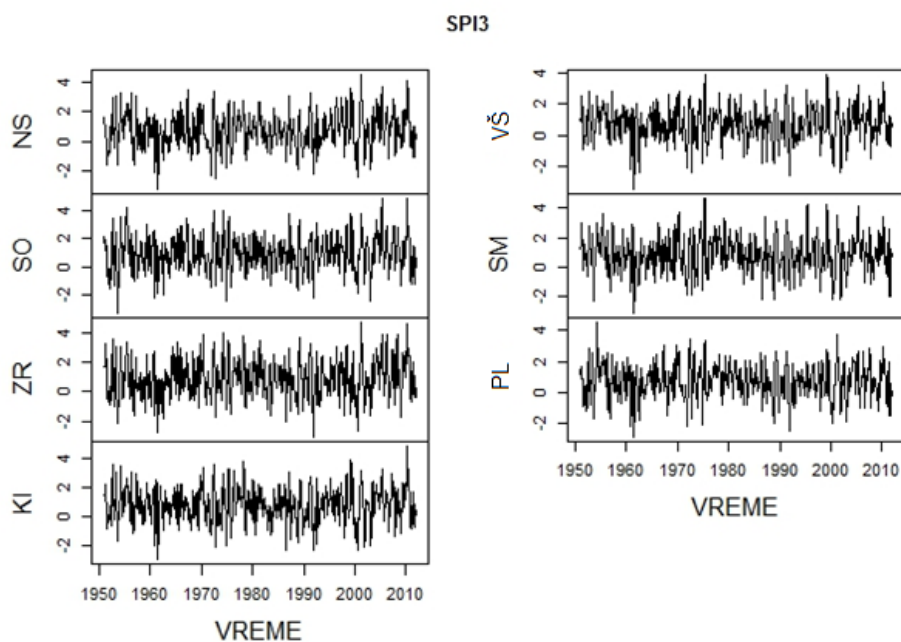
Slika 5.1 Izvod iz FORTRAN programa za proračun SPI3

5.1 Analiza SPI3

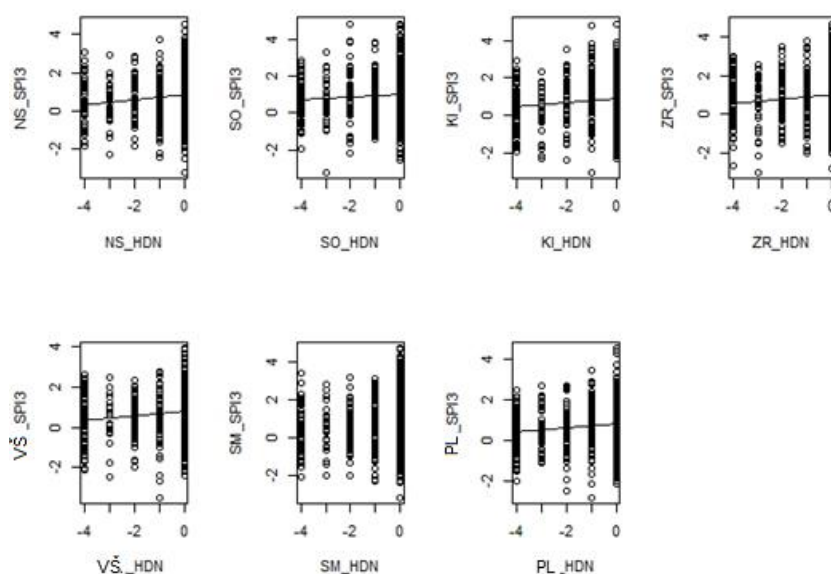
Indikator suše SPI3 definisan je jednim meteorološkim parametrom, ukupnom mesečnom visinom kiše:

$$SPI3 = f\{P\} \quad (5.1)$$

Time je zadovoljio prvi uslov postojanja neophodnih podataka u arhivi podataka i urađen je njegov proračun. Proračunom je generisano sedam vremenskih serija za period od 1951 do 2012 godine za svih navedenih sedam stanica u Vojvodini. Proračun je rađen u programu FORTRAN, a obrada i analiza dobijenih vrednosti u R-u.



Slika 5.2 Vremenske serije SPI3

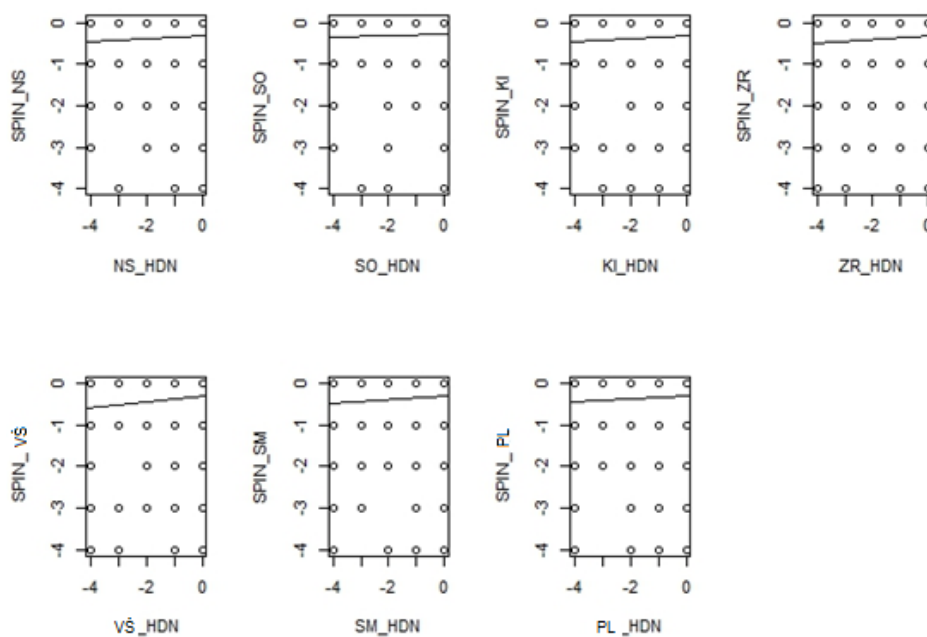


Slika 5.3 Korelacioni odnos SPI3 i HDN.

Druga logička sekvenca MEPIS-a je podrazumevala analizu slaganja indeksa suše SPI3 sa istorijskim zabeleženim sušama. Uporedili smo SPI3 sa obe metode određivanja istorijskih suša. U tu svrhu kreiran je R programski kod koji je transponovan i na analizu drugih indeksa suše, čime se obezbedila standardizacija u pristupu analizi poklapanja istorijskih suša sa vrednostima odabranih indikatora suše. Analize slaganja SPI3 sa istorijskim sušama nisu bile ohrabrujuće, i nije se ukazala nikakva linearna sprega SPI3 i markera istorijskih suša. Korelaciona analiza nije ukazala na postojanje usaglašenosti SPI3 i HDN. Sa prikazanih grafika (slike 5.1 i 5.2) možemo zapaziti i da se vrednosti SPI3 koji ukazuju na normalno ili ekstremno vlažno vreme javljaju kada su istorijski podaci ukazivali na ekstremne suše. Da bi potvrdili nalaze, vrednostima SPI3 dodelili smo težinske faktore u skladu sa značenjem vrednosti SPI-ja (tabela 5.1).

Tabela 5.1 Dodeljeni težinski faktori vrednostima SPI3.

Kategorija	vrednosti SPI	Težinski faktor
Ekstremno vlažno	>+2	0
Veoma vlažno	od 1,50 do 1,99	0
Umereno vlažno	od 1,00 do 1,49	0
Normalno	od 0,99 do 0	0
Blaga suša	Od 0 do -0,99	-1
Suša	od -1,0 do -1,49	-2
Jaka suša	od -1,5 do -1,99	-3
Ekstremna suša	< -2	-4



Slika 5.4 Slaganje pojave suše određene metodom HDN i SPI3

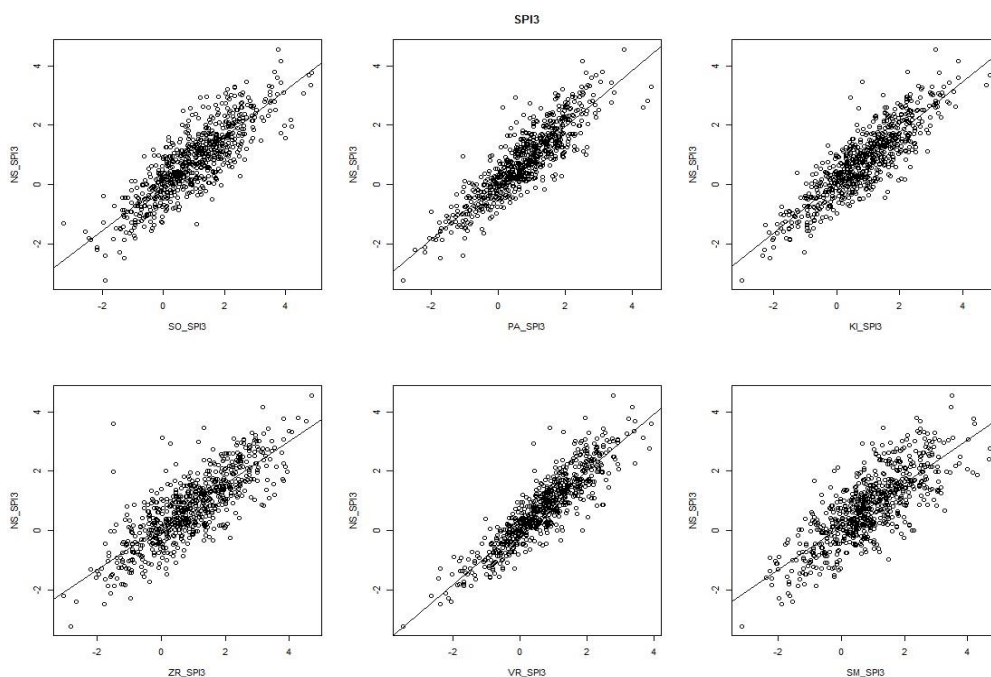
Kako korelacija dva metoda nije značajna, uporedili smo slaganje vremenske pojave suša i slaganje pojave suša po intenzitetu u odnosu na ukupan broj sušnih događaja. Time smo eliminisali veliki šum koji prave godine bez suše, jer suša jeste relativno retka pojava. Da bi utvrdili slaganje metoda i van sušnog perioda tražili smo vremensko slaganje pojave težinskog koeficijenta 0 (tabela 5.2).

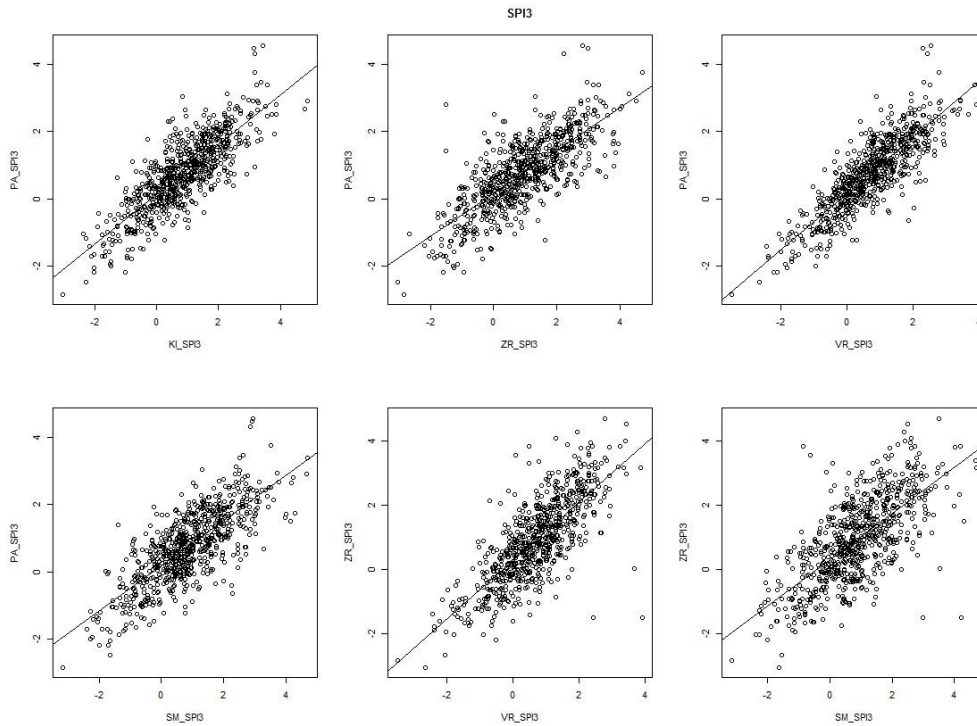
Tabela 5.2 Broj poklopljenih događaja

		SPI3						
		NS	SO	PL	KI	VŠ	ZR	SM
HDN po pojavi suše		68	55	75	72	67	77	65
		29,2%	23,7%	27,2%	24,5%	29,8%	28,4%	28,0%
HDN po intenzitetu suše		19	19	18	25	21	22	18
		8,2%	8,2%	6,5%	8,5%	9,4%	8,1%	7,8%
Slaganje perioda bez suše		401	373	406	350	405	367	406
		78,8%	73,1%	87,1%	78,1%	78,3%	77,9%	79,6%
HDK po pojavi suše		NS	SO	PA	KI	VR	ZR	SM
		77	57	72	69	71	71	67
HDK po intenzitetu suše		30,3%	22,5%	28,3%	25,7%	28,4%	27,2%	27,5%
		21	22	17	19	25	23	20
Slaganje perioda bez suše		8,3%	8,7%	6,7%	7,1%	10,0%	8,8%	8,2%
		401	392	387	371	383	370	395
		82,2%	80,2%	79,3%	78,4%	77,8%	76,9%	79,3%

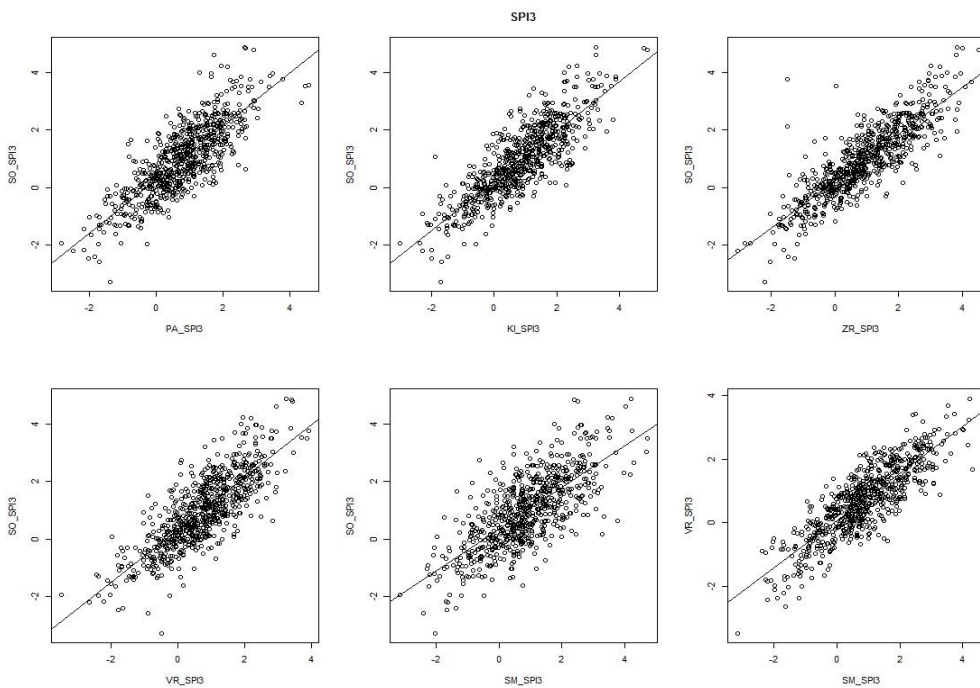
Dobijeni rezultati ukazuju da je preciznost za SPI3 oko 30%, dok je njegova osetljivost dosta niska odnosno svega oko 8% događaja se poklopilo po intenzitetu. U skladu sa analizom prostorne korelacije meteoroloških parametara, urađena je i analiza prostorne korelacije SPI3 indeksa, koja ukazuje na značajnu linearnu prostornu korelaciju.

A)





B)

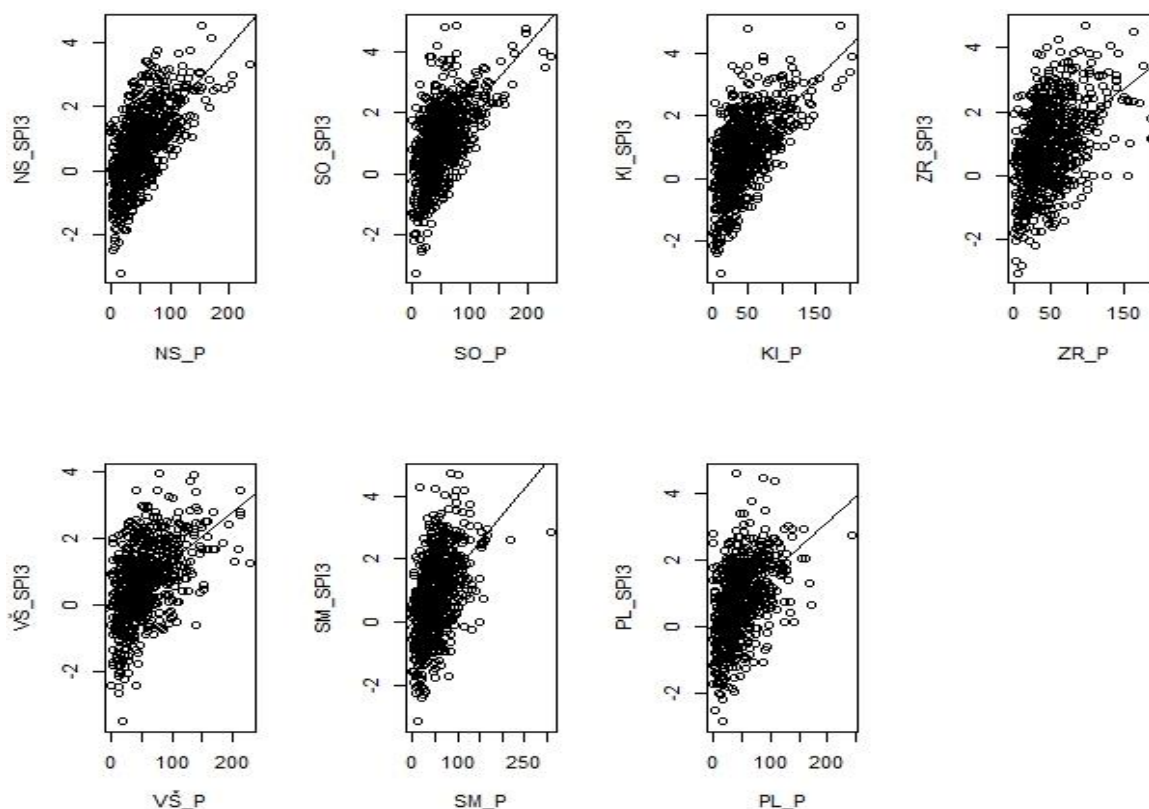


C)

Slika 5.5 A, B, C Korelacioni odnosi među meteorološkim stanicama i regresioni linearni model

Uočeno je da postoji značajno prostorno slaganje u intenzitetu SPI3 u Vojvodini. Prostorna uslovljenost sušnih događaja je od podjednakog značaja kao i njihova vremenska uslovljenost. Na osnovu prostornih slaganja pojavu suše bi mogli očekivati na prostoru između osmatračkih stanica sa prosečnom pouzdanošću od oko 85%. Prag

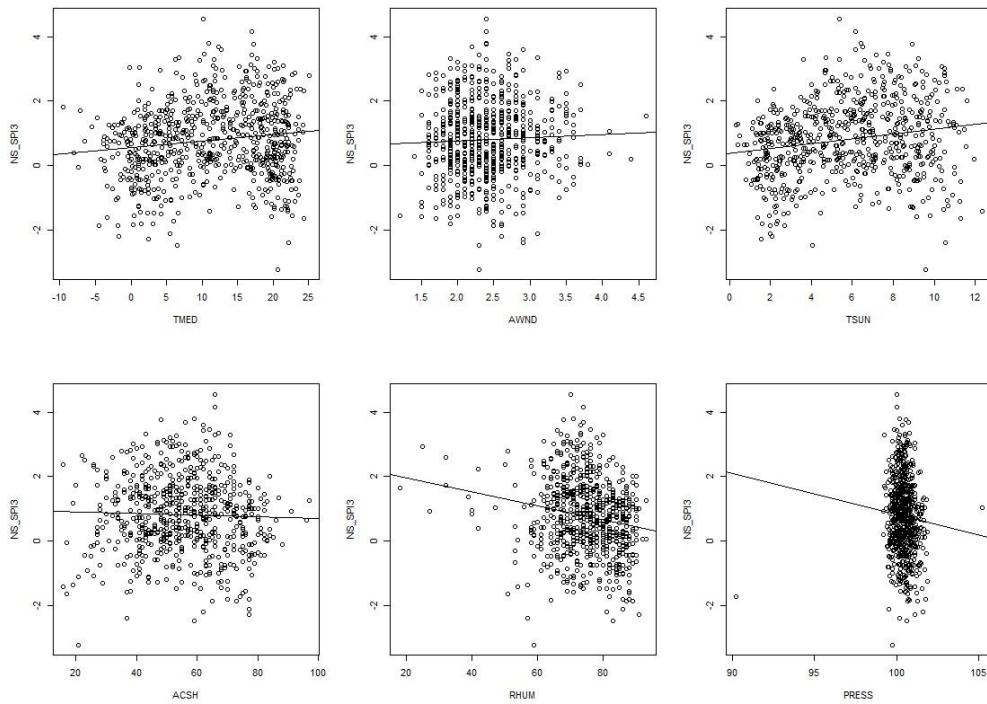
od 85% za indeks suše je dosta visok i zadovoljavajući kao polazni za dalja istraživanja. Drugim rečima, u 85% slučajeva ukoliko bi se samo oslonili na događaje na osmatranim stanicama bili bi u pravu kad bismo predvideli iste događaje na prostoru između njih. Četvrta logička sekvenca MEPIS algoritma okarakterisana je određivanjem stohastičke zavisnosti indeksa i merenih parametara. U MEPIS je uključeno osam meteoroloških parametara od značaja: pritisak, padavine, temperatura, vlažnost vazduha, brzina vetra, oblačnost, trajanje sunčevog sjaja i evapotranspiracija.



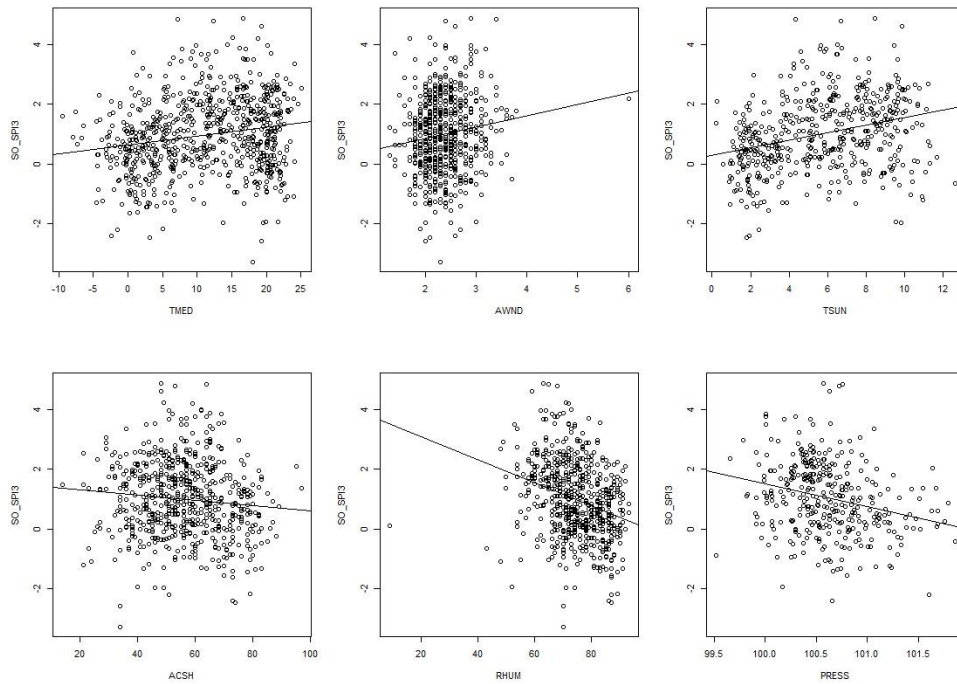
Slika 5.6 Asocijativni odnosi među SPI3 i padavina i regresioni linearni model

Funkcija ove faze je naći mere slaganja varijacija procenjivanog indeksa suše i svakog merenog parametra ponaosob. SPI3 je u funkciji padavina, koja po svojoj prirodi nije linearna te rezultati linearne regresije su bili očekivani (slika 5.6). No ipak možemo primetiti da sprega SPI3 i padavina varira po prostoru, te možemo zaključiti da SPI3 nije prostorno homogeno precizan kao što se očekivalo, i da postoji osetljivost SPI3 na prostorne uslove. Po stanicama je testiran korelacioni odnos SPI3 sa drugim meteorološkim parametrima u skladu sa četvrtom logičkom sekvencom MEPIS-a i to redom: srednja mesečna temperatura TMED, srednja mesečna brzina vetra -AWND, srednje trajanje sunčevog sjaja u toku dana za dati mesec - TSUN, srednja mesečna oblačnost - ACSH, srednja mesečna vlažnost vazduha - RHUM, srednji mesečni pritisak - PRESS. Na slikama 5.7 - 5.13 možemo uočiti da ne postoji značajna linearna zavisnost između ponašanja SPI3 i meteoroloških parametara od značaja za identifikovanje sušnih uslova. Iako stepen korelacije nije od statističkog značaja, smer uočene korelacije (tabela 5.2) nam ukazuje da li indikator fizički ima logičku vezu sa parametrima od

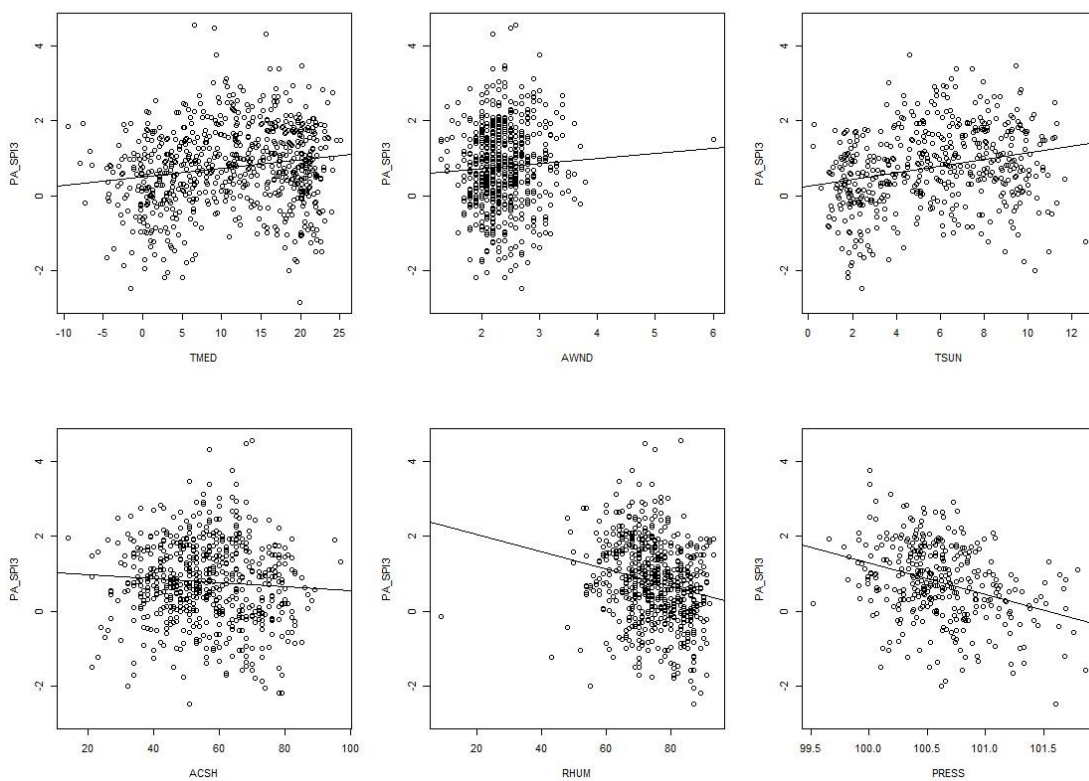
značaja za formiranje suše. Osenčena polja označavaju meteorološke parametre sa kojima indikator nije ostvario odgovarajuću fizičku uzročno-posledičnu vezu.



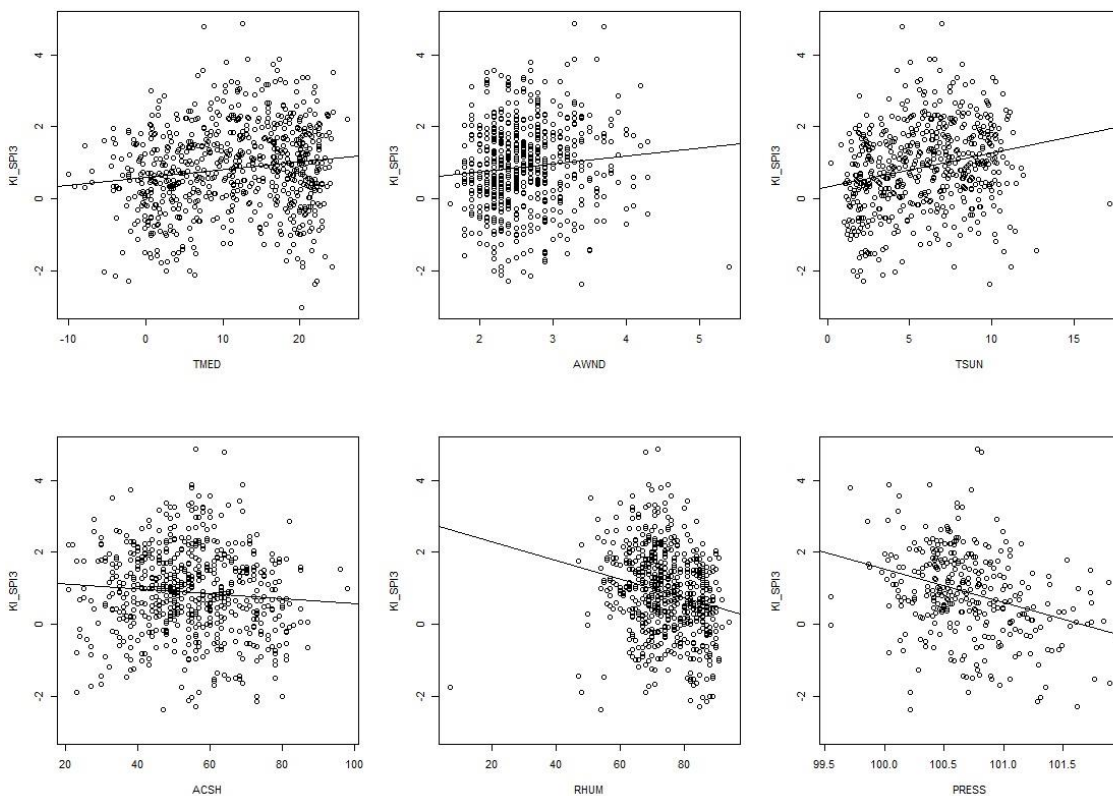
Slika 5.7 Asocijativni odnos SPI3 i meteoroloških parametara za stanicu Novi Sad



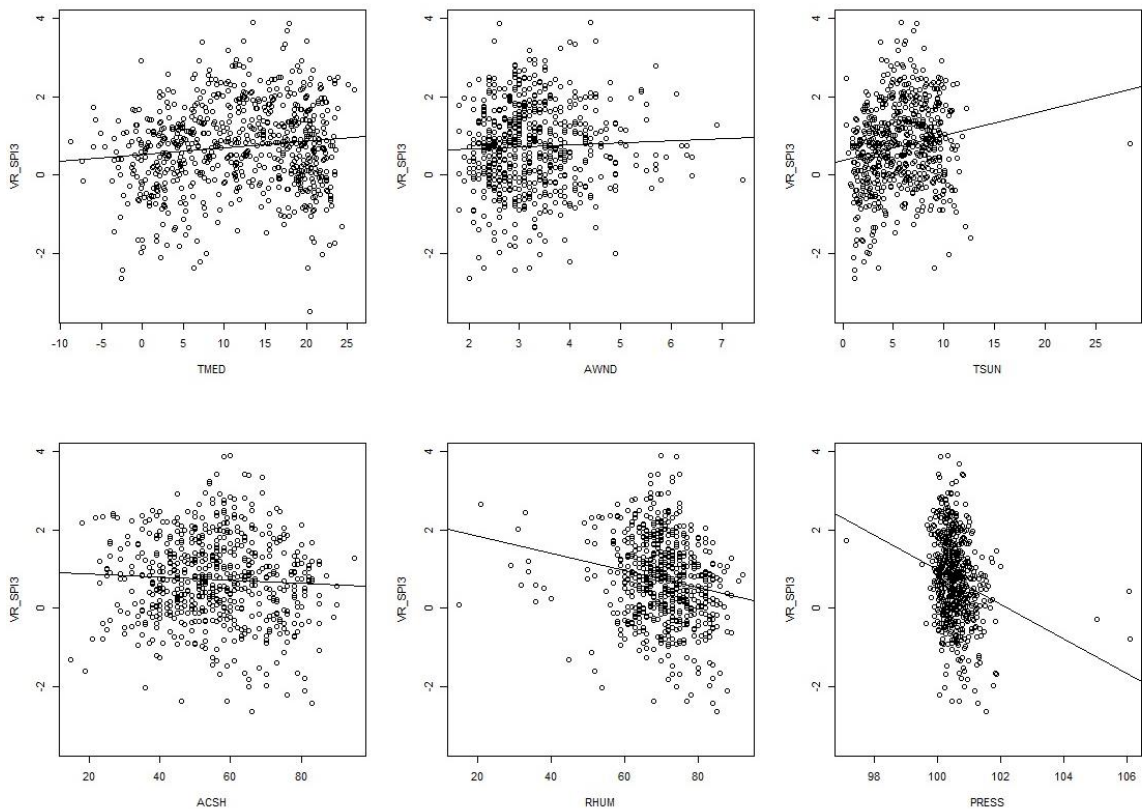
Slika 5.8 Asocijativni odnos SPI3 i meteoroloških parametara za stanicu Sombor



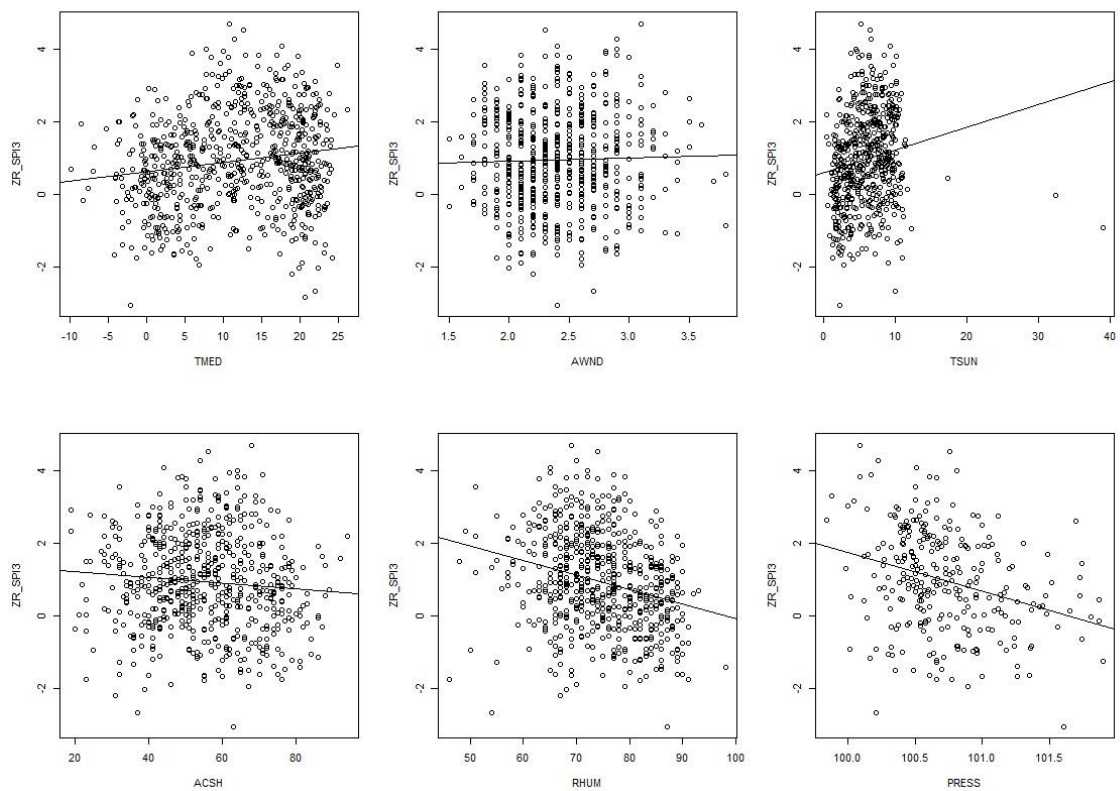
Slika 5.9 Asocijativni odnos SPI3 i meteoroloških parametara za stanicu Palić



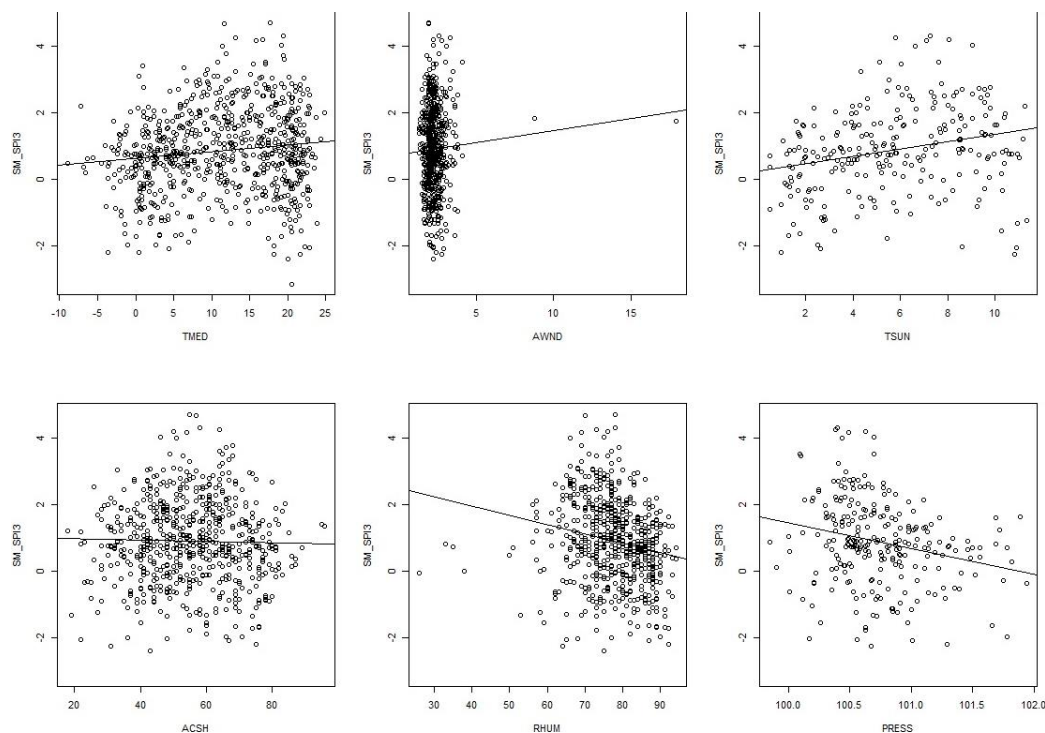
Slika 5.10 Asocijativni odnos SPI3 i meteoroloških parametara za stanicu Kikinda



Slika 5.11 Asocijativni odnos SPI3 i meteoroloških parametara za stanicu Vršac



Slika 5.12 Asocijativni odnos SPI3 i meteoroloških parametara za stanicu Zrenjanin



Slika 5.13 Asocijativni odnos SPI3 i meteoroloških parametara za stanicu Sremska Mitrovica

Možemo uočiti da SPI3 nema značajne linearne korelacije ni sa jednim drugim meteorološkim parametrom od značaja za definisanje sušnog stanja. No iako ne postoji očigledna finkcijska veza, smer korelacionog odnosa je isto od velikog značaja.

Tabela 5.3 Smer korelacije SPI3 i meteoroloških parametara od značaja

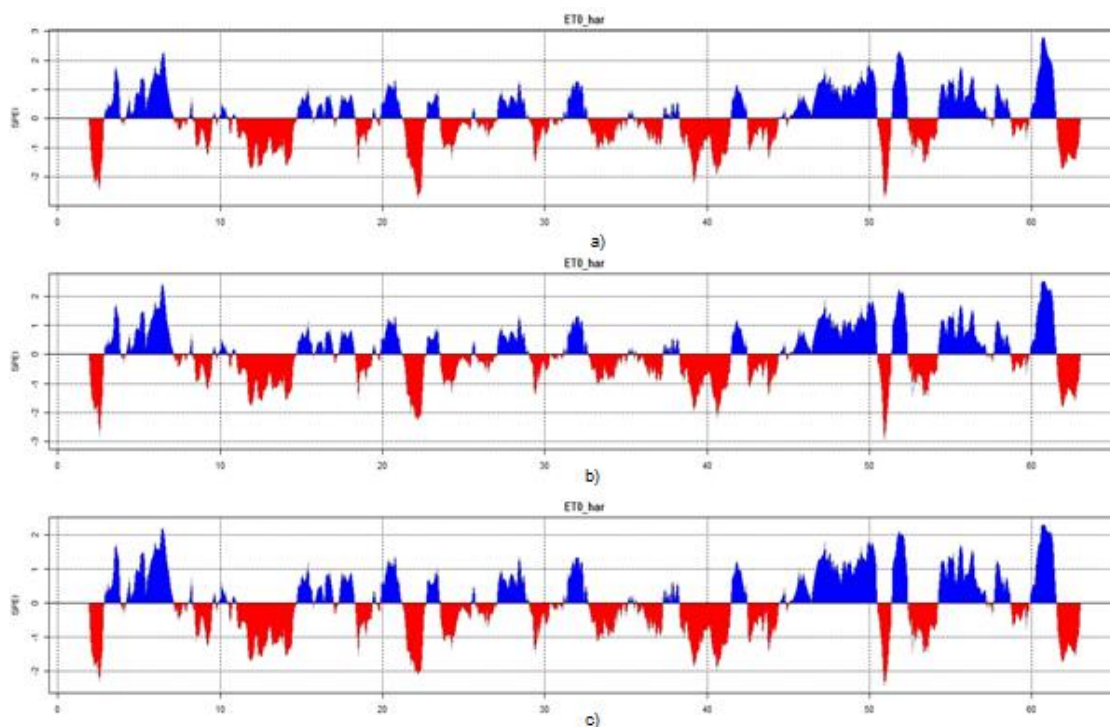
SPI3	NS	SO	PL	KI	VŠ	ZR	SM
P	+	+	+	+	+	+	+
ET	+	+	+	+	+	+	+
TMED	+	+	+	+	+	+	+
AWND	+	+	+	+	+	+	+
TSUN	+	+	+	+	+	+	+
ACSH	-	-	-	-	-	-	-
RHUM	-	-	-	-	-	-	-
PRESS	-	-	-	-	-	-	-

Smer korelacije (tabela 5.3) SPI3 sa osenčenim meteorološkim parametrima od značaja je obrnut od očekivanog i potrebnog. Da bi pravilno reprezentovao uslove suše neophodno je da vrednost indikatora suše bude u skladu sa stanjem koji meteorološki parametri indikuju. To znači, u slučaju SPI3, da je za očekivati bilo da je u negativnoj korelaciji sa temperaturom, evapotranspiracijom i trajanjem sunčevog sjaja, jer sa porastom vrednosti ovih parametara raste verovatnoća razvoja sušnih uslova, i vrednost SPI3 bi trebalo da opada. Po reciprocitetu odnos sa srednjom oblačnošću, padavinama i vlažnošću bi trebao da bude pozitivan. Jedino odnos SPI3 i pritiska je u dobrom očekivanom smeru, jer sa porastom pritiska stvaraju se povoljni uslovi za razvoj suše. Što se tiče smera korelacije sa vetrom, iako je za očekivati da veća brzina vetra utiče na razvoj sušnih uslova, u zavisnosti od pravca vetra to može varirati. Po prirodi stvari, vetar može da donosi vlažan vazduh ili pak da iznosi vlagu iz osmatrane oblasti. Iz tog razloga smer korelacije sa vetrom biće uzet samo kao konstantacija.

Analiza SPI3 po MEPIS-u je ovde završena. Treću logičku sekvencu MEPIS-a nije moguće sprovesti na prvom testiranom indeksu jer nemamo referne vrednosti. U ovom koraku usvojili smo da su karakteristike koje SPI3 poseduje korektne i dovoljne za indeks suše, i dalje ćemo korigovati ove nalaze u skladu sa rezultatima analize drugih indeksa.

5.2 Analiza SPEI

SPEI kao indeks je agregat SPI-ja, odnosno njegova modifikacija.



Slika 5.14 Prikaz varijacije vrednosti SPEI3 u odnosu na izbor distribucije (a) Gamma, b) Pearson III, c) Log-Logistic) u proračunu na primeru stanice Novi Sad, za vrednost evapotranspiracije proračunate po metodi Hargreaves

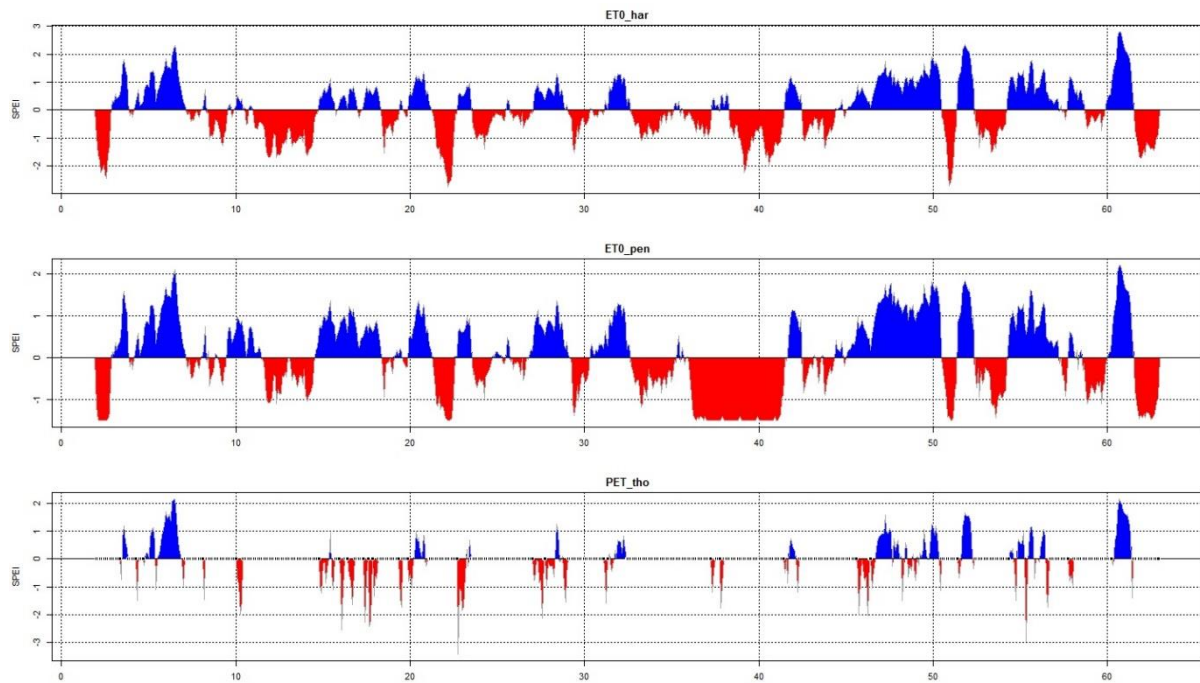
Uvođenjem vrednosti razlike padavina i evapotranspiracije umesto isključivo padavina očekivalo se poboljšanje SPI metode. U osnovi, funkcija standardizuje varijablu koja prati log-logistic, Gamma ili Pearson III raspodelu. U samom R paketu SPEI (Vicente-Serrano, et al., 2010), modifikovanom za naš proračun, moguće je izmeniti funkciju raspodele i testirati osetljivost indeksa na specifičnu primenjenu funkciju. Izbor funkcije raspodele zavisi od prirode podataka i za razliku od SPI gde je Gamma raspodela reprezentativna, u slučaju SPEI log-logistic raspodela daje najpouzdanije rezultate (Beguería & Vicente-Serrano, 2013). Mogu se uočiti manje varijacije u određivanju intenziteta SPEI u zavisnosti od odabrane raspodele. Na preciznost SPEI indeksa u mnogome utiče i izbor funkcije proračuna evapotranspiracije. U daljoj analizi prikazana je osetljivost SPEI-ja na izmenu PET funkcije.

5.2.1 MEPIS logička sekvencu 1: Proračun SPEI - testiranje osetljivosti SPEI na izmenu PET proračuna

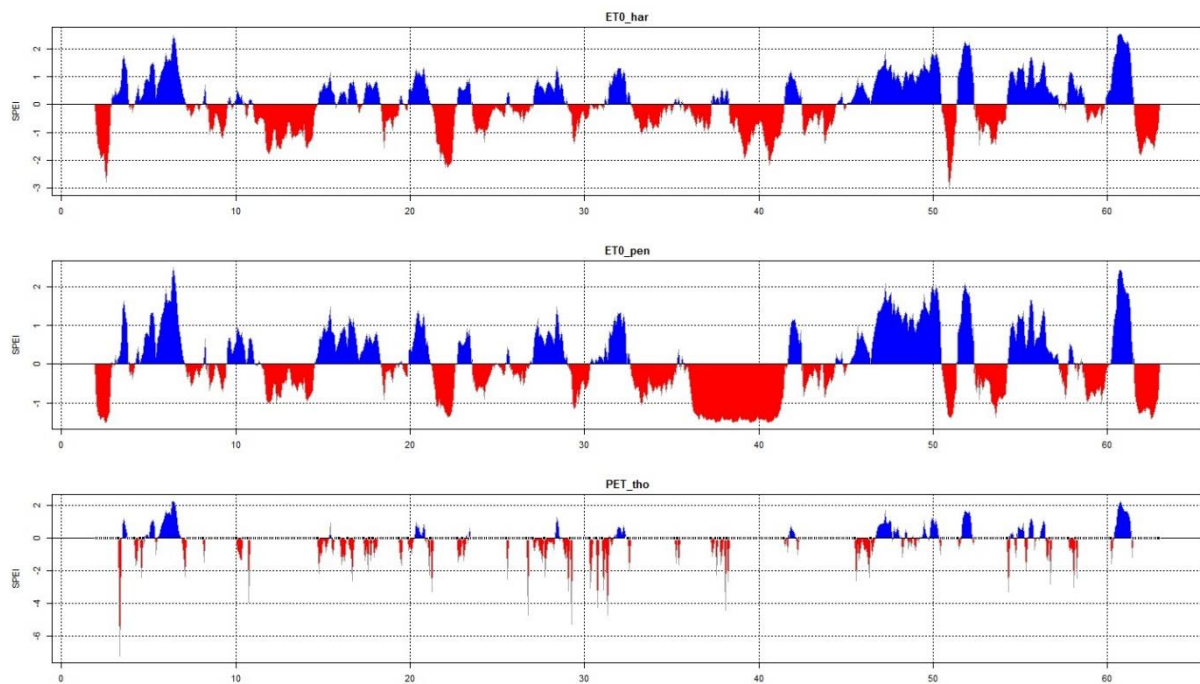
Cilj eksperimenta bio je ukazati na osetljivost SPEI indeksa na odabir metode proračuna evapotranspiracije, kao i na njegove karakteristike u odnosu na SPI indeks bez modifikacija usled velike sprege evapotranspiracije sa uslovima koji pogoduju suši. Testiranje osetljivosti SPEI na odabir PET metode urađen je u R studiju.

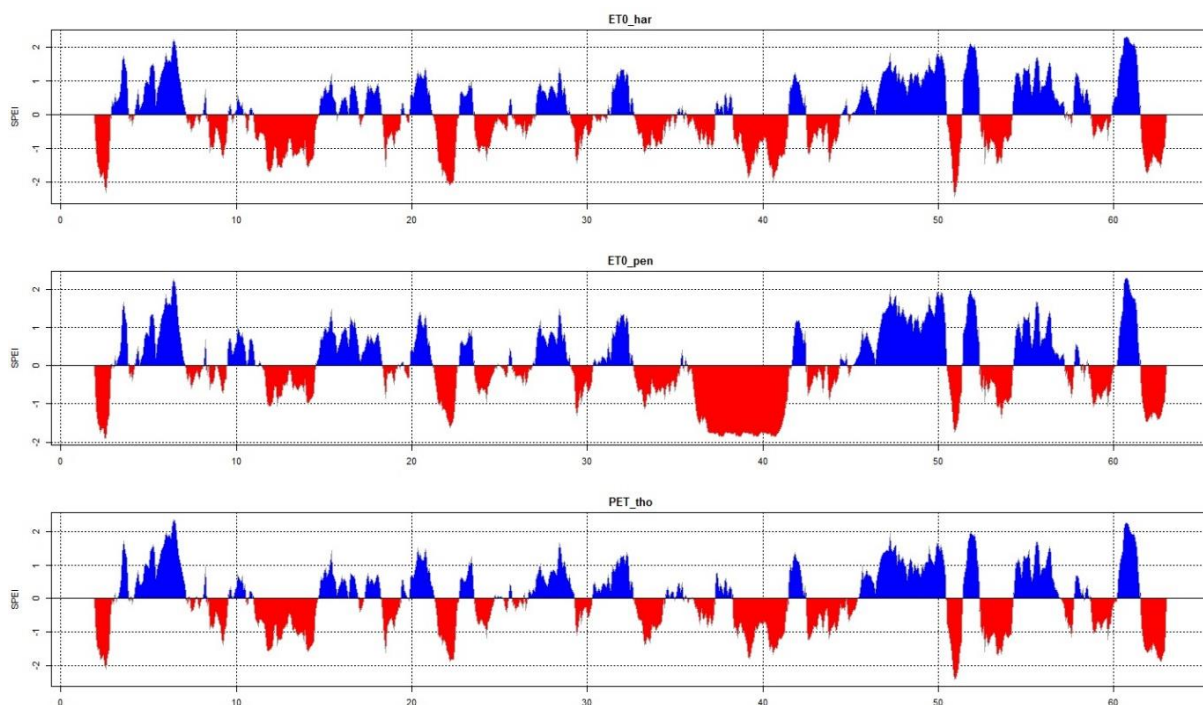
Na slikama 5.15 – 5.17 možemo zapaziti značajnu varijaciju u kretanju i intenzitetu vrednosti SPEI12 u zavisnosti od odabira metoda za proračun evapotranspiracije. Po istom principu izvršen je proračun SPEI3 u 9 varijacija i generisali smo 63 vremenske serije za teritoriju Vojvodine.

Slika 5.15 Prikaz varijacije vrednosti SPEI12 u odnosu na izbor PET proračuna na primeru stanice Novi Sad, u proračunu korišćena Gamma distribucija



Slika 5.16 Prikaz varijacije vrednosti SPEI12 u odnosu na izbor PET proračuna na primeru stanice Novi Sad, u proračunu korišćena Pearson III distribucija



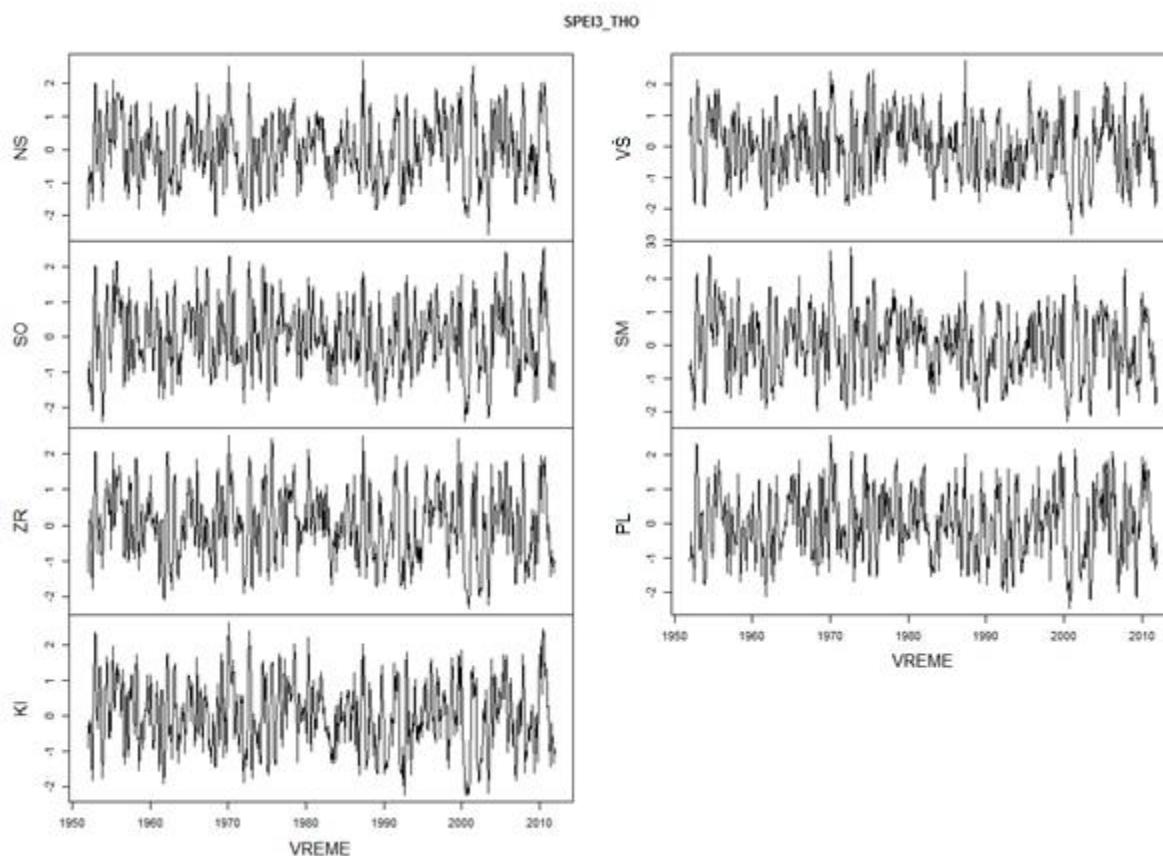


Slika 5.17 Prikaz varijacije vrednosti SPEI12 u odnosu na izbor PET proračuna na primeru stanice Novi Sad, u proračunu korišćena log-Logistic distribucija

U prvom koraku eksperimenta proračun SPEI urađen je na tromesečnom nivou, i SPEI je proračunat za tri navedene varijacije funkcije raspodele i za tri različite metode proračuna evapotranspiracije, po Hargreavesu, Penman-Monteith-u i Thornthwaite-u. Thornthwaite izračunava mesečnu potencijalnu evapotranspiraciju (PET) prema Thornthwaite (1948) jednačini. To je najjednostavnija od tri metode, a može se koristiti kada su dostupni samo podaci o srednjoj temperaturi. Hargreaves izračunava mesečnu referentnu evapotranspiraciju (ET_0) sa trave na osnovu originalne Hargreaves jednačine (1985). Metoda Hargreaves zahteva podatke o srednjoj količini zračenja na gornjoj granici atmosfere, R_a . Ako takvi podaci nisu dostupni može se proceniti na osnovu geografske širine i meseca u godini. Penman izračunava mesečnu referentnu evapotranspiraciju (ET_0) hipotetičkog referentnog useva prema FAO-56 Penman-Monteith jednačini. Korišćena je originalna parametrizacija Allen et al. (1994), kojoj odgovara niski referentni usev od 0,12 m visine. Može se koristiti i parametrizacija za visoki referentni usev od 0,5 m visine po Valter et al. (2002), postavljanjem parametra useva na 'Tall'. Metoda zahteva podatke o dolaznom sunčevom zračenju, R_s ; pošto su ovi retko dostupni, proračun se može izvršiti na osnovu podataka za trajanje sunčevog sjaja T_{sun} , ili alternativno na osnovu podataka o oblačnosti CC . Slično tome, ako podaci o pritisku vodene pare zasićenja nisu dostupni, moguće ih je proceniti na osnovu temperature tačke rose T_{dev} , relativne vlažnosti RH ili čak minimalne temperature T_{min} (potrebni podaci su sortirani od najmanje do najviše neizvesnog metoda procene). Kod (prilog 3) će proizvoditi poruku o grešci ako se ne obezbedi važeća kombinacija ulaznih parametara. Ako je glavni ulaz objekat (T_{sr} , T_{min} , T_{max}) vektor ili matrica, podaci će biti tretirani kao niz mesečnih vrednosti od januara. Ako je ulazni objekat vremenska serija onda funkcija ciklus će se koristiti za utvrđivanje položaja svakog posmatranja u toku godine (mesec), omogućavajući da niz počne mesecom drugačijim od januara.

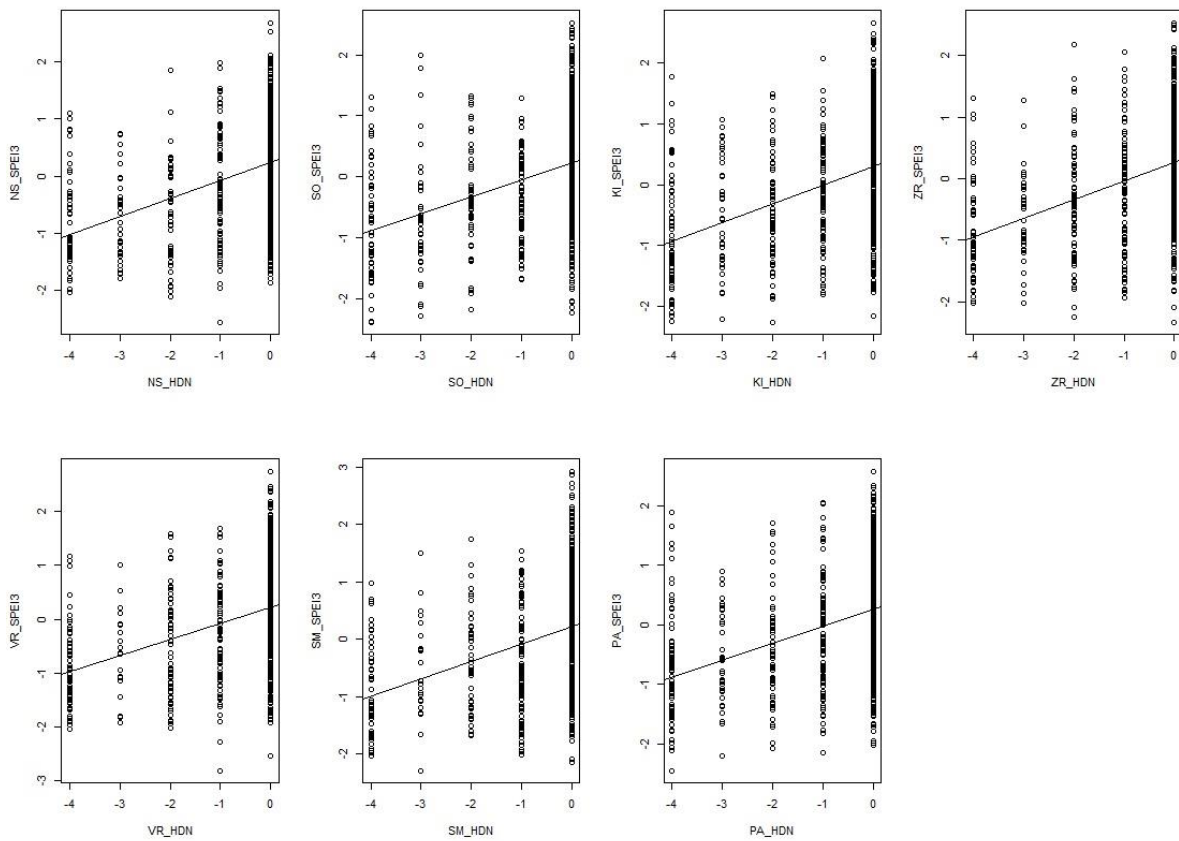
5.2.2 MEPIS logička sekvenca 2 – Slaganje SPEI3 sa istorijskim sušama

Vremenske serije SPEI vrednosti, proračunatih uz upotrebu Gamma i Pearson III raspodele, generišu veliki broj nedostajućih podataka (NA) i stoga nisu bile dovoljno pouzdane za dalju analizu. Vremenske serije SPEI3, proračunate na bazi Log-Logistic raspodele ukazale su na dobru konzistenciju i homogenost podataka.

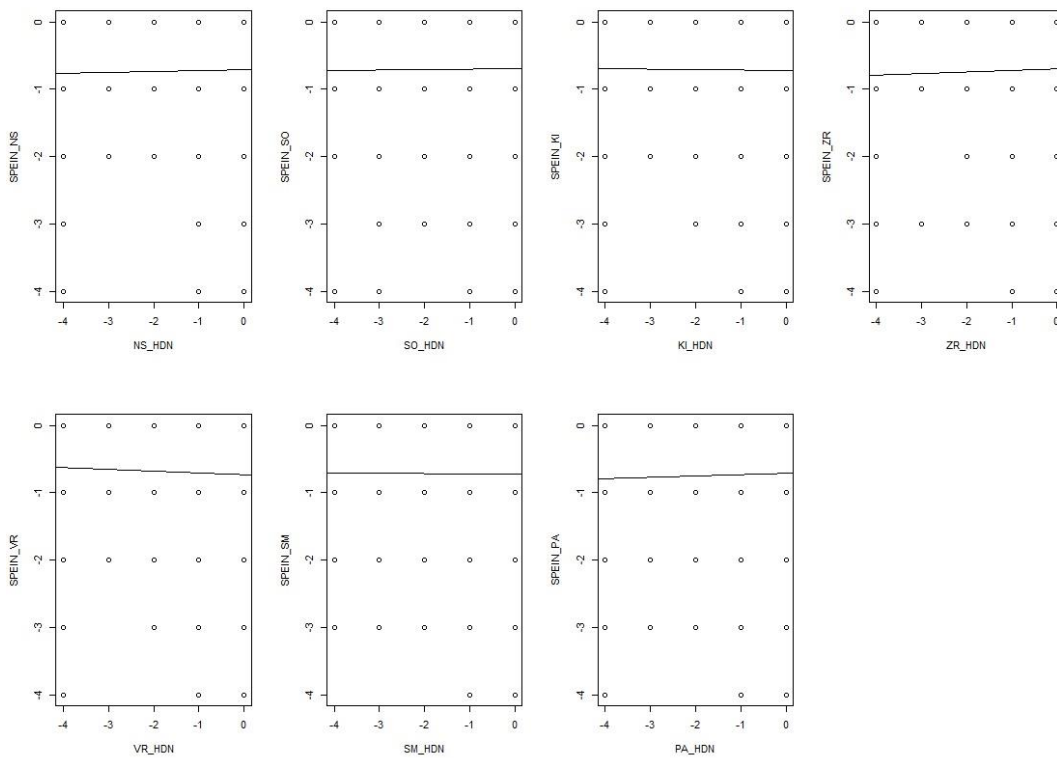


Slika 5.18 Prikaz usvojenih vremenskih serija SPEI3_THO za sedam meteoroloških stanica, u proračunu korištena log-Logistic distribucija i Thorntwaitova metoda procene evapotranspiracije.

Uporedili smo tri vremenske serije SPEI3 sa obe metode određivanja istorijskih suša. Vremenske serije SPEI3 razlikovale su se po metodi određivanja evapotranspiracije primenjene u proračunu. Analize slaganja SPEI3 sa istorijskim sušama su pokazale isto ponašanje kao i SPI3 i nisu bile ohrabrujuće, i nije se ukazala nikakva linearna sprega SPEI3 i markera istorijskih suša. Kao i kod SPI-ja, korelaciona analiza nije ukazala na postojanje usaglašenosti SPEI3 i HDN. Sa prikazanih grafika možemo zapaziti i da se vrednosti SPEI3 koji ukazuju na normalno ili ekstremno vlažno vreme javljaju, kao i kod SPI3, kada su istorijski podaci ukazivali na ekstremne suše. Da bi potvrdili nalaze, vrednostima SPEI3 dodelili smo težinske faktore u skladu sa značenjem vrednosti SPEI-ja, po istoj metodi kao i za SPI.



Slika 5.19 Korelacioni odnos SPEI3_THO i HDN

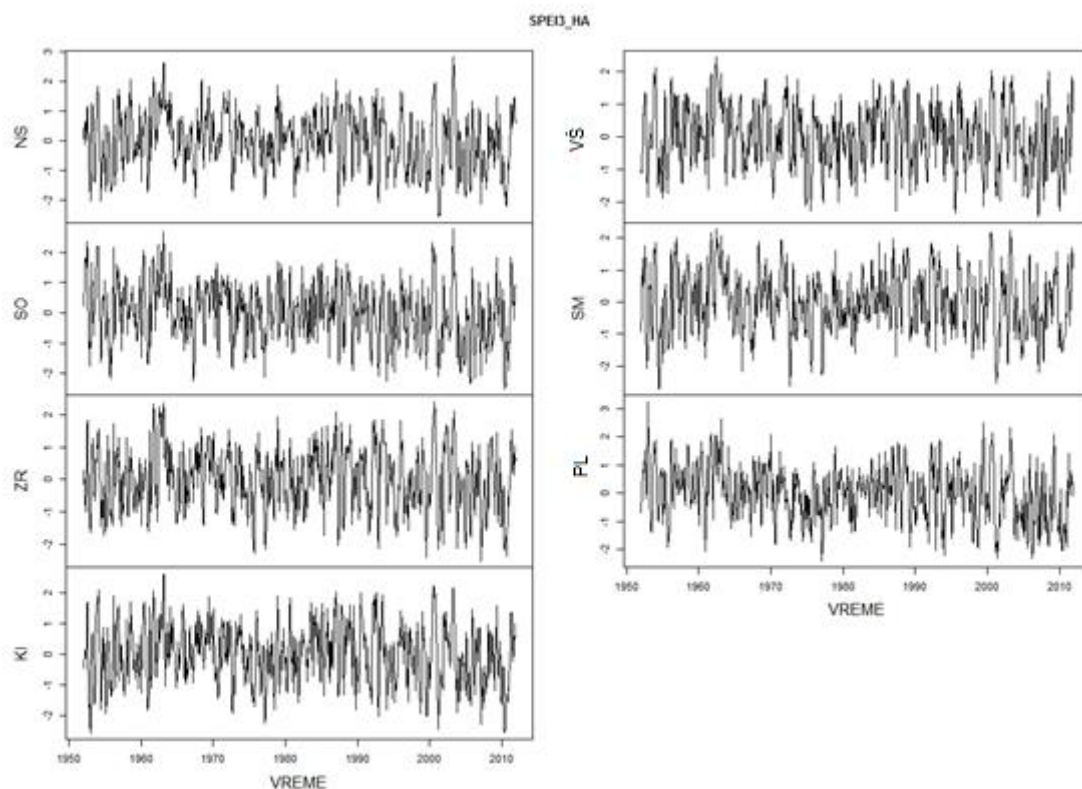


Slika 5.20 Poređenje vremenskih serija HDN i SPEI3_THO, nakon dodavanja težinskog faktora vrednosti SPEI3.

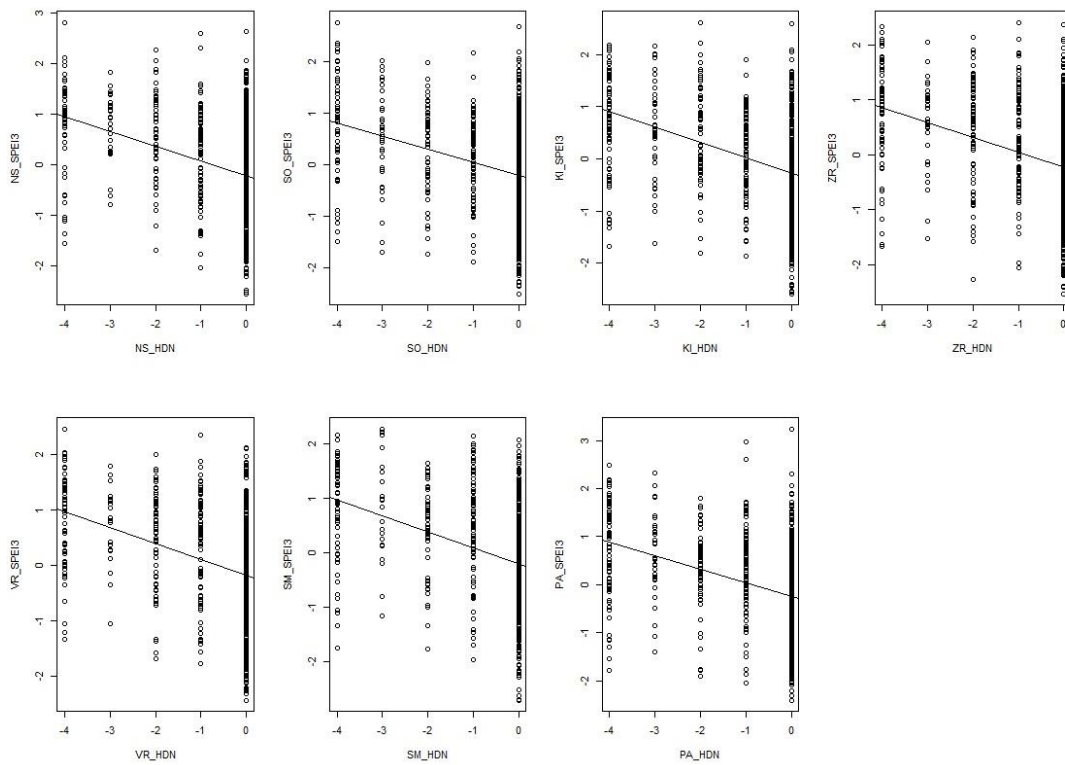
Tabela 5.4 Broj i odnos poklopljenih događaja.

		SPEI3_THO						
HDN po pojavi suše	NS	SO	PL	KI	VŠ	ZR	SM	
		114	138	115	140	97	137	110
	48,9%	59,5%	41,7%	47,6%	43,1%	50,6%	47,4%	
HDN po intenzitetu suše	30	39	50	42	30	45	49	
	12,9%	16,8%	18,1%	14,3%	13,3%	16,6%	21,1%	
Slaganje perioda bez suše	266	270	249	235	269	256	264	
	52,3%	52,9%	53,4%	52,5%	52,0%	54,4%	51,8%	
HDK po pojavi suše	NS	SO	PL	KI	VŠ	ZR	SM	
	119	118	127	125	109	120	118	
	46,9%	46,6%	50,0%	46,5%	43,6%	46,0%	48,4%	
HDK po intenzitetu suše	39	22	17	19	25	23	20	
	15,4%	8,7%	6,7%	7,1%	10,0%	8,8%	8,2%	
Slaganje perioda bez suše	266	252	260	244	256	248	259	
	54,5%	51,5%	53,3%	51,6%	52,0%	51,6%	52,0%	

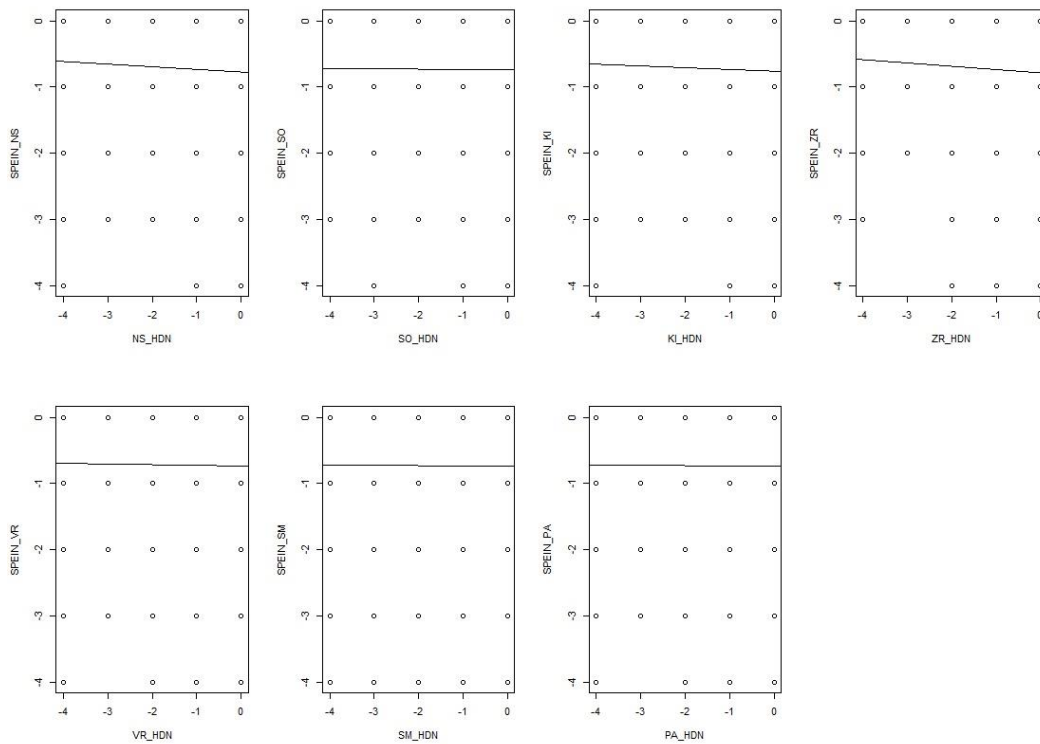
Dobijeni rezultati ukazuju da je preciznosti SPEI3_THO oko 47,65%, dok je njegova osetljivost bolja od SPI3 i iznosi u proseku oko 12,75%, no varira u opsegu od 6,7% do 21,1% u zavisnosti od stanice i metode određivanja istorijske suše, što ukazuje na osetljivost u prostornim karakteristikama same metode određivanja evapotranspiracije.



Slika 5.21 Prikaz usvojenih vremenskih serija SPEI3_HA za sedam meteoroloških stanica, u proračunu korišćena log-Logistic distribucija i Hargreavesova metoda procene evapotranspiracije.



Slika 5.22 Korelacioni odnos SPEI3_HA i HDN

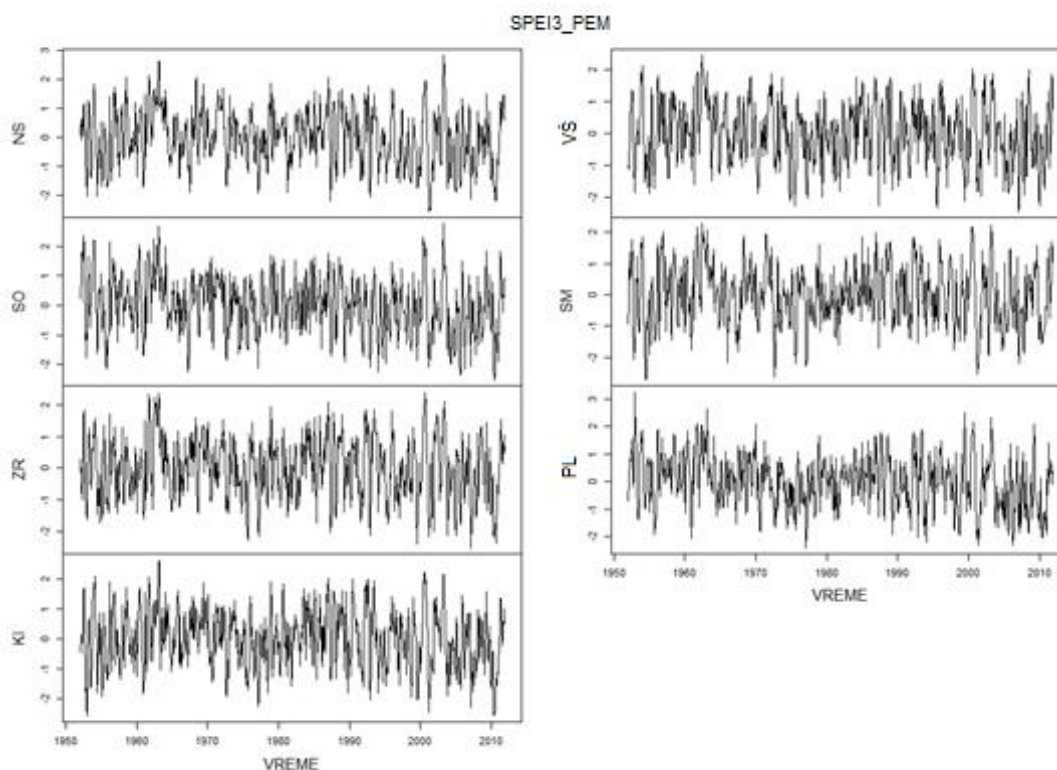


Slika 5.23 Poređenje vremenskih serija HDN i SPEI3_HA, nakon dodavanja težinskog faktora vrednosti SPEI3

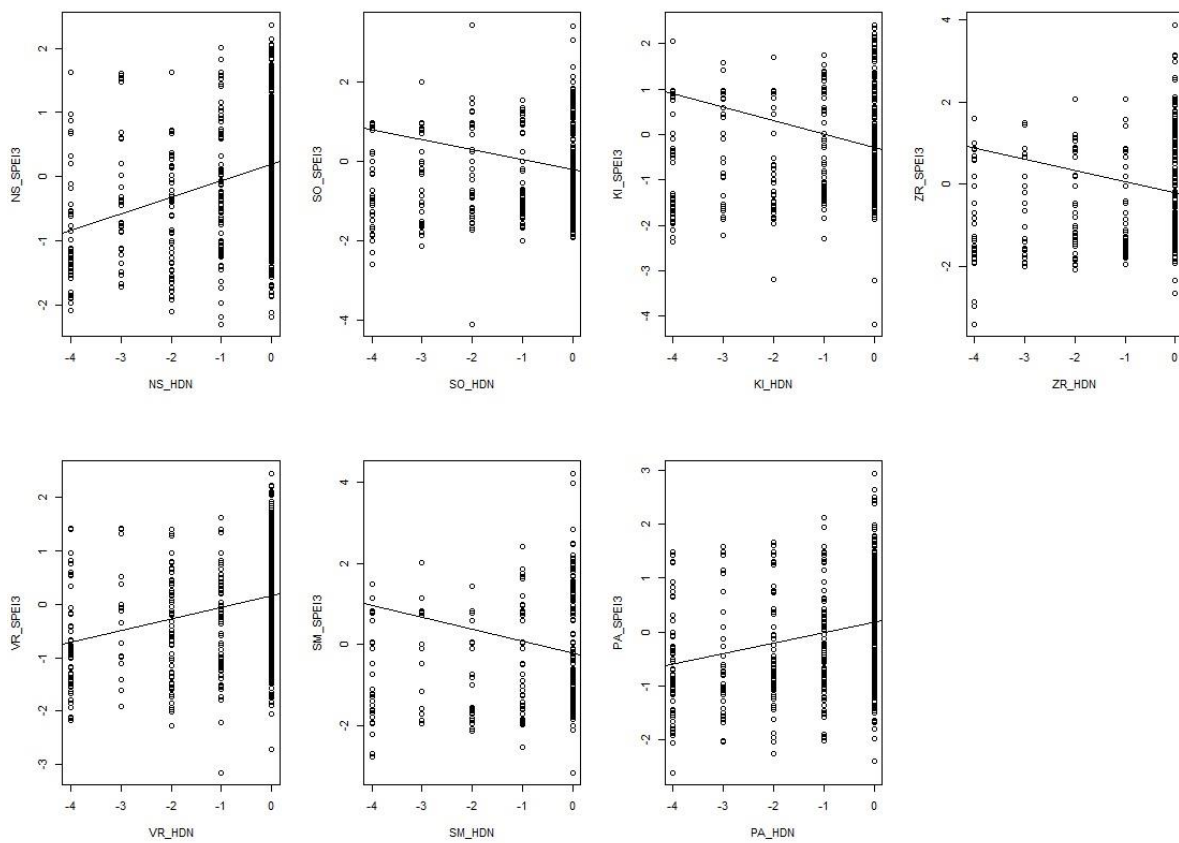
Tabela 5.5 Broj i odnos poklopljenih događaja

SPEI3_HA							
	NS	SO	PL	KI	VŠ	ZR	SM
HDN po pojavi suše	111	110	127	142	109	122	107
	48%	47%	46%	48%	48%	45%	46%
HDN po intenzitetu suše	42	30	36	42	30	33	35
	18%	13%	13%	14%	13%	12%	15%
Slaganje perioda bez suše	264	267	247	231	271	243	263
	52%	52%	53%	52%	52%	52%	52%
HDK po pojavi suše	NS	SO	PL	KI	VŠ	ZR	SM
	122	121	113	138	115	123	114
HDK po intenzitetu suše	41	37	38	44	39	40	35
	16%	15%	15%	16%	16%	15%	14%
Slaganje perioda bez suše	254	257	255	251	252	253	257
	52%	53%	52%	53%	51%	53%	52%

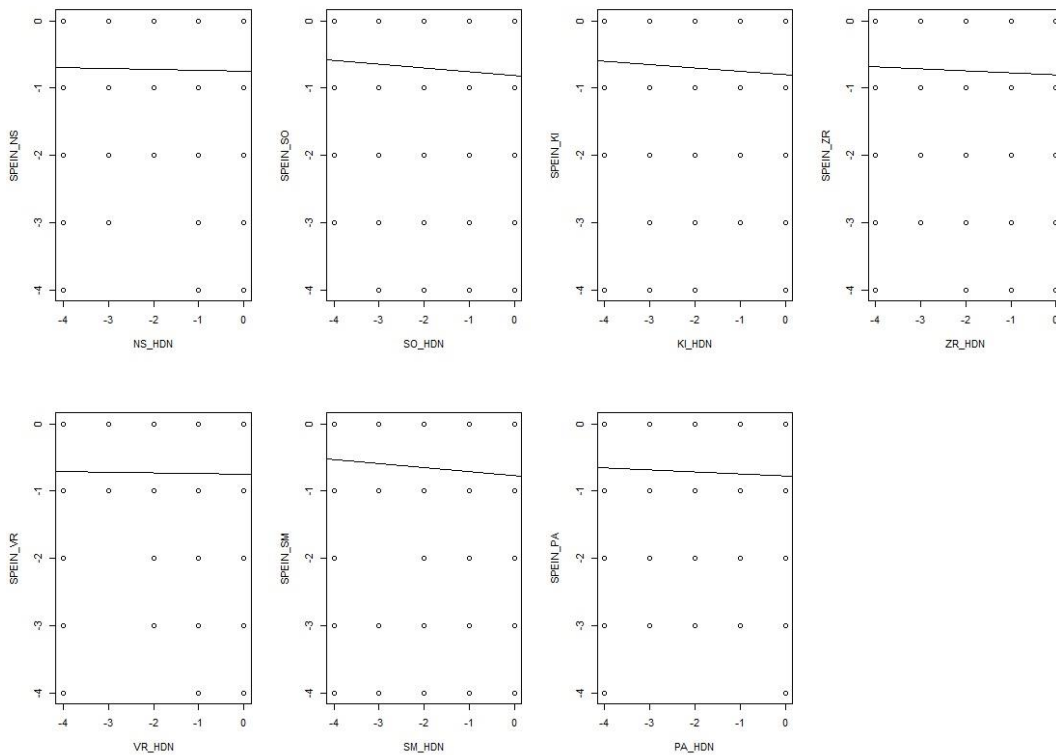
Dobijeni rezultati ukazuju da je preciznosti SPEI3_HA je 47%, dok njegova osetljivost iznosi u proseku 14,5%, i ne varira previše, tek u opsegu od 12% do 18% u zavisnosti od stanice i metode određivanja istorijske suše.



Slika 5.24 Prikaz usvojenih vremenskih serija SPEI3_PEM za sedam meteoroloških stanica, u proračunu korišćena log-Logistic distribucija i Hargreavesova metoda procene evapotranspiracije.



Slika 5.25 Korelacioni odnos SPEI3_HA i HDN



Slika 5.26 Poređenje vremenskih serija HDN i SPEI3_PEM, nakon dodavanja težinskog faktora vrednosti SPEI3.

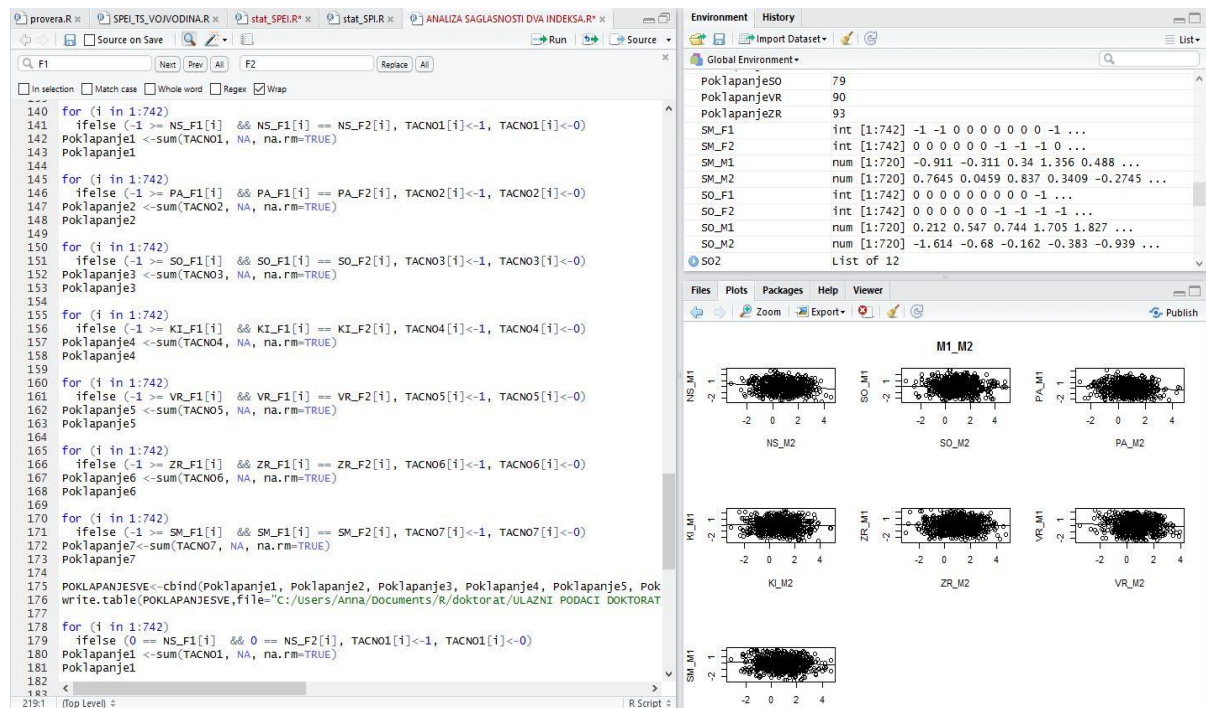
Tabela 5.6 Broj i odnos poklopljenih događaja

SPEI3_PEM							
	NS	SO	PL	KI	VŠ	ZR	SM
HDN po pojavi suše	108	105	130	119	108	118	79
	46%	45%	47%	40%	48%	44%	34%
HDN po intenzitetu suše	34	32	43	36	31	35	24
	15%	14%	16%	12%	14%	13%	10%
Slaganje perioda bez suše	256	244	220	242	256	245	293
	50%	48%	47%	54%	50%	52%	57%
HDK po pojavi suše	NS	SO	PL	KI	VŠ	ZR	SM
	114	113	129	112	121	116	92
HDK po intenzitetu suše	45%	45%	51%	42%	48%	44%	38%
	37	39	36	33	36	47	32
Slaganje perioda bez suše	15%	15%	14%	12%	14%	18%	13%
	241	231	241	259	244	252	293
	49%	47%	49%	55%	50%	52%	59%

Dobijeni rezultati ukazuju da je preciznosti SPEI3_PEM je 44,5%, dok njegova osetljivost iznosi u proseku 14%, i varira u opsegu od 10% do 18% u zavisnosti od stanice i metode određivanja istorijske suše. Pri proračunu SPEI vremenskih serija samo vremenski niz proračuna evapotranspiracije za stanice Novi Sad, Sombor i Palić nisu zahtevali proces homogenizacije. Na osnovu saglasnosti sa pojavom istorijskih suša za dalju komparativnu analizu dva indeksa odabrali smo SPEI3_HA.

5.2.3 MEPIS logička sekvenca 3 – Komparativna analiza SPEI3 i SPI3

Programski deo komparativne analize dva indeksa suše urađen je kao R program koji se može izvršiti nakon generisanih ulaznih fajlova izvršavanjem prethodnih R programa.



Slika 5.27 Deo koda Sekvence 3 MEPIS algoritma

Ovako planirani programi zadovoljavaju osnovnu postavku MEPISA o sekvencijalnom izvršavanju pojedinih koraka. Prva etapa Sekvence 3 podrazumeva učitavanje generisanih fajlova i dodeljivanje vrednosti programskim promenljivima. Programsku strukturu ne moramo menjati jer samom promenom ulaznih fajlova generišemo sve što nam treba za analizu te sam kôd nije potrebno dodatno podešavati pri promeni indeksa koje analiziramo. Savetodavno je da se izmeni ime izlazne datoteke, jer u suprotnom će prethodne analize biti prebrisane i preko njih će biti upisani novi podaci. Program generiše tri izlazne datoteke i jedan grafik. Ono što je izrazito interesantno kod analize ponašanja ova dva indeksa je da samo uvođenje evapotranspiracije u proračun totalno menja ponašanje indeksa.

Tabela 5.7 Broj poklopljenih događaja SPI3 i SPEI3

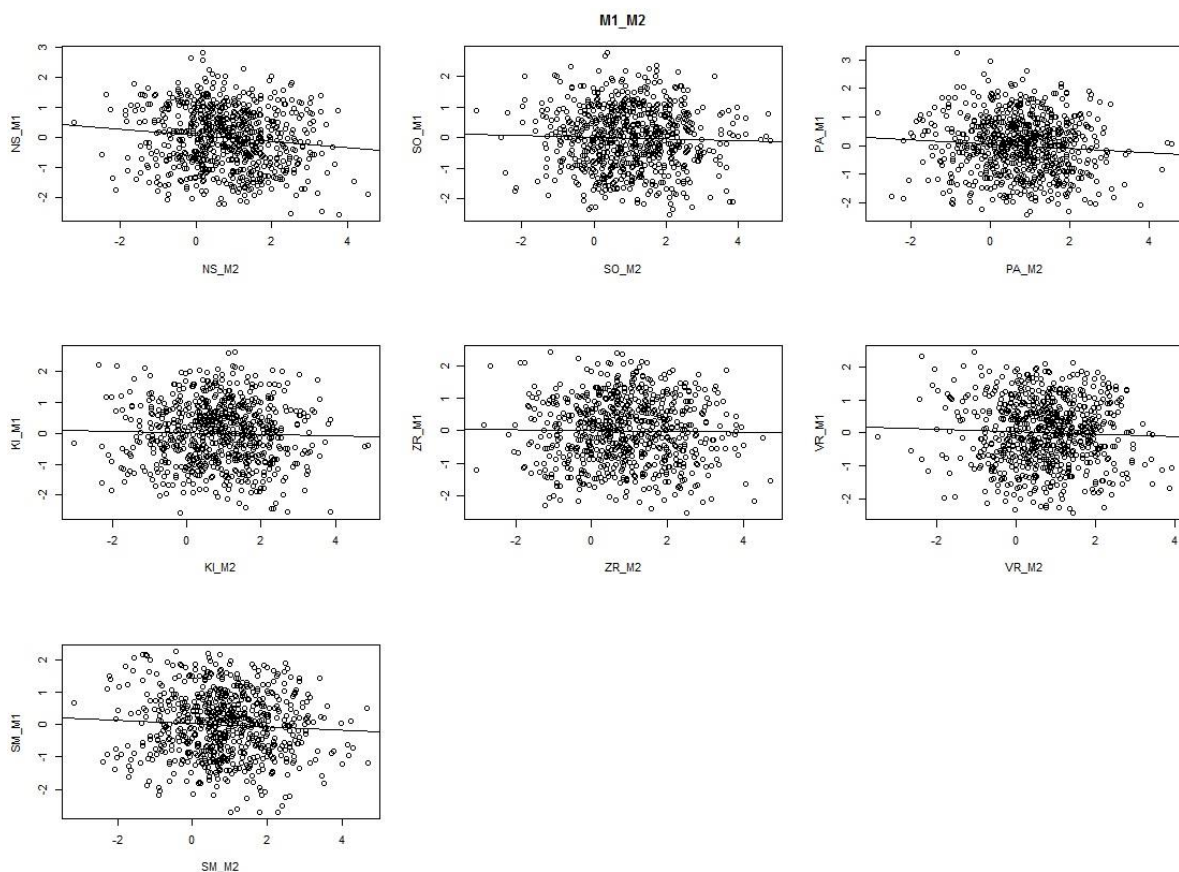
SPEI3	SPI3							
	po pojavi suše	NS	SO	PA	KI	VR	ZR	SM
		86	79	85	91	90	93	81
	po intenzitetu suše	38	40	40	45	51	40	48
	Slaganje perioda bez suše	295	308	312	302	302	297	299
BROJ SUŠNIH DOGAĐAJA								
	SPI3	176	159	168	171	180	182	170
	SPEI_HA	357	354	347	360	351	355	354
BROJ BEZ SUŠA DOGAĐAJA								
	SPI3	566	583	574	571	560	562	572
	SPEI_HA	385	388	395	382	391	387	388

Tabela 5.8 Broj detektovanih istorijskih sušnih događaja prema dve metode

BROJ SUŠNIH DOGAĐAJA							
	NS	SO	PA	KI	VR	ZR	SM
HDN	233	232	276	294	225	271	232
HDK	254	253	254	269	250	261	244

Iako SPEI prati istu metodologiju kao SPI na dijagramima (slika 5.28) možemo uočiti da ne postoji korelacija u pojavi događaja i iz tabele 5.6 možemo uočiti kvantitativnu razliku u broju vrednosti parametra koje su ispod 0 i ukazuju na neku od sušnih epizoda. Po broju iskazanih sušnih događaja možemo zaključiti da je SPEI osjetljiviji indeks nego SPI, što je bilo za očekivati s obzirom na uvođenje parametra evapotranspiracije u proračun. Možemo uočiti da broj sušnih perioda SPEI premašuje ukupan broj zapaženih istorijskih suša, no istovremeno možemo zapaziti da SPI podbacuje u broju opaženih sušnih perioda (tabela 5.7). SPEI3 u odnosu na broj sušnih događaja koje SPI3 uočava, podudara se sa 48% slučajeva suše sa SPI3, no svega 22% slučajeva od ukupnog broja pojave suše po SPI3 se poklapaju po intenzitetu. U odnosu na SPEI3 u pitanju su manji procenti poklapanja jer u startu SPEI3 ukazuje na veći broj vrednosti koje ukazuju na sušu.

Po dobijenim analizama možemo zaključiti da je SPEI3 pouzdaniji od SPI3 za prognozu i ranu najavu suše po preliminarnim pokazateljima.



Slika 5.28 Odnos SPI i SPEI indeksa, M1 parametar predstavlja SPEI3 vrednost, a M2 SPI3 vrednost za datu stanicu

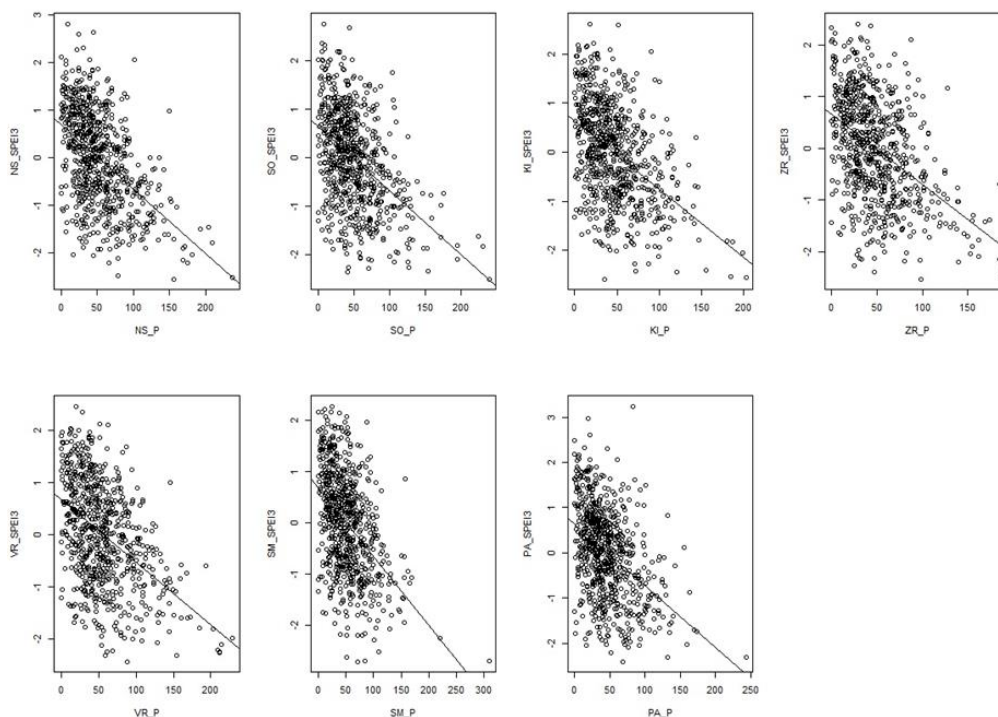
5.2.4 MEPIS logička sekvenca 4 – slaganje SPEI3 sa odabranim meteorološkim parametrima od značaja

Da bismo potvrdili veću pouzdanost SPEI indeksa bilo je neophodno izvršiti četvrtu logičku sekvencu i uporediti je sa meteorološkim parametrima od značaja za definisanje stanja suše. Asocijacija između SPI3 i meteoroloških parametara je vrlo slaba, drugim rečima ponašanja su u potpunosti nevezana i ne sinhronizovana. Uvođenjem razlike padavina i evapotranspiracije u proračun uviđamo da se poremetila i sinhronizacija odnosa sa padavinama u odnosu na SPI3, te SPEI3 ne daje očekivan asocijativni odnos sa meteorološkim parametrima od značaja (tabela 5.9).

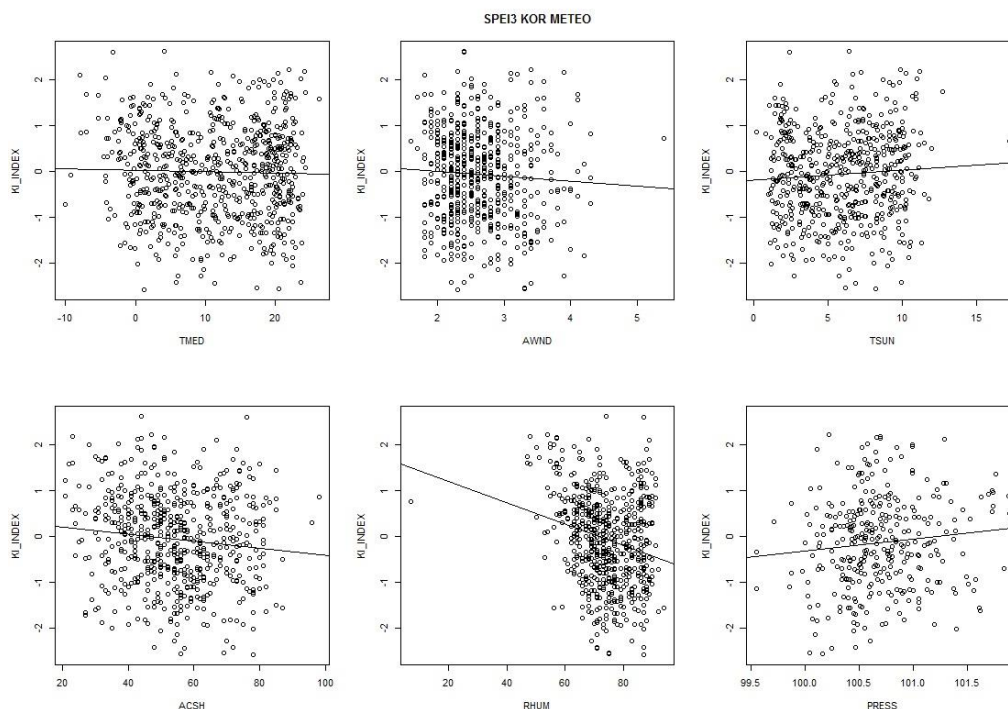
Tabela 5.9 Smer korelacije SPEI3 i meteoroloških parametara od značaja redom.

SPEI3	NS	SO	PL	KI	VŠ	ZR	SM
P	-	-	-	-	-	-	-
ET	-	+	-	+	+	+	+
TMED	-	-	-	-	-	-	-
AWND	+	-	-	-	-	+	+
TSUN	+	+	+	+	+	+	+
ACSH	-	-	-	-	-	-	-
RHUM	-	-	-	-	-	-	-
PRESS	-	+	+	+	+	+	+

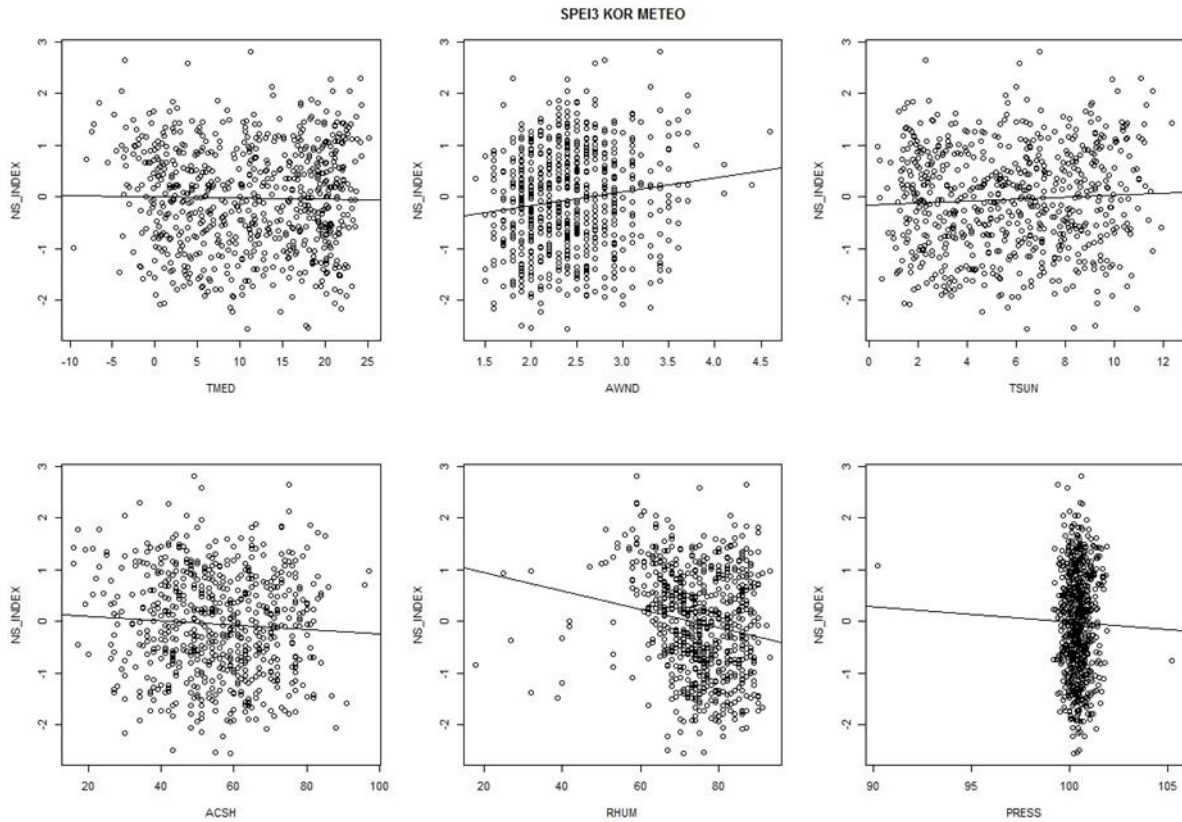
U slučaju padavina vidimo da SPEI3 opada kad količina padavina raste, što je u suprotnosti sa fizikom suše, gde sušu očekujemo sa smanjenom količinom padavina (slika 5.29). Isti se problem javlja i kod ostalih meteoroloških parametara. Iako SPEI3 pokazuje bolje poklapanje sa istorijskim sušama nego SPI3, mere asocijacije su mu zanemarljive.



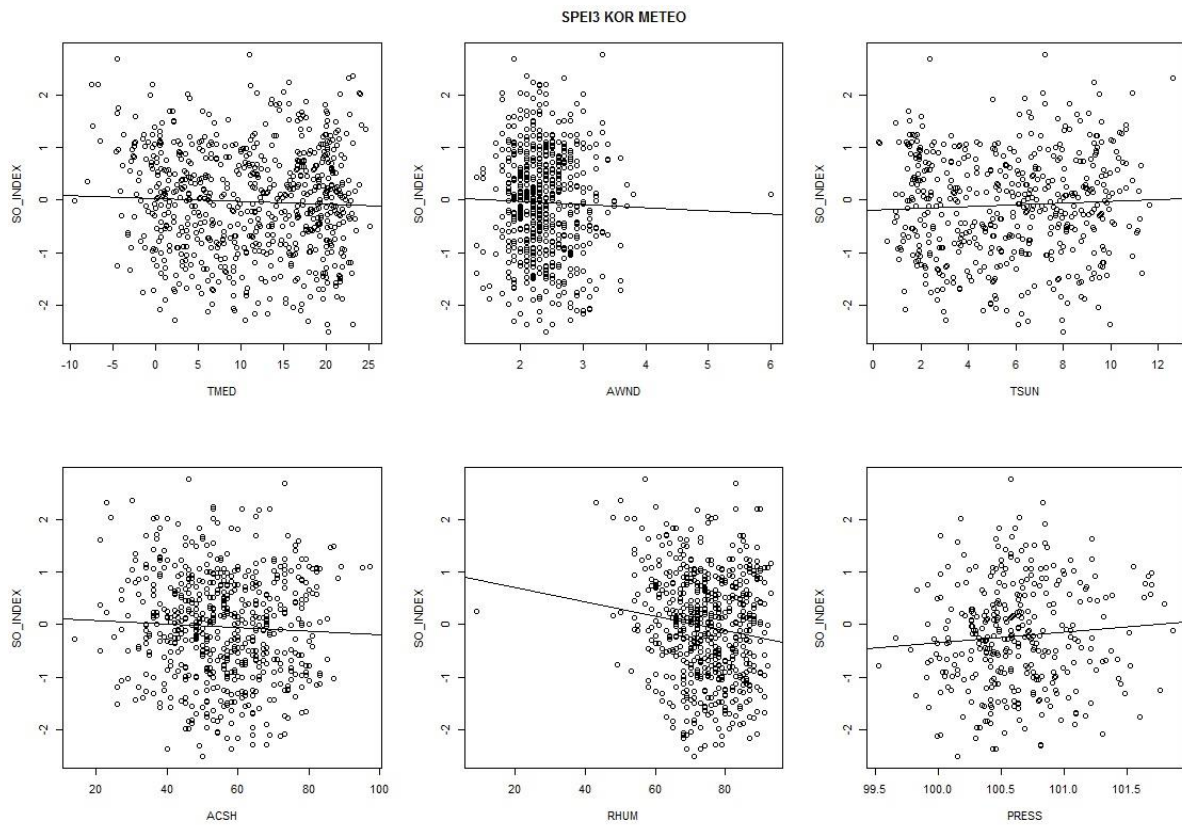
Slika 5.29 Korelacioni odnosi među SPEI3 i padavina i regresioni linearni model.



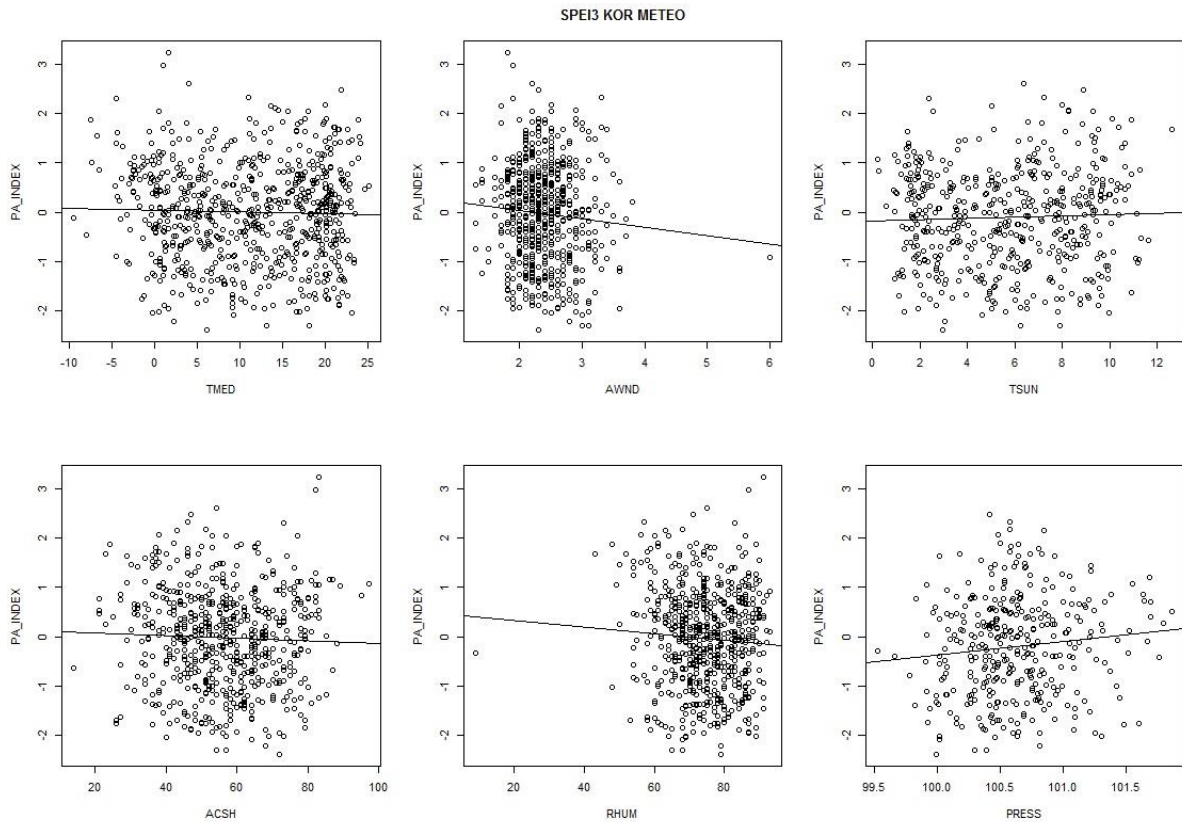
Slika 5.30 Asocijativni odnos SPI3 i meteoroloških parametara za stanicu Kikinda.



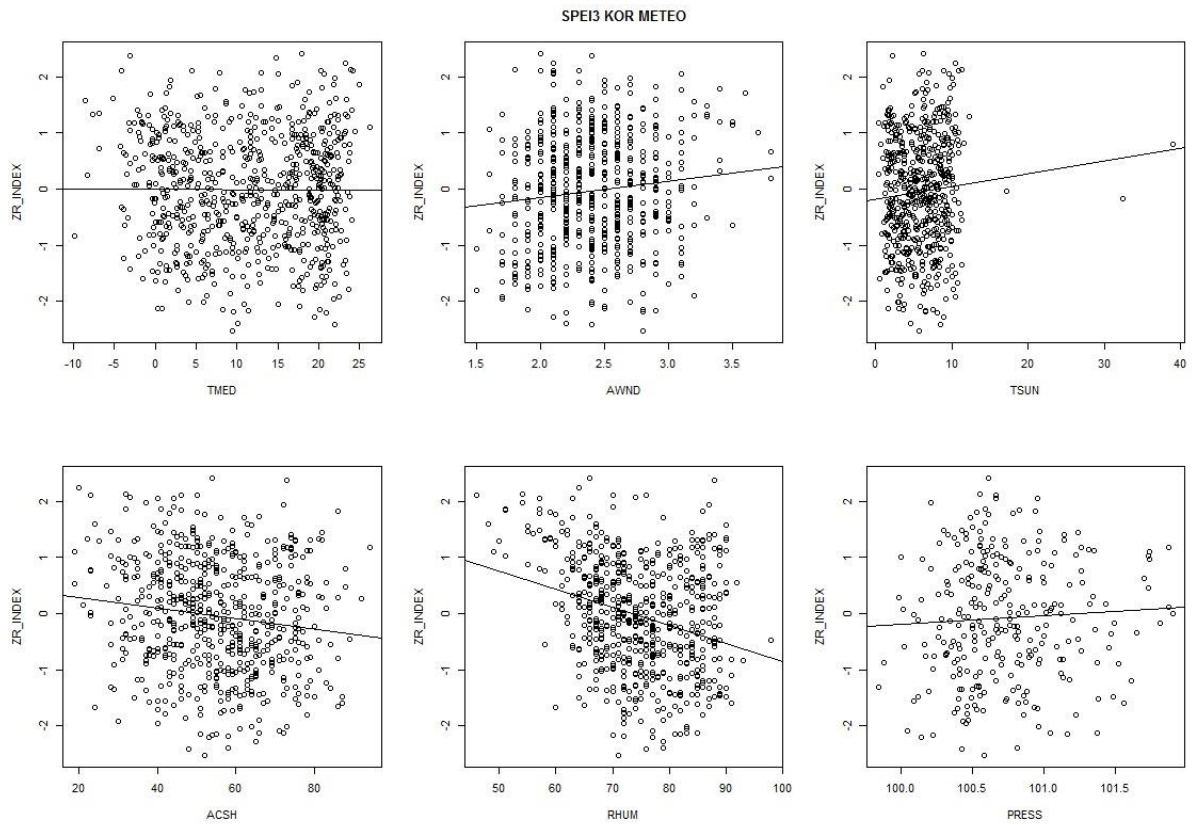
Slika 5.31 Asocijativni odnos SPI3 i meteoroloških parametara za stanicu Novi Sad



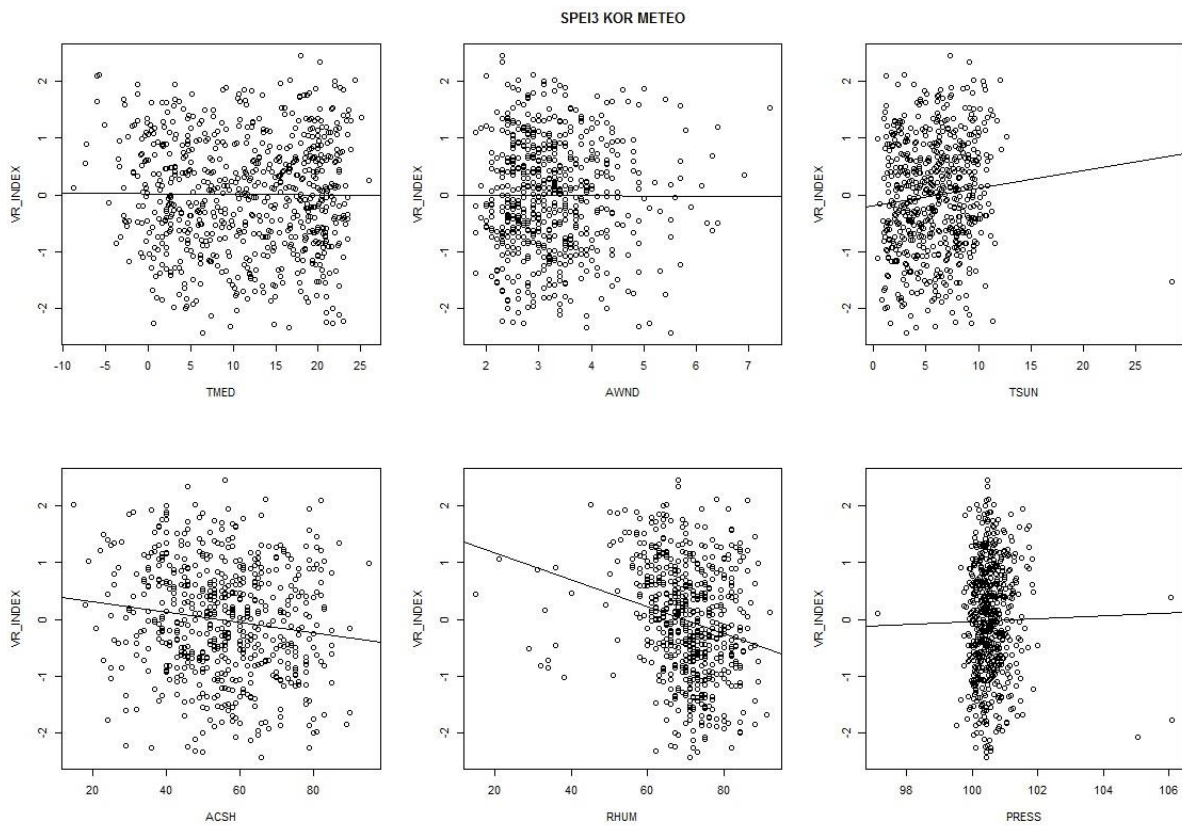
Slika 5.32 Asocijativni odnos SPI3 i meteoroloških parametara za stanicu Sombor



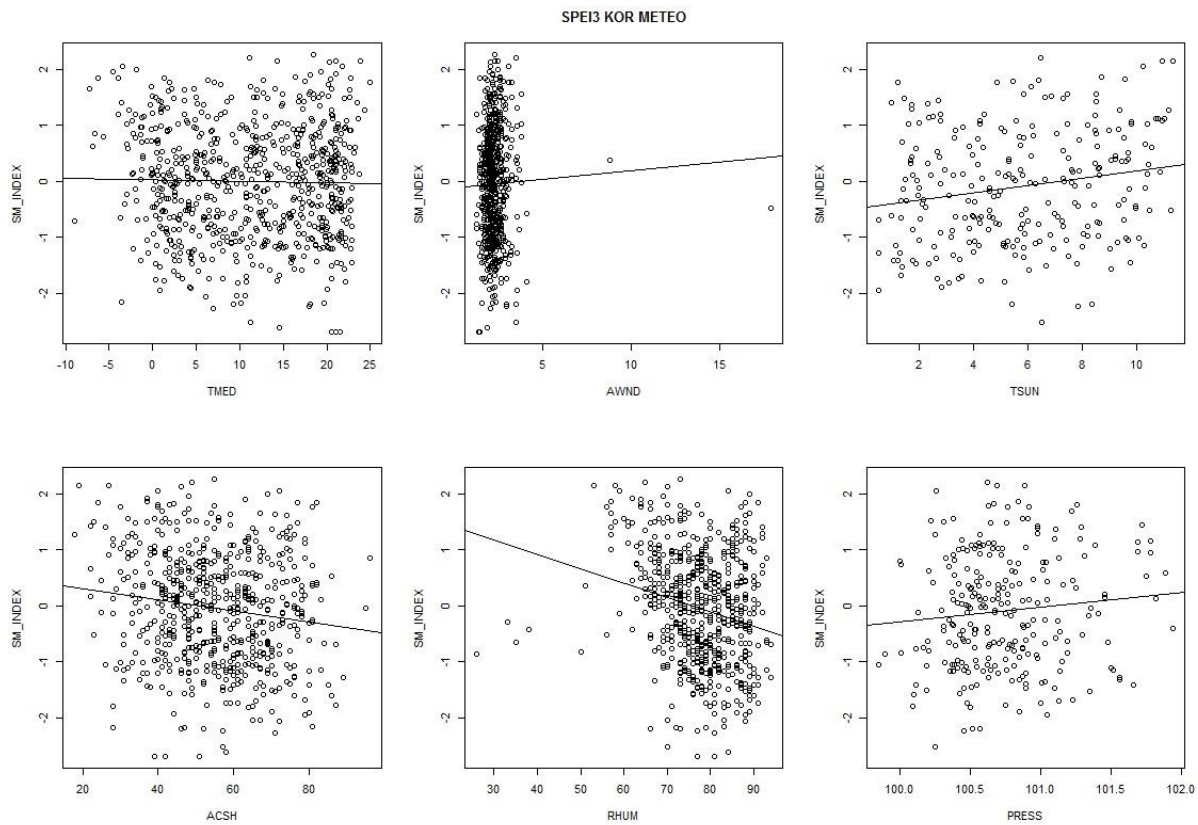
Slika 5.33 Asocijativni odnos SPI3 i meteoroloških parametara za stanicu Palič



Slika 5.34 Asocijativni odnos SPI3 i meteoroloških parametara za stanicu Zrenjanin

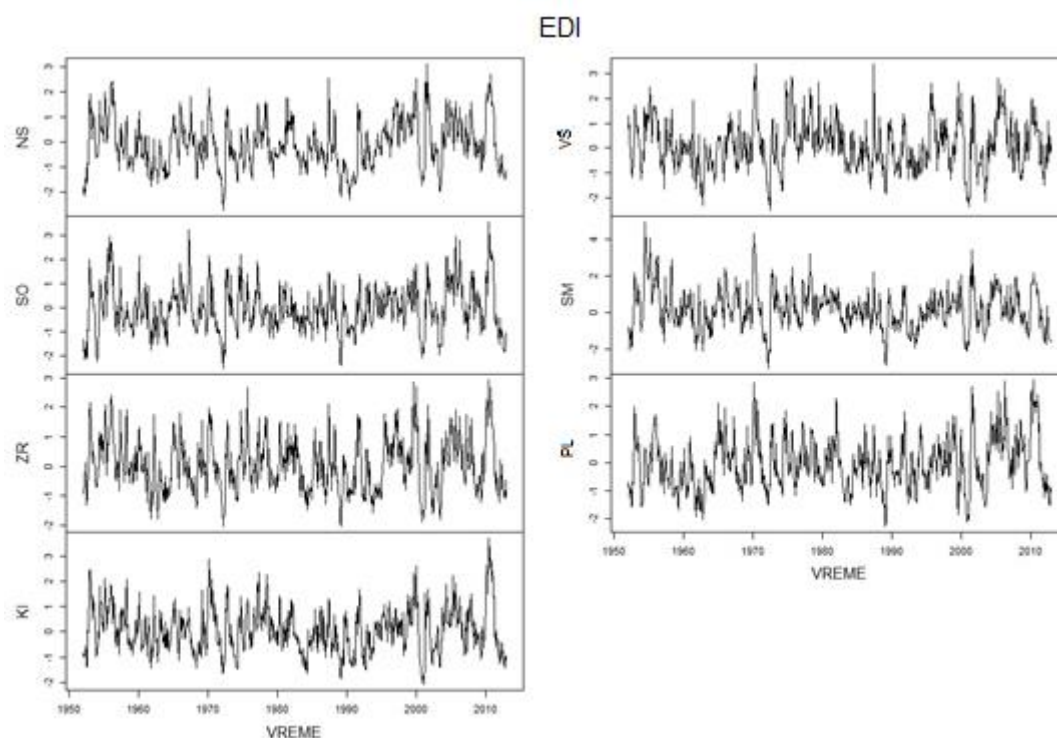


Slika 5.35 Asocijativni odnos SPEI3 i meteoroloških parametara za stanicu Vršac



Slika 5.36 Asocijativni odnos SPEI3 i meteoroloških parametara za stanicu Sremska Mitrovica

5.3 Analiza EDI

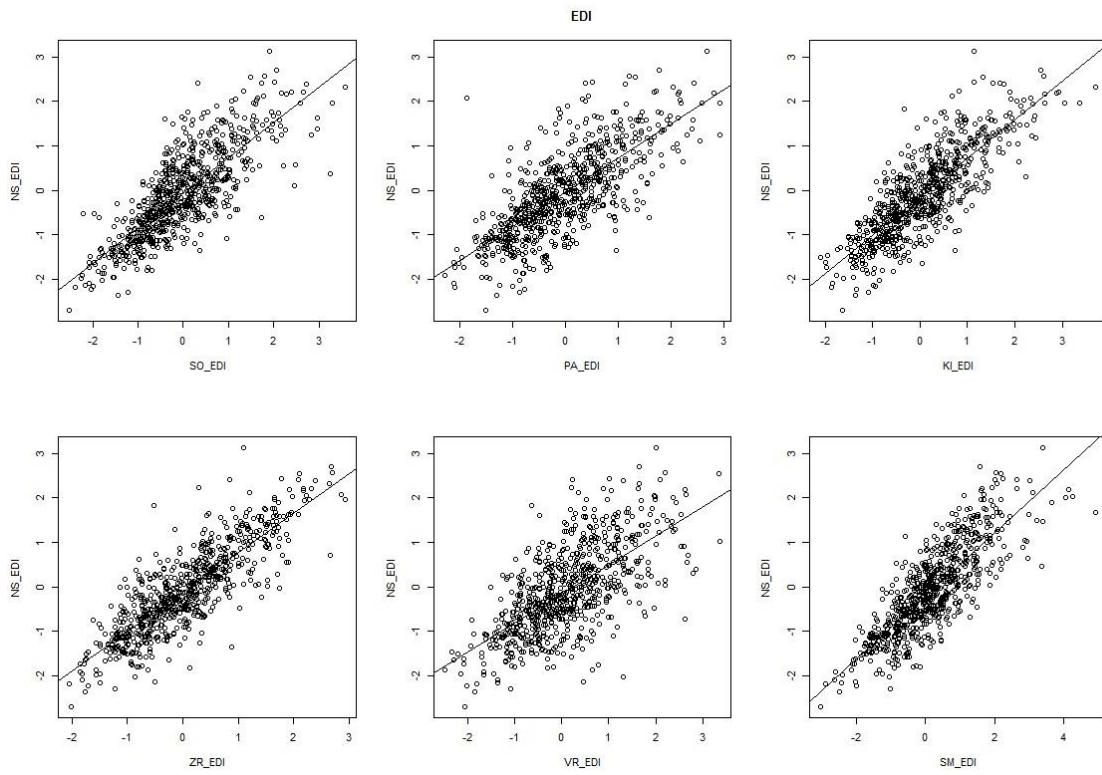


Slika 5.37 Vremenske serije EDI-ja.

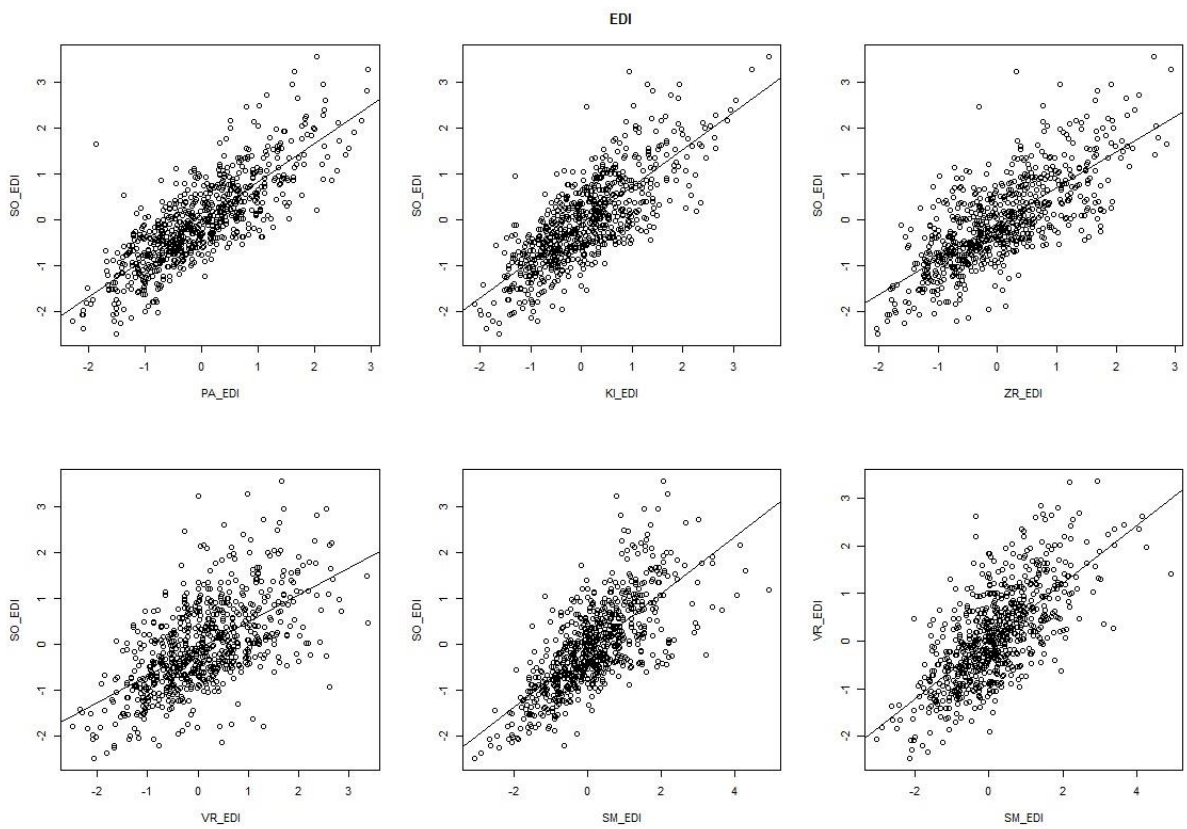
EDI se zasniva na efektivnim padavinama. Efektivne padavine smo dobili preko ukupnih padavina kada se od njih odbije gubitak tokom vremena, koji može da bude posledica infiltracije u zemljište, zadržavanja na vegetaciji (intercepcije) i stvarnog isparavanja. Proračunom je generisano sedam vremenskih serija za period od 1952 do 2012 godine za svih navedenih sedam stanica u Vojvodini (slika 5.37). Proračun je rađen u programu FORTRAN, a obrada i analiza dobijenih vrednosti u R-u.

Prostorna uslovljenost sušnih događaja je zadovoljavajuća. Na osnovu prostornih slaganja u slučaju EDI indeksa (slika 5.38 A i B) pojavu suše bi mogli očekivati na prostoru između osmatračkih stanica sa prosečnom pouzdanošću od oko 74%. Ova vrednost je dosta niža od praga koji je postavio SPI3, 85%, no bolja od vrednosti SPEI3 koja iznosi 70 %. Već smo naznačili da je prostorna korelacija značajna za ranu najavu i prognozu, no nije eliminaciona karakteristika za indeks, te u ovom momentu još nismo mogli doneti zaključak o efikasnosti i pouzdanosti EDI indeksa u odnosu na SPI i SPEI.

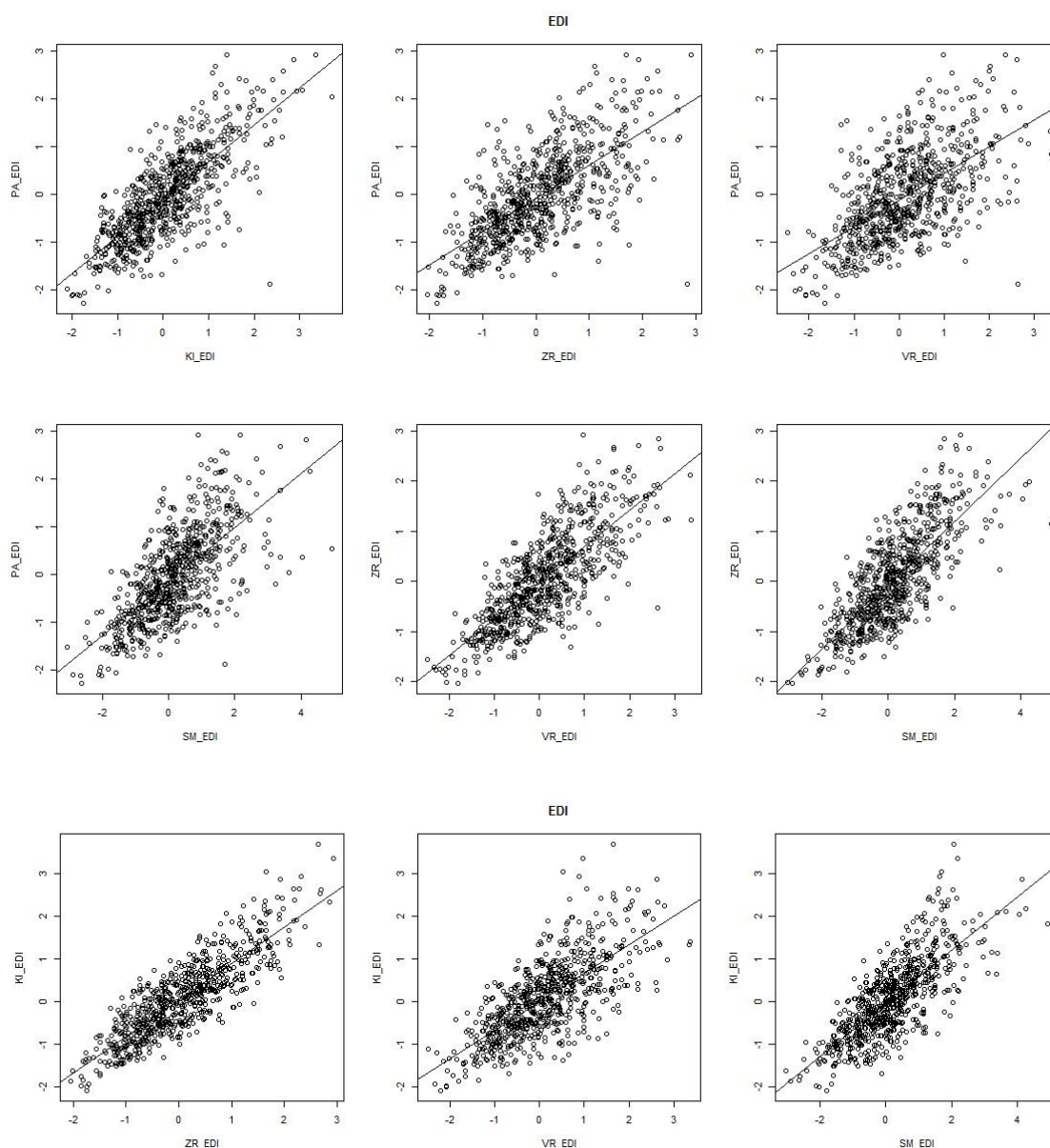
A)



B)



C)



Slika 5.38 A, B), C) Korelacioni odnosi među stanicama i regresioni linearni model

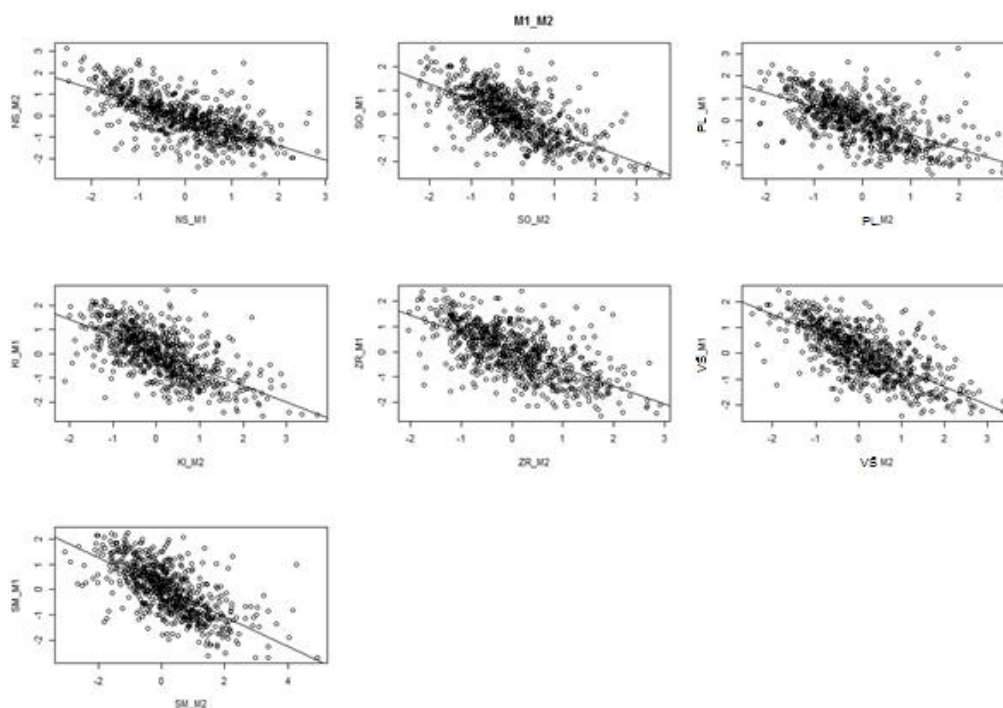
Uporedili smo slaganje vremenske pojave suša i slaganje pojave suša po intenzitetu u odnosu na ukupan broj istorijskih sušnih događaja. Možemo uočiti značajno poboljšanje u odnosu na SPI i SPEI. Iako EDI premašuje ukupan broj registrovanih istorijskih sušnih događaja, dobijeni rezultati ukazuju da je preciznosti EDI po HDN metodi 53%, a po HDK metodi 78%, dok je njegova osetljivost značajno skočila u odnosu na SPI i SPEI na prosečnih 26,5%, pri čemu je interval varijacije od 20 do 31% (tabela 5.10). Logička sekvenca 3 MEPISA podrazumeva komparativnu analizu razmatranog indeksa sa prethodno ustanovljenim repnim indeksom. Analize SPI3 i SPEI3 nisu eksplicitno izdvojile jedan od dva indikatora kao bolji, no SPEI3 je imao povoljnije rezultate po slaganju sa istorijskim sušama i imao je povoljniji broj registrovanih sušnih događaja, iz tog razloga uporedili smo ga u ovom koraku sa EDI indeksom (tabela 5.11).

Primenjena formula Byun i Wilhite (Byun et al., 1999) jednačina 2.44, pokazala se kao mnogo tačnija pri određivanju efektivnih padavina, nego samo jednostavno oduzimanje

vrednosti isparavanja od padavina. EDI indeks je pokazao zavidno poboljšanje u odnosu na SPEI no neočekivan rezultat je bio negativan asocijativni odnos dva indeksa (slika 5.39). Ovo bi se moglo jedino objasniti činjenicom da je SPEI pod mnogo većim uticajem uvođenja evapotranspiracije, te da prosto oduzimanje vrednosti evapotranspiracije od padavina nije efektivan metod za prezentovanje uslova suše. Ovo je potvrđeno i u četvrtom koraku MEPIS-a, u kom je EDI pokazao izuzetan asocijativni odnos sa meteorološkim parametrima od značaja (tabele 5.11 i 5.12).

Tabela 5.10 Broj poklopljenih događaja sa istorijskim sušama

		EDI						
		NS	SO	PL	KI	VŠ	ZR	SM
HDN po pojavi suše		142	134	154	153	100	144	104
		61%	58%	56%	52%	44%	53%	45%
HDN po intenzitetu suše		72	69	56	67	61	75	61
		31%	30%	20%	23%	27%	28%	26%
Slaganje perioda bez suše		270	273	283	302	335	302	348
		53%	54%	61%	67%	65%	64%	68%
HDK po pojavi suše		NS	SO	PL	KI	VŠ	ZR	SM
		200	199	201	208	195	204	181
		79%	79%	79%	77%	78%	78%	74%
HDK po intenzitetu suše		78	68	67	73	64	72	61
		31%	27%	26%	27%	26%	28%	25%
Slaganje perioda bez suše		270	280	279	313	328	304	345
		55%	57%	57%	66%	67%	63%	69%



Slika 5.39 Odnos EDI i SPEI indeksa, M1 parametar predstavlja SPEI3 vrednost, a M2 EDI vrednost za posmatrane stanice

Tabela 5.11 Broj poklopljenih događaja SPI3 i SPEI3

SPEI3	EDI							
	po pojavi suše	NS	SO	PL	KI	VŠ	ZR	SM
		po intenzitetu suše	103	105	99	85	72	91
	80		69	86	69	54	75	52
Slaganje perioda bez suše	60	81	80	95	94	96	113	
BROJ SUŠNIH DOGAĐAJA								
EDI		418	403	403	362	350	374	326
SPEI_HA		357	354	347	360	351	355	354

Tabela 5.12 Smer korelacije EDI i meteoroloških parametara od značaja

EDI	NS	SO	PL	KI	VŠ	ZR	SM
P	+	+	+	+	+	+	+
ET	-	-	-	-	-	-	-
TMED	-	-	-	-	-	-	-
AWND	-	+	+	+	-	-	-
TSUN	-	-	-	-	-	-	-
ACSH	+	+	+	+	+	+	+
RHUM	+	+	+	+	+	+	+
PRESS	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 5.13 Mera korelacije EDI i meteoroloških parametara od značaja

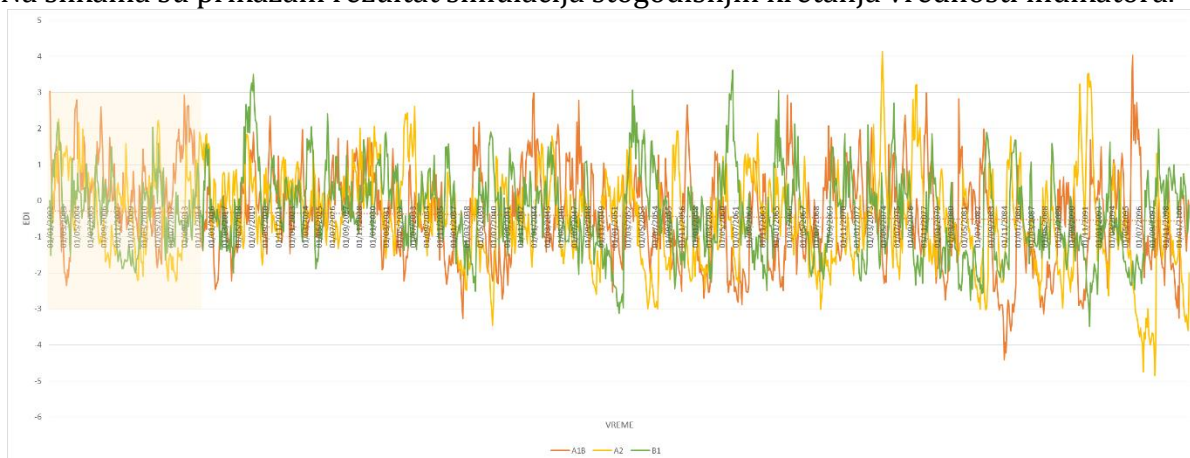
EDI	NS	SO	PL	KI	VŠ	ZR	SM
P	0,5624	0,5704	0,5771	0,5846	0,5801	0,5879	0,5797
ET	-0,0277	-0,0367	-0,0296	-0,0592	-0,0612	-0,0838	-0,0719
TMED	-0,0586	-0,0271	-0,0281	-0,0618	-0,0659	-0,0625	-0,0786
AWND	-0,0639	0,0016	0,0993	0,0090	-0,0695	-0,0708	-0,0593
TSUN	-0,1107	-0,1199	-0,1181	-0,1288	-0,1503	-0,1379	-0,2404
ACSH	0,1506	0,1779	0,2164	0,2355	0,2694	0,2651	0,2867
RHUM	0,2173	0,2348	0,2476	0,3249	0,3017	0,3769	0,3179
PRESS	-0,0454	-0,1015	-0,1485	-0,1726	-0,0629	-0,0694	-0,1018

Analizom EDI-ja dobili smo značajan referentni indeks. Iako prebacuje broj uočenih sušnih događaja, to ga ne čini ne adekvatnim. Njegovo ponašanje je u skladu sa očekivanim za indeks suše. Najjači adut EDI-ja pored poklapanja sa značajnim brojem istorijskih sušnih događaja, jeste njegova sprega i asocijativni odnos sa parametrima od značaja za definisanje stanje suše. Iako mera linearne korelacije nije jaka, možemo izdvojiti da postoji značajna tendencija ka funkcionalnom odnosu sa parametrima poput vlažnosti vazduha i oblačnosti.

Osnovna razlika u pristupu proračuna tradicionalnih indeksa je što su SPEI i SPI bazirani na statističkom principu, i u suštini predstavljaju statistički produkt a ne fizički. EDI nasuprot njima u svojoj osnovi prezentuje vodni bilans i predstavlja statističko-fizički proizvod. U odnosu SPI i SPEI vidimo da uvođenje bilansa u analizu donekle poboljšava sam proizvod, no statistički pristupi uvode u proračun veliku meru nepouzdanosti i nesigurnosti. Na osnovu uočenog napravili smo korak napred i definisali indeks striktno baziran na fizici događaja sa namerom da uočimo da li izmenom metode a zadržavanjem i manipulisanjem vodnim bilansom možemo poboljšati prepoznavanje sušnih epizoda.

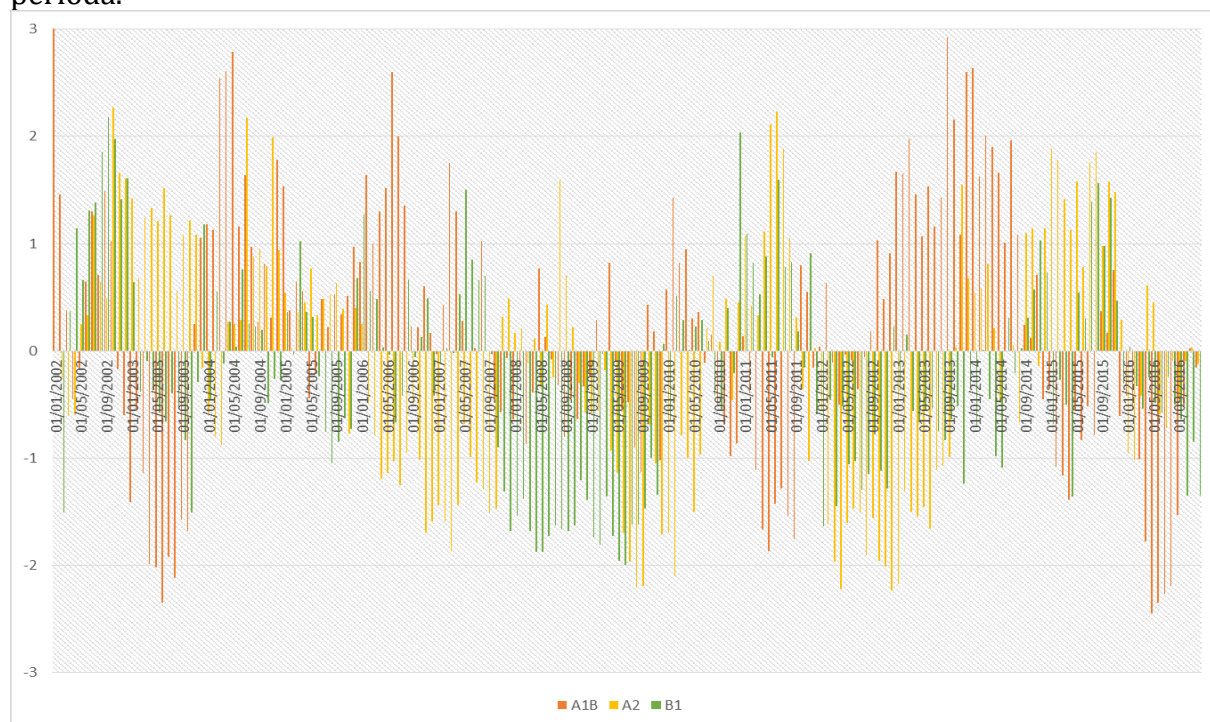
5.4 Rezultati simulacija EDI, SPI3, SPI6 i SPI12 pomoću generalnog atmosferskog cirkulacionog modela ECHAM5

Na slikama su prikazani rezultat simulacija stogodišnjih kretanja vrednosti indikatora.



Slika 5.40 Pregled rezultata simulacije tri IPCC scenarija na osnovu podataka o padavinama generisanim iz GCM ECHAM5– EDI indeks.

Osenčena oblast slike 5.40 izdvaja period od 2002 do 2016 godine. Na slici 5.41 možemo jasnije uočiti predviđena kretanja vrednosti EDIja u navedenom period. Iskustveno smo upoznati sa činjenicama da su 2003 i 2011 bile veoma sušne godine, kao da su 2012 i 2013 imale sušne mesece. Scenario A1B najviše se poklapa sa realnim kretanjima u slučaju simulacije EDIja za Vojvodinu. Na slici 5.40 uočljivo je povećanje amplitude kolebanja vrednosti indeksa EDI. Ujedno možemo uočiti predviđanje povećane učestalosti i intenziteta ekstremnih događaja, ekstremno vlažnih i suvih perioda.

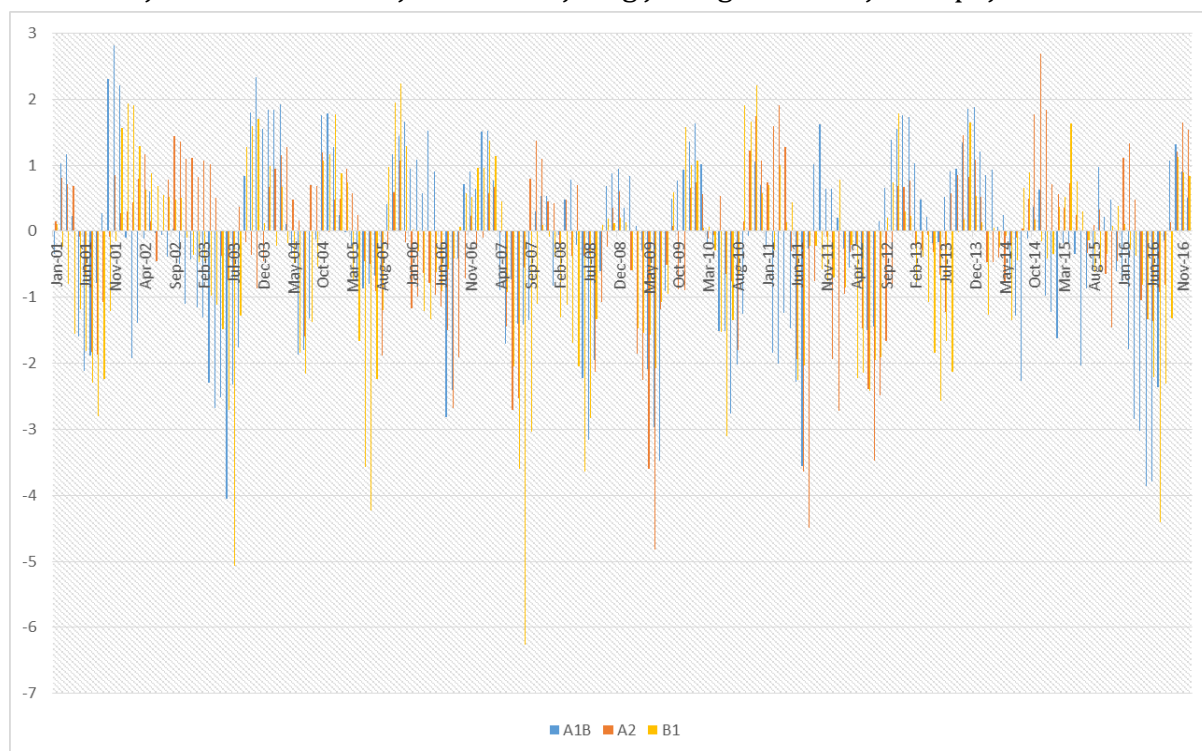


Slika 5.41 Rezultati simulacije kretanja EDIja na osnovu izlaza iz GCM ECHAM5 za period 2002-2016.



Slika 5.42 Pregled rezultata simulacije tri IPCC scenarija na osnovu podataka o padavinama generisanim iz GCM ECHAM5- SPI3 indeks.

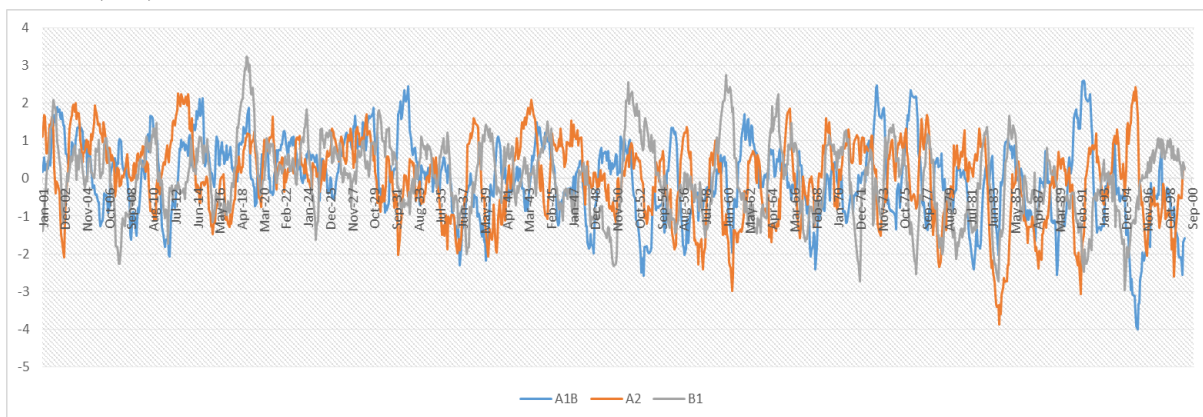
Simulacijom smo dobili da po sva tri scenarija SPI3 indeks uvećava svoju amplitudu i učestalost pojave sušnih perioda (slika 5.42). Ovakvi rezultati ukazuju na neophodnost istraživanja u smeru rane najave suše i njenog jasnog definisanja kao pojave.



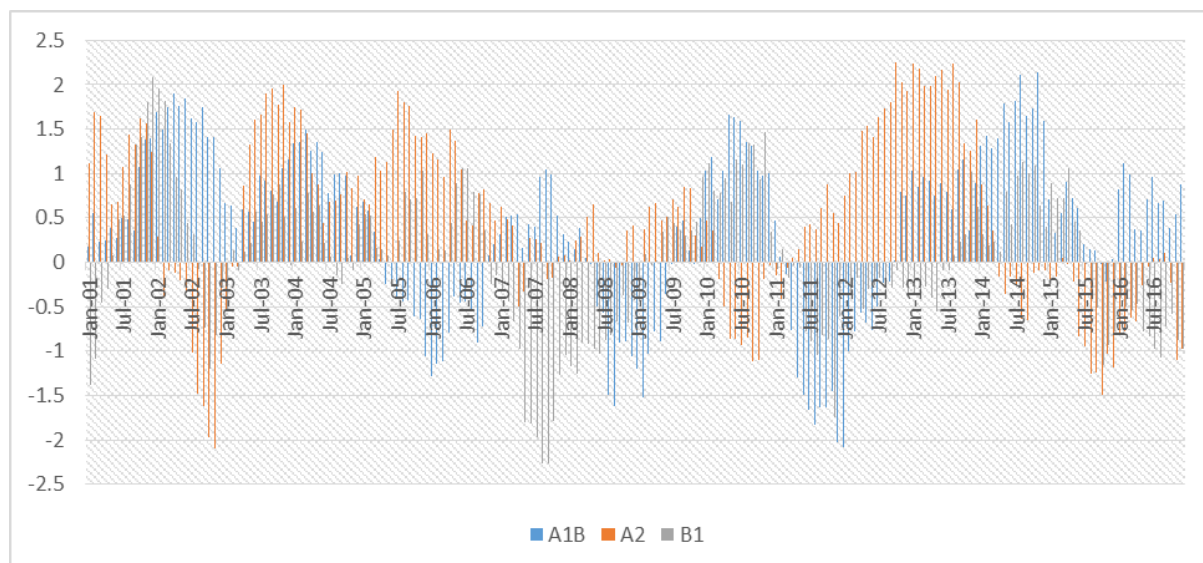
Slika 5.43 Rezultati simulacije kretanja SPI3 na osnovu izlaza iz GCM ECHAM5 za period 2001-2016.

Na osnovu iskustvenih znanja možemo zaključiti da je i u slučaju SPI3 scenario A1B najbliži istorijski zabeleženim sušnim događajima (slika 5.43). SPI3 ukazuje na postojanje deficita kiše u periodu od tri meseca i omogućava praćenje uticaja deficita na dinamičke procese koji se dešavaju u periodu od tri osmotrena meseca. Ova karakteristika je od značaja za poljoprivrednu proizvodnju i navodnjavanje. SPI3 je pogodan za ranu najavu poremećaja u režimu padavina koji mogu indukovati pojavu i razvoj suše. Bez obzira što je vrednost varijable za proračun SPI3 suma od 3 meseca

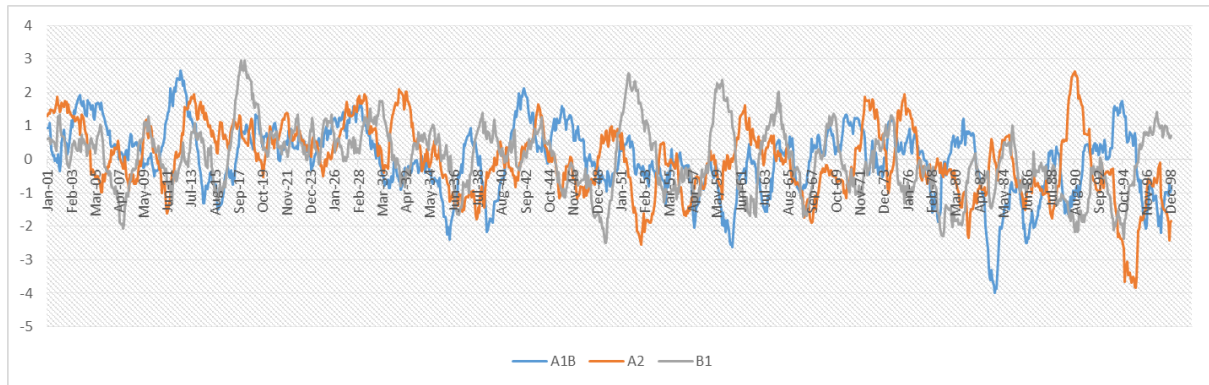
sumarnih padavina, a ne dužeg vremenskog perioda, vrednosti SPI3 mogu biti od koristi i za upozorenje na uticaje širih vremenskih razmera, kao što su procesi u površinskim i podzemnim vodnim resursima. Ako nam je od marta do avgusta SPI3 negativan to znači da nam suša traje od januara do avgusta, odnosno 8 meseci. Dužina trajanja negativnog SPI3 indikuje uticaje i na površinske i podzemne resurse, odnosno na procese čija se geneza i razvoj dešava u okviru tih 8 meseci. Da bi smo potvrdili ovu karakteristiku SPI3 uradjena je uporedna analiza sa vrednostima SPI12 i SPI24 indeksa. Po svojoj prirodi SPI12 i SPI24 pogoduju razmatranju dugoročne suše (suša koja traje više izmena vremenskih sistema – ciklona i anticiklona), koja ima uticaja i na atmosferske padavina i na površinske i podzemne vode. U slučaju korištenja SPI3 kao pokazatelja dugoročne suše vrednost koja nam je od značaja u tom slučaju su vrednosti SPI3 nakon dva meseca od pika, ako su opet u minusu govore da postojeći pik nije izlazak iz sušnog perioda. Te nalaze možemo potvrditi određivanjem vrednosti SPI12 i SPI24 jer oni uzimaju u obzir bilans za 12 odnosno 24 meseca količine padavina i ukazuju na to da li je pik koji je uočio SPI3 bio dovoljan da dovede sistem u normalu ili surplus ili nije. Simulacije sve tri varijacije SPI indeksa date su na slikama 5.44 -5.48.



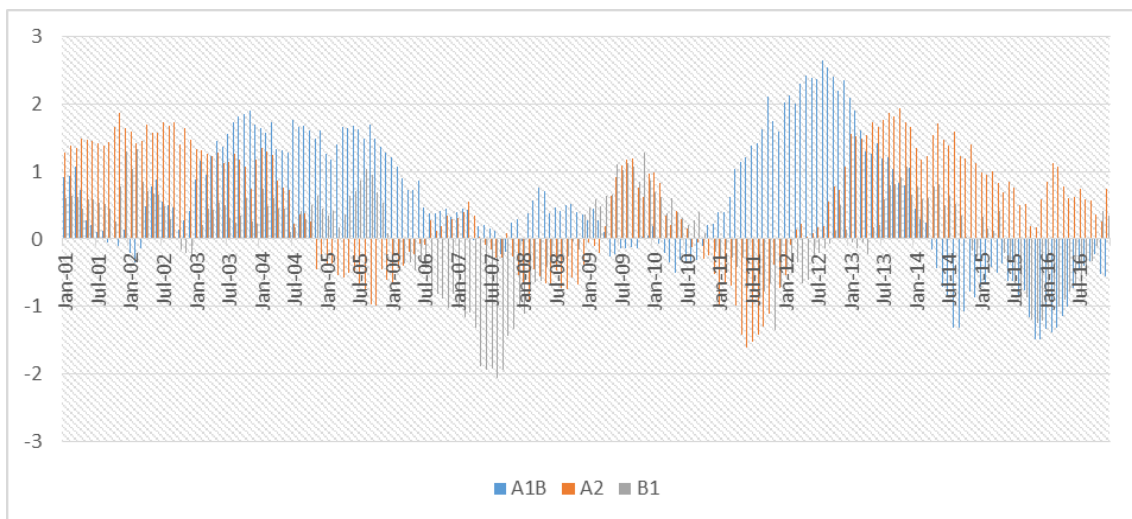
Slika 5.44 Pregled rezultata simulacije tri IPCC scenarija na osnovu podataka o padavinama generisanim iz GCM ECHAM5– SPI3 indeks.



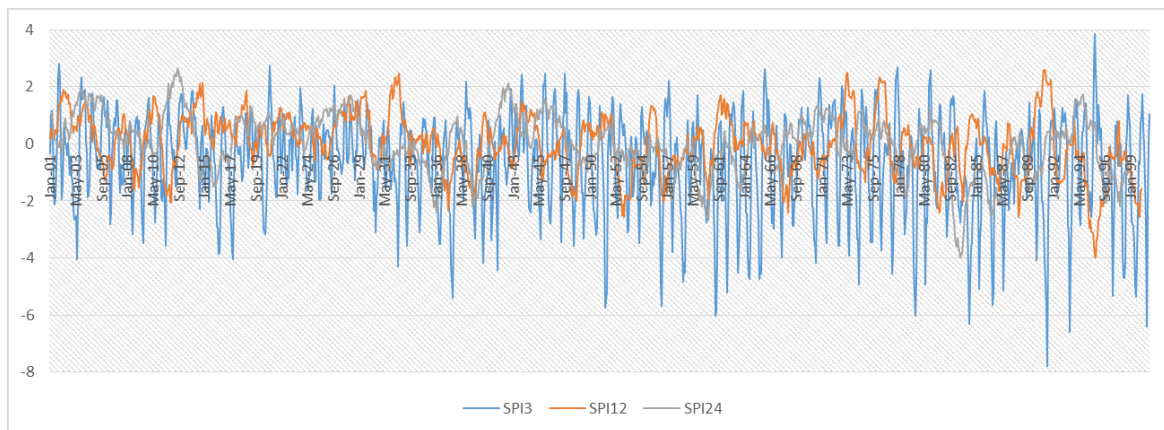
Slika 5.45 Rezultati simulacije kretanja SPI12 na osnovu izlaza iz GCM ECHAM5 za period 2001-2016.



Slika 5.46 Pregled rezultata simulacije tri IPCC scenarija na osnovu podataka o padavinama generisanim iz GCM ECHAM5– SPI24 indeks.

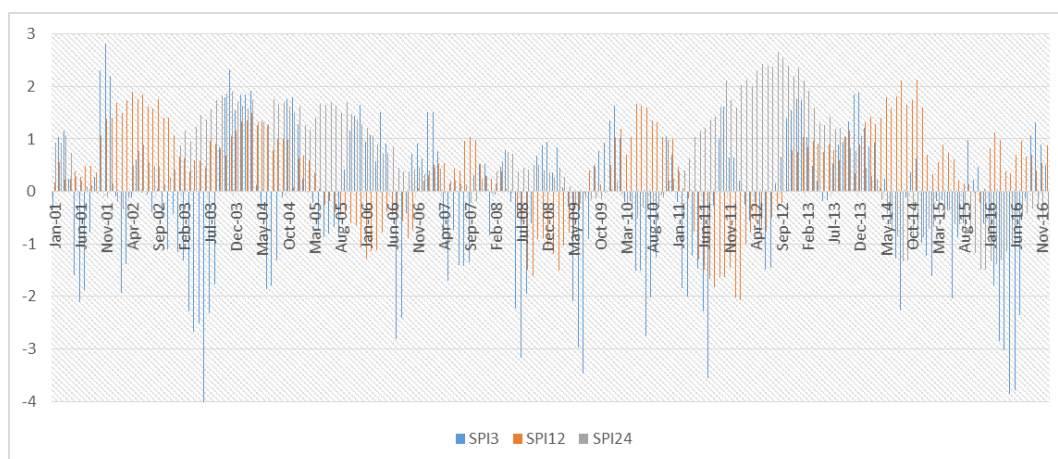


Slika 5.47 Rezultati simulacije kretanja SPI24 na osnovu izlaza iz GCM ECHAM5 za period 2001-2016.



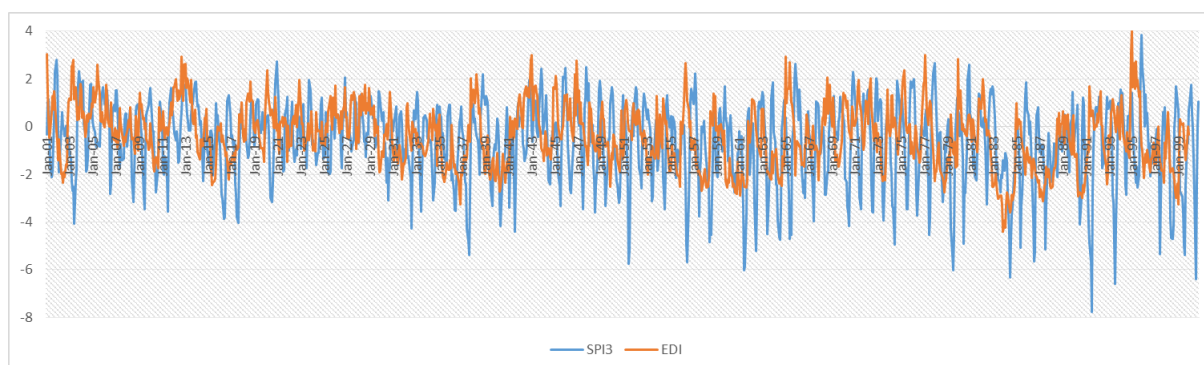
Slika 5.48 Pregled rezultata simulacije A1B IPCC scenarija na osnovu podataka o padavinama generisanim iz GCM ECHAM5– SPI3, SPI12 i SPI24 indeks.

Dobijeni rezultati ukazuju na osnovni problem definisanja šta je suša. Možemo uočiti zakasnelost reakcije harmonizovanih SPI indeksa. Razmatrajući kretanja SPI3, SPI12 i SPI24 (slika 5.49), i uzimajući u obzir iskustvena saznanja, SPI3 nam je najvalidniji za rano upozorenje i shvatanje suše kao fizičke pojave jer se najviše poklapa sa realni događajim suše u razmatranoj oblasti, dok SPI12 i SPI24 mogu ukazati na ozbiljnost delovanja i uticaja suše na vodne resurse; ali ne mogu biti mera ranog upozorenja i predikcije.

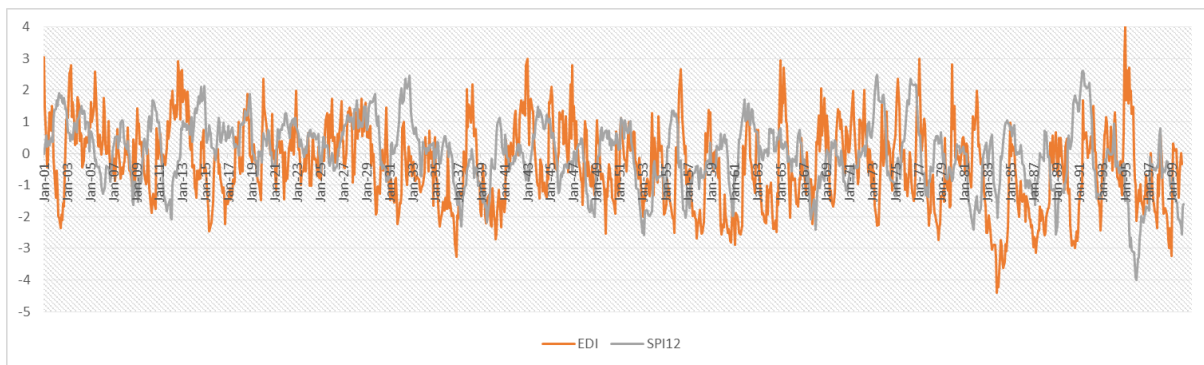


Slika 5.49 Rezultati simulacije A1B scenarija i kretanja SPI3, SPI12 i SPI24 na osnovu izlaza iz GCM ECHAM5 za period 2001-2016.

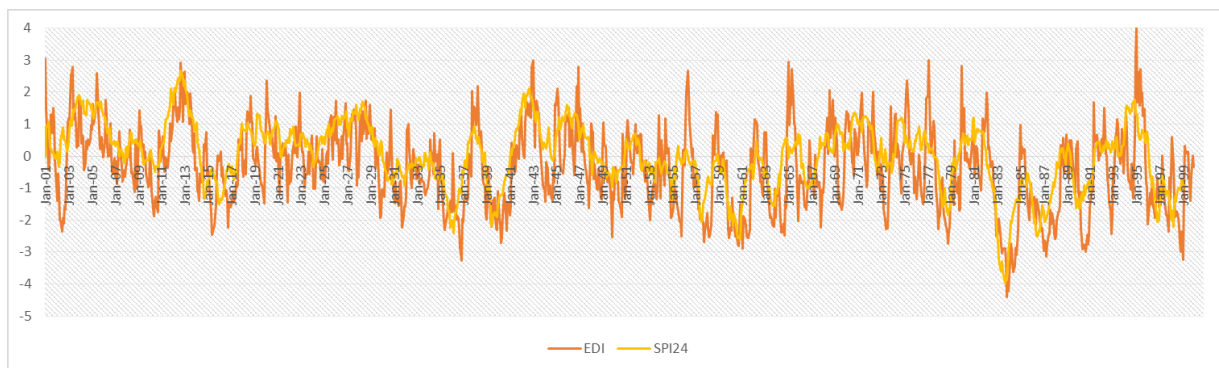
Drugim rečima, SPI12 i SPI24 su samo mera jačine suše, i dopuna za SPI3. U poređenju sa drugim prirodnim hazardima, korišćenje SPI12 i SPI24 kao mere pojave suše, bilo bi isto kao kad bi zemljotresima zvali one koji su reda veličine 10 merkalija, ili pak kad bi olujom nazivali samo one reda veličine 4 ili 5 kategorije. Zauzimajući ovakav stav analiza dobijenih rezultata bi nam rekla sledeće: u julu 2003. možemo zapaziti jaku sušu, koja se razvijala od jula 2002 do avgusta 2003. Sledeći sušni period počeo je 2004 u maju i suša je trajala do jeseni 2006, i zatim superponirala sa sušom koja je započela 2007 i trajala sve do jeseni 2012. Jun 2014 je početak novog sušnog razdoblja koje će eskalirati i doživeti svoj vrhunac 2017. Rezultati stogodišnje simulacije SPI indeksa ukazuju da nakon 2019 na teritoriji Vojvodine će se javljati ekstremni meteorološki uslovi koji će pogodovati razvoju suše, no to će biti izlazna putanja. Period posle 2030. je u deklinaciji i ukazuje na razvoj 15-togodišnjeg sušnog perioda, jakog intenziteta. Sredinom stoleća možemo očekivati blago poboljšanje u trajanju od 5 do 10 godina, nakon čega simulacije ukazuju na razvoj 20 godišnjeg sušnog perioda, čiji pik možemo očekivati 2060tih, sa ekstremnim sušnim događajima koji će se odraziti na nivoe vodnih resursa sredinom 2060tih. Ovakve predikcije su više nego dovoljne da se posveti pažnja suši kao fizičkoj pojavi i razmotri preciznost i suvislost postojećih metoda. Da bismo učvrstili svoje nalaze rezultate simulacije A1B scenarija SPI indeksa poredili smo sa rezultatima drugog relevantnog indeksa suše EDI (slike 5.50-5.55)



Slika 5.50 Pregled rezultata simulacije A1B IPCC scenarija na osnovu podataka o padavinama generisanim iz GCM ECHAM5– SPI3 i EDI indeks.

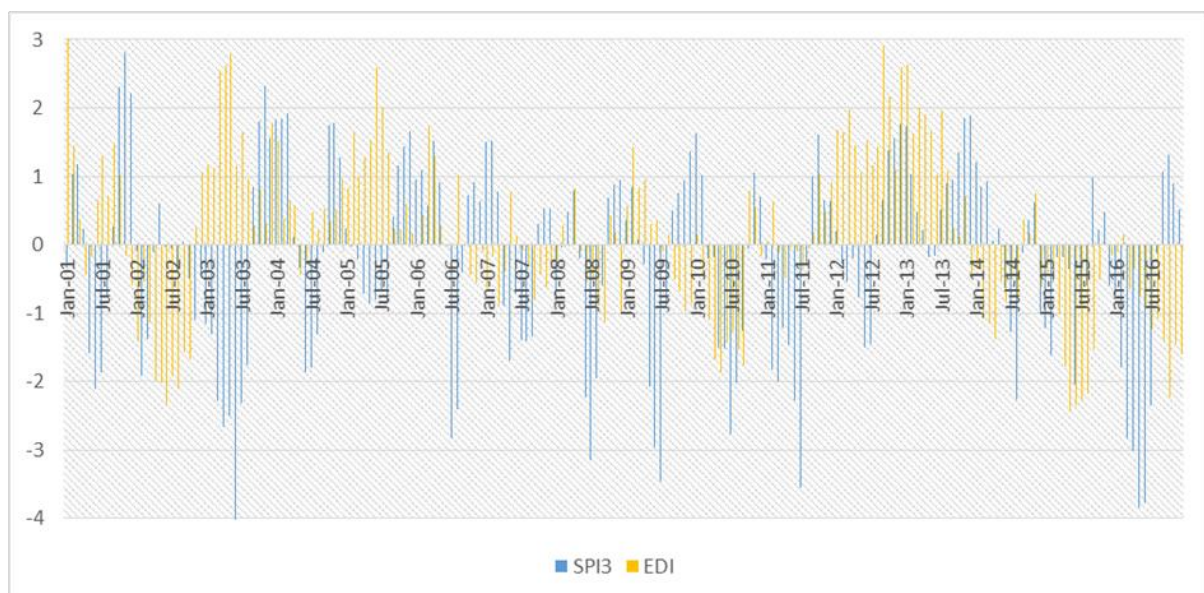


Slika 5.51 Pregled rezultata simulacije A1B IPCC scenarija na osnovu podataka o padavinama generisanim iz GCM ECHAM5- SPI12 i EDI indeks.



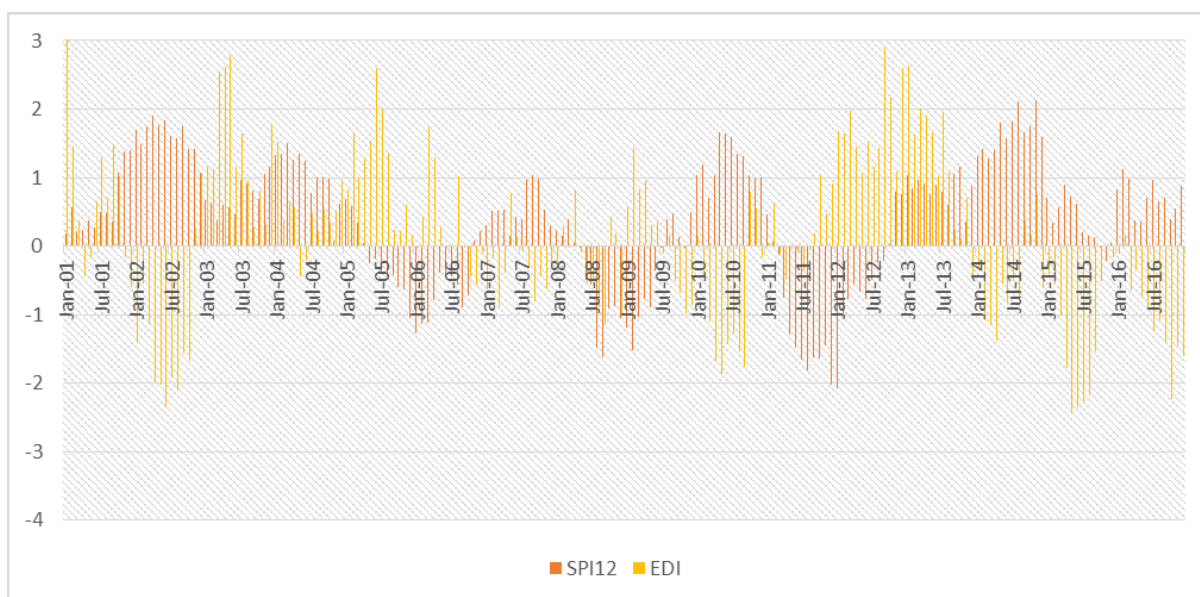
Slika 5.52 Pregled rezultata simulacije A1B IPCC scenarija na osnovu podataka o padavinama generisanim iz GCM ECHAM5- SPI24 i EDI indeks.

Po malo iznenađujući nalazi ukazali su da se EDI najbolje slaže sa SPI24 kretanjima; što ne pogoduje za rano upozorenje s obzirom na tromost indeksa koju ovakvi nalazi pokazuju. Međutim generalno ponašanje EDI indeksa ukazuje da sa smanjenom preciznošću ipak hvata sušne događaje, ali ne u njihovoj punoj amplitude, niti vremenskom opsegu.

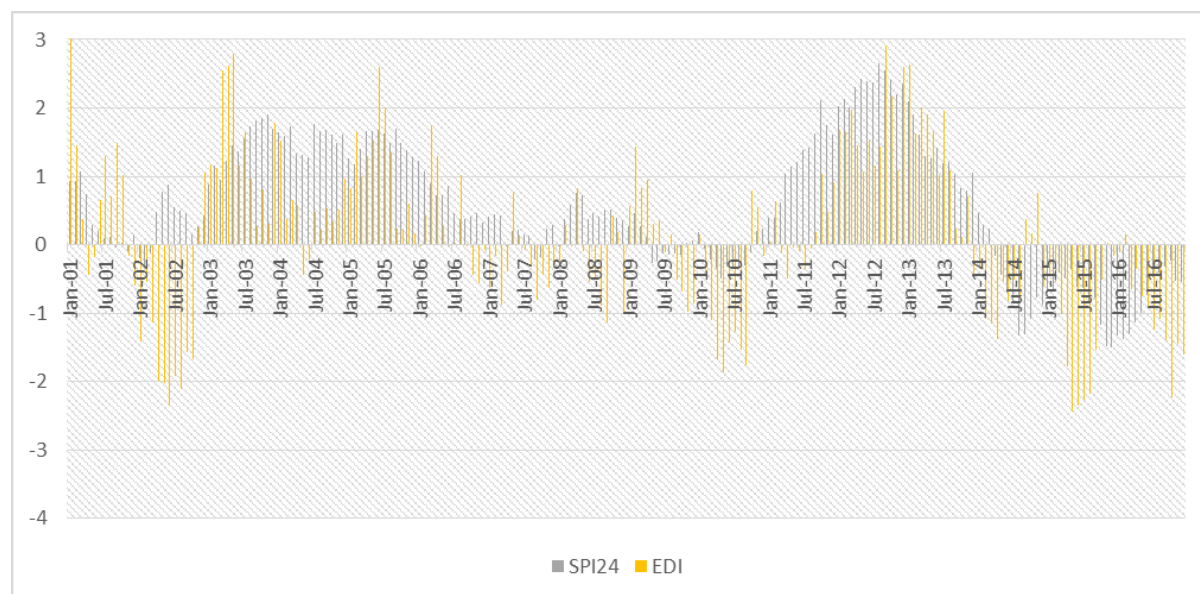


Slika 5.53 Rezultati simulacije A1B scenarija i kretanja SPI3 i EDI na osnovu izlaza iz GCM ECHAM5 za period 2001-2016.

Različnost rezultata simulacija za četiri indeksa suše rezultat su i ne usaglašenosti same definicije suše kao fizičke veličine. Dobijeni rezultati simulacionih analiza, ukazuju da je suša više nego neminovnost i da je neophodno njena analiza i razvijanje proravnosti na nju. Ujedno studija opravdava istraživanje na temu definisanja suše kao pojave u ovoj disertaciji. Pregled istraživanja u poglavlju 1.4 daje nam i uvid u pravac i smer kretanja istraživanja iz oblasti rane najave, prepoznavanja i prognoze suše. Ujedno, potvrđuje stanovište da definicija same pojave, odnosno ustanovljavanje njene fizike još nije utvrđeno na međunarodnom nivou i da je istraživanje koje je predmet disertacije aktuelno i od naučnog značaja za oblast.



Slika 5.54 Rezultati simulacije A1B scenarija i kretanja SPI12 i EDI na osnovu izlaza iz GCM ECHAM5 za period 2001-2016.



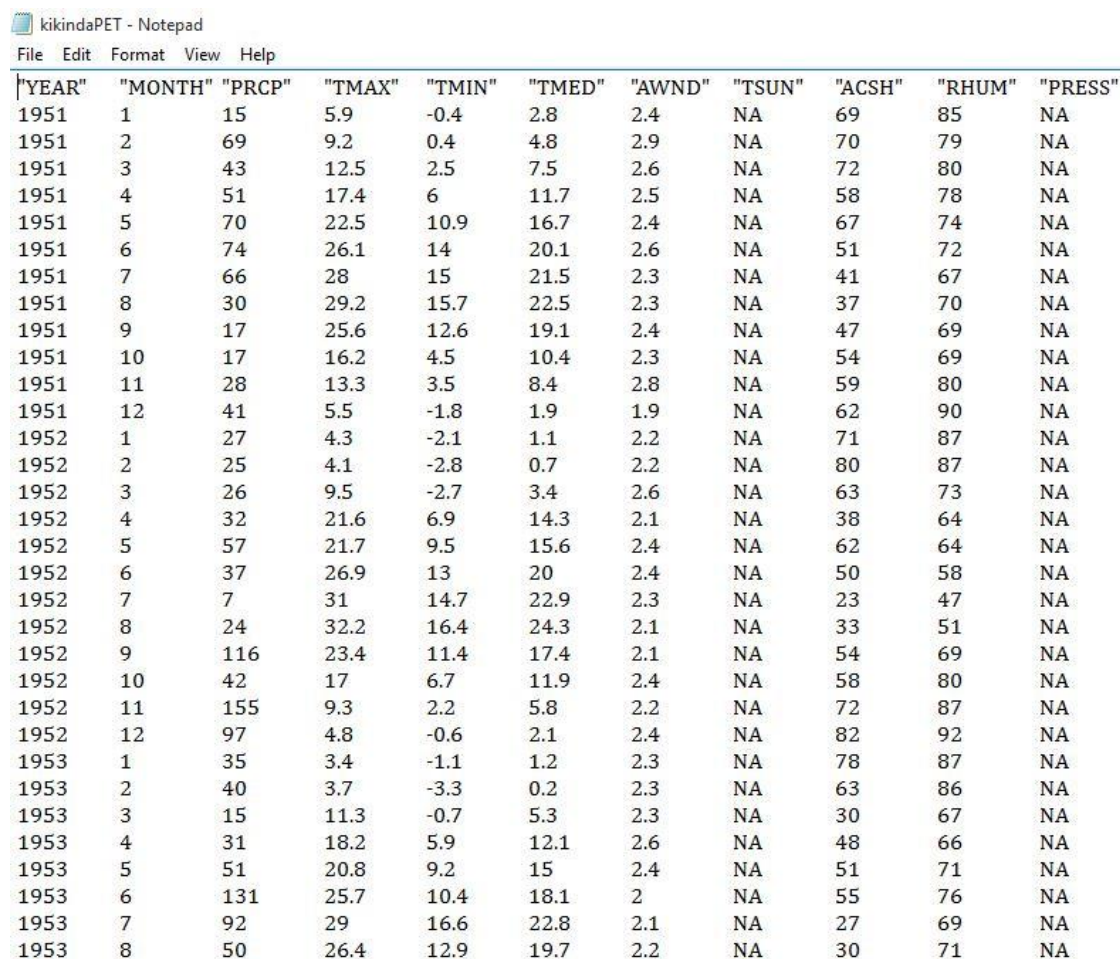
Slika 5.55 Rezultati simulacije A1B scenarija i kretanja SPI24 i EDI na osnovu izlaza iz GCM ECHAM5 za period 2001-2016.

6. Analiza rezultata pristupa modelovanju suši po analogiji sa procesom sušenja vazduhom

Za proračun IDEA indeksa od ulaznih podataka neophodni su mesečni podaci o vrednostima kumulativnog deficita, baziranog na mesečnim padavinama i odstupanjima od normale, srednja mesečna temperatura vazduha, relativna vlažnost vazduha i srednji mesečni vazdušni pritisak. Proračun kumulativnog deficita i proračun IDEA urađeni su u programskom jeziku R i R-STUDIO okruženju (PRILOG 3).

6.1 MEPIS logička sekvenca 1 - Proračun indeksa efikasnosti sušenja vazduhom

Proračun indeksa efikasnosti sušenja vazduhom – IDEA, za razliku od prethodno analiziranih indeksa, zahtevao je nešto kompleksniju arhivu ulaznih podataka. U odnosu na SPI i EDI koji zavise samo od izmerenih vrednosti padavina, i na SPEI koji zavisi od merenih vrednosti padavina i procenjenih (proračunatih) vrednosti evapotranspiracije, i samim tim ga čini zavisnim od temperature, podataka o sunčevom zračenju i drugim parametrima u zavisnosti od izbora metode proračuna evapotranspiracije, IDEA se zasniva na četiri merena meteorološka parametra: sumarnim mesečnim padavinama - PRCP, srednjoj temperature vazduha - TMED, relativnoj vlažnosti vazduha - RHUM i srednjem mesečnom vazdušnom pritisku – PRESS (slika 6.1).



"YEAR"	"MONTH"	"PRCP"	"TMAX"	"TMIN"	"TMED"	"AWND"	"TSUN"	"ACSH"	"RHUM"	"PRESS"
1951	1	15	5.9	-0.4	2.8	2.4	NA	69	85	NA
1951	2	69	9.2	0.4	4.8	2.9	NA	70	79	NA
1951	3	43	12.5	2.5	7.5	2.6	NA	72	80	NA
1951	4	51	17.4	6	11.7	2.5	NA	58	78	NA
1951	5	70	22.5	10.9	16.7	2.4	NA	67	74	NA
1951	6	74	26.1	14	20.1	2.6	NA	51	72	NA
1951	7	66	28	15	21.5	2.3	NA	41	67	NA
1951	8	30	29.2	15.7	22.5	2.3	NA	37	70	NA
1951	9	17	25.6	12.6	19.1	2.4	NA	47	69	NA
1951	10	17	16.2	4.5	10.4	2.3	NA	54	69	NA
1951	11	28	13.3	3.5	8.4	2.8	NA	59	80	NA
1951	12	41	5.5	-1.8	1.9	1.9	NA	62	90	NA
1952	1	27	4.3	-2.1	1.1	2.2	NA	71	87	NA
1952	2	25	4.1	-2.8	0.7	2.2	NA	80	87	NA
1952	3	26	9.5	-2.7	3.4	2.6	NA	63	73	NA
1952	4	32	21.6	6.9	14.3	2.1	NA	38	64	NA
1952	5	57	21.7	9.5	15.6	2.4	NA	62	64	NA
1952	6	37	26.9	13	20	2.4	NA	50	58	NA
1952	7	7	31	14.7	22.9	2.3	NA	23	47	NA
1952	8	24	32.2	16.4	24.3	2.1	NA	33	51	NA
1952	9	116	23.4	11.4	17.4	2.1	NA	54	69	NA
1952	10	42	17	6.7	11.9	2.4	NA	58	80	NA
1952	11	155	9.3	2.2	5.8	2.2	NA	72	87	NA
1952	12	97	4.8	-0.6	2.1	2.4	NA	82	92	NA
1953	1	35	3.4	-1.1	1.2	2.3	NA	78	87	NA
1953	2	40	3.7	-3.3	0.2	2.3	NA	63	86	NA
1953	3	15	11.3	-0.7	5.3	2.3	NA	30	67	NA
1953	4	31	18.2	5.9	12.1	2.6	NA	48	66	NA
1953	5	51	20.8	9.2	15	2.4	NA	51	71	NA
1953	6	131	25.7	10.4	18.1	2	NA	55	76	NA
1953	7	92	29	16.6	22.8	2.1	NA	27	69	NA
1953	8	50	26.4	12.9	19.7	2.2	NA	30	71	NA

Slika 6.1 Izvod iz arhive merenih podataka preuzetih od RHMZ-a

Za potrebe proračuna IDEA indeksa, pored već korišćenih parametara temperature i padavina, bilo je neophodno upotpuniti arhivu ulaznih podataka sa podacima o mesečnom pritisku i vlažnosti vazduha. Za razliku od temperature i podataka o padavina, podaci o pritisku i vlažnosti vazduha, iako mereni na svim stanicama nisu imali kontinualne vremenske serije u razmatranom periodu od 1951 do 2012. Iz tog razloga, izvršena je homogenizacija vremenskih serija podataka o pritisku i vlažnosti vazduha. Za potrebe homogenizacije napravljena je R skripta. U skripti se svaka stanica razmatra zasebno i koriguje se njena zavisnost u odnosu na druge najbliže stanice i vrši dopuna nedostajućeg podatka u datom vremenu. Ovako homogenizovanje podataka je primenjeno po ugledu na hidrološke metode proračuna nedostajućih hidroloških parametara (Ryberg & Vecchia, 2012) (slika 6.2).

HOMODATA_KI - Notepad

File Edit Format View Help

"YEAR"	"MONTH"	"PRCP"	"TMAX"	"TMIN"	"TMED"	"AWND"	"TSUN"	"ACSH"	"RHUM"	"PRESS"
1951	1	15	5.9	-0.4	2.8	2.4	NA	69	85	100.016
1951	2	69	9.2	0.4	4.8	2.9	NA	70	79	99.9495
1951	3	43	12.5	2.5	7.5	2.6	NA	72	80	99.65025
1951	4	51	17.4	6	11.7	2.5	NA	58	78	100.1889
1951	5	70	22.5	10.9	16.7	2.4	NA	67	74	99.74335
1951	6	74	26.1	14	20.1	2.6	NA	51	72	100.06255
1951	7	66	28	15	21.5	2.3	NA	41	67	100.15565
1951	8	30	29.2	15.7	22.5	2.3	NA	37	70	100.02265
1951	9	17	25.6	12.6	19.1	2.4	NA	47	69	100.3485
1951	10	17	16.2	4.5	10.4	2.3	NA	54	69	100.8273
1951	11	28	13.3	3.5	8.4	2.8	NA	59	80	100.03595
1951	12	41	5.5	-1.8	1.9	1.9	NA	62	90	100.75415
1952	1	27	4.3	-2.1	1.1	2.2	NA	71	87	100.02265
1952	2	25	4.1	-2.8	0.7	2.2	NA	80	87	99.90295
1952	3	26	9.5	-2.7	3.4	2.6	NA	63	73	99.96945
1952	4	32	21.6	6.9	14.3	2.1	NA	38	64	100.30195
1952	5	57	21.7	9.5	15.6	2.4	NA	62	64	100.149
1952	6	37	26.9	13	20	2.4	NA	50	58	100.30195
1952	7	7	31	14.7	22.9	2.3	NA	23	47	100.22215
1952	8	24	32.2	16.4	24.3	2.1	NA	33	51	100.0027
1952	9	116	23.4	11.4	17.4	2.1	NA	54	69	100.10245
1952	10	42	17	6.7	11.9	2.4	NA	58	80	100.18225
1952	11	155	9.3	2.2	5.8	2.2	NA	72	87	99.88965
1952	12	97	4.8	-0.6	2.1	2.4	NA	82	92	100.1756
1953	1	35	3.4	-1.1	1.2	2.3	NA	78	87	100.282
1953	2	40	3.7	-3.3	0.2	2.3	NA	63	86	100.10245
1953	3	15	11.3	-0.7	5.3	2.3	NA	30	67	101.2662
1953	4	31	18.2	5.9	12.1	2.6	NA	48	66	100.1091
1953	5	51	20.8	9.2	15	2.4	NA	51	71	100.03595
1953	6	131	25.7	10.4	18.1	2	NA	55	76	99.7766
1953	7	92	29	16.6	22.8	2.1	NA	27	69	100.16895
1953	8	50	26.4	12.9	19.7	2.2	NA	30	71	100.36845
1953	9	15	25.1	11.3	18.2	2.4	NA	27	69	100.4549
1953	10	5	19.6	7.6	13.6	2.3	NA	35	72	100.76745
1953	11	21	8.2	-0.4	3.9	1.9	NA	51	79	101.40585
1953	12	14	4.6	-5.3	-0.4	1.7	NA	39	81	101.2795

Slika 6.2 Izvod iz arhive uređenih podataka za potrebe proračuna IDEA indeksa

Potpune vremenske serije merenih parametara jedino je zabeležila stanica Novi Sad, te nam je ona služila kao kontrolna za rezultate IDEA indeksa. Ponašanje IDEA indeksa razmotreno je za svih sedam stanica. Kontrolni eksperimenti izvršeni su sa skraćenim vremesnkim serijama koje su sadržale samo originalne izmerene meteorološke parametre. Primena teorije sušenja vazduhom odgovara cilju determinisanja fizičkih uslova koji pogoduju razvoju suše, indikuju njen početak i/ili prolongiraju njeno trajanje. IDEA u svojoj osnovi računa koliko vode možemo izvući iz sistema pri zadatim

uslovima. Bilo je neophodno konstantovati količinu uklonjene vlage. Po principu sušare količinu uklonjene vlage, koji mi razmatramo kao gubitak iz sistema, dobijamo množenjem masenog protoka suvog vazduha razlikom vlažnosti vazduha na poslednjem stepenu sušenja i na ulaznom stepenu. Da bismo to uradili prethodno je neophodno odrediti maseni protok suvog vazduha, deljenjem zapreminskog protoka vlažnog vazduha (m^3/s) na izlaznim uslovima, zapreminom vlažnog vazduha, koja na tim uslovima sadrži 1kg suvog vazduha (humid volume, m^3/kg). Drugim rečima, primenjeno na prethodno definisan sistem proračun primenjen na realne uslove za početni i krajni stepen razmatra promenu na početku i kraju vremenskog intervala, u kom je došlo do izlaska vlage iz sistema, u vidu zapreminskog protoka vlažnog vazduha, F. Za naš proračun F predstavlja deficit padavina u posmatranom vremenu. Proračun vremenskih serija IDEA indeksa izvršen je za svih sedam pomenutih meteoroloških stanica. Urađene su ukupno tri varijacije proračuna u dve dimenzije i generisane su 84 vremenske serije. Prve dve varijacije odnosile su se na određivanje ulaznog parametra F:

- 1) U prvom slučaju #PRORAČUN DEFICITA F je predstavljao mesečno odstupanje padavina od očekivane vrednosti

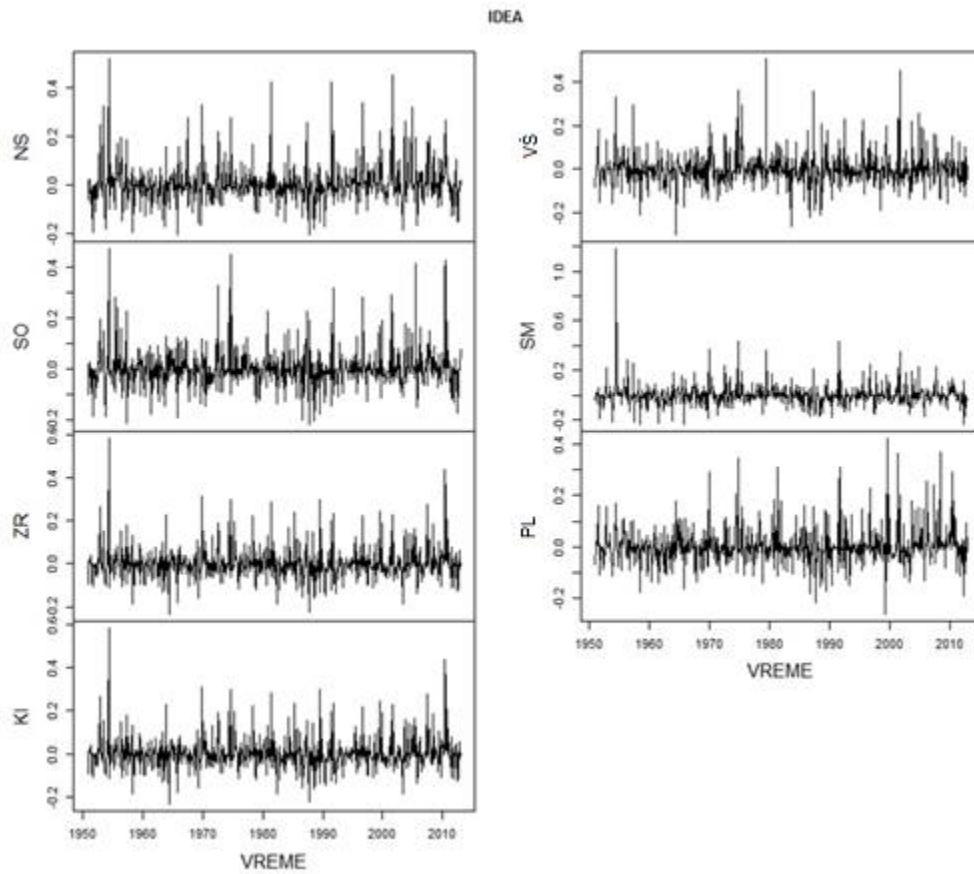
$$\text{for}(i \text{ in } 1:12) \text{ srednje}[i] <- \text{mean}(\text{enterdata}\$PRCP[\text{ which}(\text{enterdata}\$MONTH==i)])$$

$$\text{for}(i \text{ in } 1:744) \text{ prcp1}[i] <- \text{enterdata}\$PRCP[i] - \text{srednje}[\text{enterdata}\$MONTH[i]]$$
- 2) dok je u drugom slučaju u proračun uvrštavan #KUMULATIVNI DEFICIT #PRORAČUN KUMULATIVNOG DEFICITA

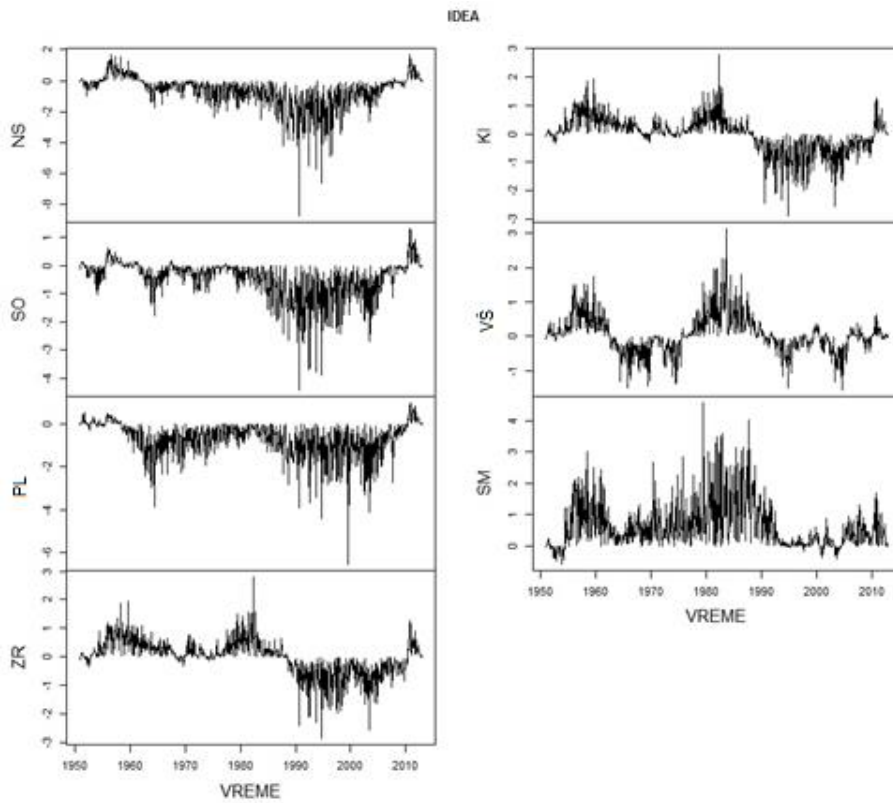
$$\text{for}(i \text{ in } 1:744) \text{ kummm}[i] <- \text{sum}(\text{prcp1}[1:i], \text{na.rm} = \text{FALSE})$$

$$\text{for}(i \text{ in } 1:744) \text{ kumm3s}[i] <- \text{kummm}[i] * 34.7 / \text{brDanMesec}[\text{enterdata}\$MONTH[i]]$$

Eksperiment je imao za cilj utvrditi ispravnost uvođenja kumulativnih vrednosti odstupanja od srednje vrednosti u proračun u odnosu na mesečne vrednosti odstupanja. Uvođenjem kumulativnih vrednosti deficita očekivalo se povećanje osetljivosti i preciznosti indeksa, jer kumulativni deficit reflektuje stanje sistema u realnom vremenu. Sa druge strane predvideli smo mogućnost uvođenja greške u proračun jer kumulativni deficit se mogao multiplikovati, ako krenemo od polazišta da je F generisani gubitak u razmatranom vremenu, odnosno u našem slučaju za mesec dana, a ne za ceo vremenski period do momenta proračuna. Treća varijacija eksperimenta odnosila se na uvođenje parametra ρ_v , odnosno razlike vlažnosti na početku i kraju intervala. Bilo je neophodno definisati reprezentativni analogni realni parametar, parametru vlažnosti u metodi sušenja vazduhom u sušari. U prvoj varijaciji ulazne vrednosti padavina reprezentovane su preko odstupanja od srednje vrednosti padavina za dati mesec. Od svih izvršenih eksperimentalnih proračuna u cilju determinisanja načina proračuna IDEA indeksa, prva varijacija pokazala je najbolje i najodrživije rezultate (slika 6.3). Sa fizičke tačke, razmatranje mesečnog deficita koji se stvorio u toku meseca, i jeste voda „izašla“ iz sistema. Pretpostavka da bi se mogao uvesti kumulativni deficit, gde se na deficit razmatranog meseca dodaje odstupanje od srednje vrednosti prethodnog meseca dala je isto rezultate od značaja (slika 6.4). Oba metoda proračuna IDEA indeksa uvrštena su u MEPIS analizu indeksa suše radi utvrđivanja konačne metode proračuna IDEA indeksa suše.



Slika 6.3 Vremenske serije IDEA indeksa dobijene kao rezultat prve varijacije



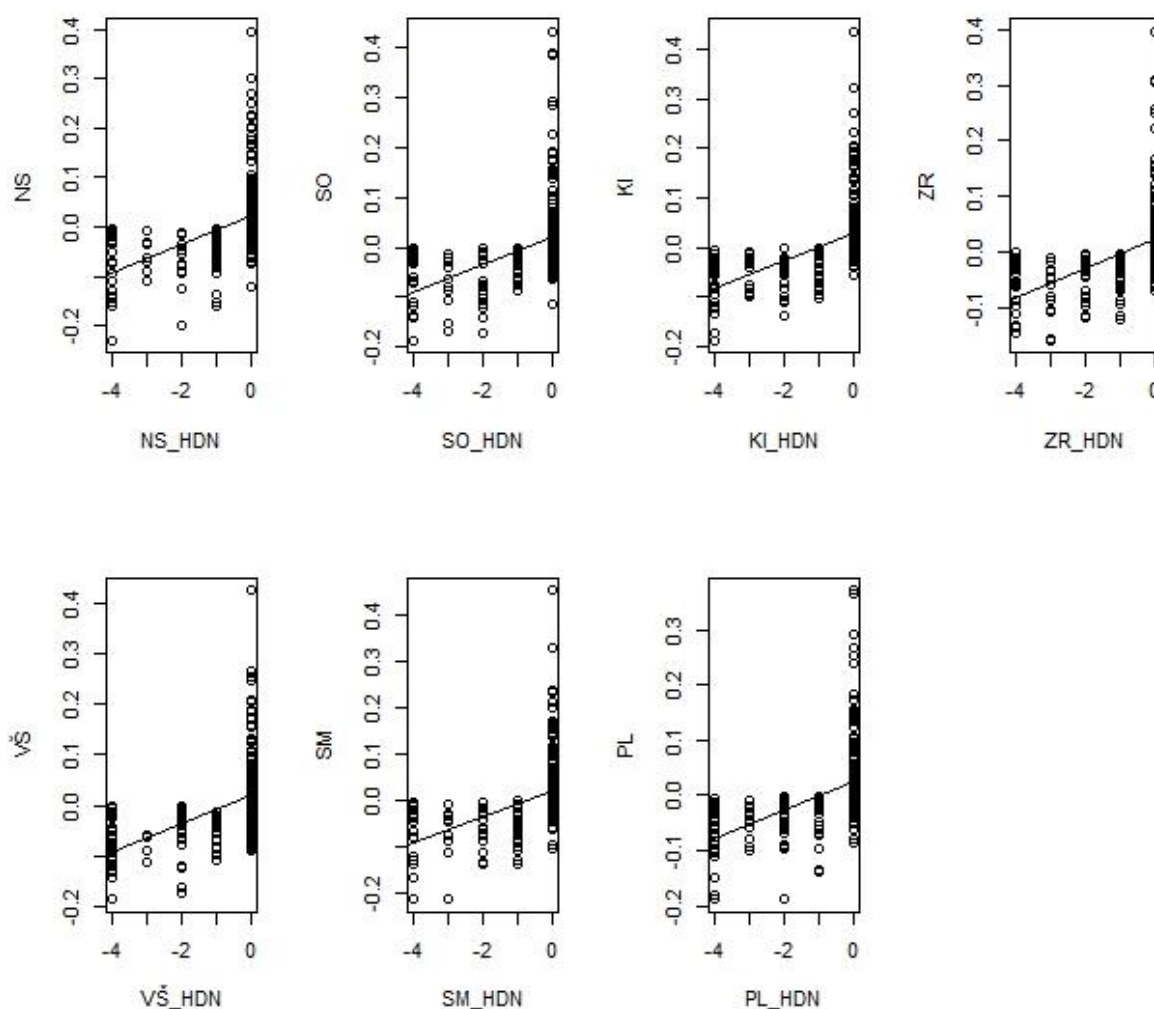
Slika 6.4 Vremenske serije IDEA indeksa dobijene kao rezultat druge varijacije

6.2 MEPIS logička sekvenca 2 – Slaganje IDEA indeksa sa istorijskim sušama

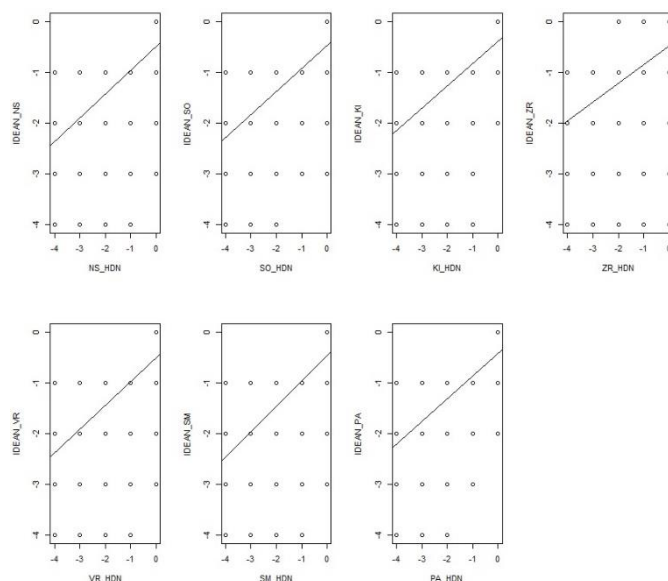
Karakteristika IDEA indeksa koja se mogla uočiti već u ovom koraku analize, a koja se dosta razlikuje od rezultata drugih razmatranih indeksa, jeste mnogo bolja korelacija sa istorijskim sušama (tabela 6.1). Kao što se sa slika 6.5 i 6.6 može primetiti, negativne vrednosti IDEA indeksa koje ukazuju na sušu kreću se samo u opsegu negativnih vrednosti HDN, koje su vezane za sušne događaje. Već ovde možemo zaključiti da IDEA indeks je veoma precizan, sa prostorom za poboljšanje njegove osetljivosti, odnosno određivanja pragova intenziteta suše.

Tabela 6.1 Mere korelacije IDEA indeksa sa istorijskim sušama

IDEA_1	NS	SO	PL	KI	VŠ	ZR	SM
HDN	0,48	0,49	0,54	0,55	0,50	0,45	0,46
HDK	0,51	0,51	0,54	0,54	0,53	0,45	0,47



Slika 6.5 Korelacioni odnos IDEA- indeks prve varijacije i HDN



Slika 6.6 Poređenje vremenskih serija HDN i IDEA PRVA VARIJACIJA, nakon dodavanja težinskog faktora vrednosti IDEA indeksa

Dobijeni rezultati poklapanja sa istorijskim sušama bili su očekivani jer su i istorijske suše određene u odnosu na deficit padavina. Sa fizičkog aspekta, ovako poklapanje je i neophodno jer suša jeste odraz nedostatka padavina u odnosu na normalu za posmatrano područje, odnosno srednju vrednost padavina u posmatranom periodu. Korišćenjem odstupanja umesto cele vrednosti padavina, rešava se problem različitosti prirode padavina po regionima, jer se sama različitost definiše kroz normalu, odnosno srednju vrednost u proračunu. Time omogućavamo da IDEA bude uporediva među različitim stanicama, jer njena krajnja mera je standardizovana, a ulazne promenljive uzimaju u obzir različitost u raspodeli padavina po stanicama.

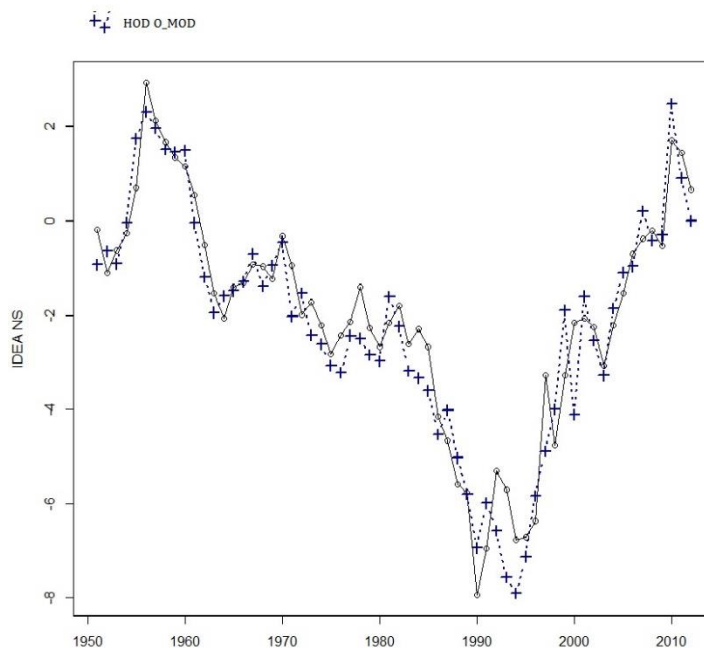
Tabela 6.2 Broj poklopljenih događaja prve varijacije proračuna IDEA indeksa i zabeleženih istorijskih sušnih događaja

IDEA_V1							
	NS	SO	PL	KI	VŠ	ZR	SM
HDN po pojavi suše	209	195	233	257	203	209	199
	90%	84%	84%	87%	90%	77%	86%
HDN po intenzitetu suše	72	75	86	105	59	59	64
	31%	32%	31%	36%	26%	22%	28%
Slaganje perioda bez suše	401	404	409	398	397	373	417
	79%	79%	88%	89%	77%	79%	82%
HDK po pojavi suše	NS	SO	PL	KI	VŠ	ZR	SM
	242	215	215	239	203	222	209
	95%	85%	85%	89%	81%	85%	86%
HDK po intenzitetu suše	97	88	89	93	56	77	84
	38%	35%	35%	35%	22%	30%	34%
Slaganje perioda bez suše	370	403	417	404	390	376	414
	76%	82%	85%	85%	79%	78%	83%

U daljoj analizi, uporedili smo slaganje vremenske pojave suša i slaganje pojave suša po intenzitetu u odnosu na ukupan broj sušnih događaja. Napredak u detektovanju sušnih događaja ukazuje na značaj determinacije ulaznog parametra. Uticaj ulazne varijable testirali smo izmenom ulaznog parametra sa deficitom padavina na vrednost kumulativnog deficita padavina u varijaciji 2 IDEA indeksa. Sa slike 6.7 možemo uočiti tok kretanja vremenske serije i značajnu razliku u detektovanju suše različite dužine. Po svom izgledu vremenska serija IDEA_V2 više podseća na Ocokoljićeva modulna odstupanja (Ocokoljić, 1994) i na dugoročni uticaj deficita padavina na vodni sistem. Po obliku krive vremenske serije dalo se za naslutiti da će korelacija sušnih događaja biti veoma mala, no još nam je od značaja bilo koji će se broj događaja ipak poklopiti.

Tabela 6.3 Broj poklopljenih događaja prve varijacije proračuna IDEA indeksa i zabeleženih istorijskih sušnih događaja

		IDEA_V2						
		NS	SO	PL	KI	VŠ	ZR	SM
HDN po pojavi suše		70	45	100	24	8	24	0
		30%	19%	36%	8%	4%	9%	0%
HDN po intenzitetu suše		20	24	11	5	2	9	0
		9%	10%	4%	2%	1%	3%	0%
Slaganje perioda bez suše		317	324	318	328	319	307	340
		62%	64%	68%	73%	62%	65%	67%
HDK po pojavi suše		NS	SO	PL	KI	VŠ	ZR	SM
		75	45	91	20	9	24	0
HDK po intenzitetu suše		17	24	18	6	2	7	0
		7%	9%	7%	2%	1%	3%	0%
Slaganje perioda bez suše		348	329	407	403	498	426	512
		71%	67%	83%	85%	101%	89%	103%



Slika 6.7 Prikaz kretanja godišnjih vrednosti IDEA_V2 indeksa i godišnje sumarne krive modulnih odstupanja po Ocokoljiću.

U odnosu na prvu varijaciju proračuna IDEA indeksa zapažamo da IDEA_V2 pokazuje znatno slabija poklapanja sa usvojenim istorijskim sušama. Vremenske serije indeksa IDEA_V2 najviše podsećaju na vremenske serije modularnih odstupanja, odnosno reflektuju makro hidrološka kretanja.

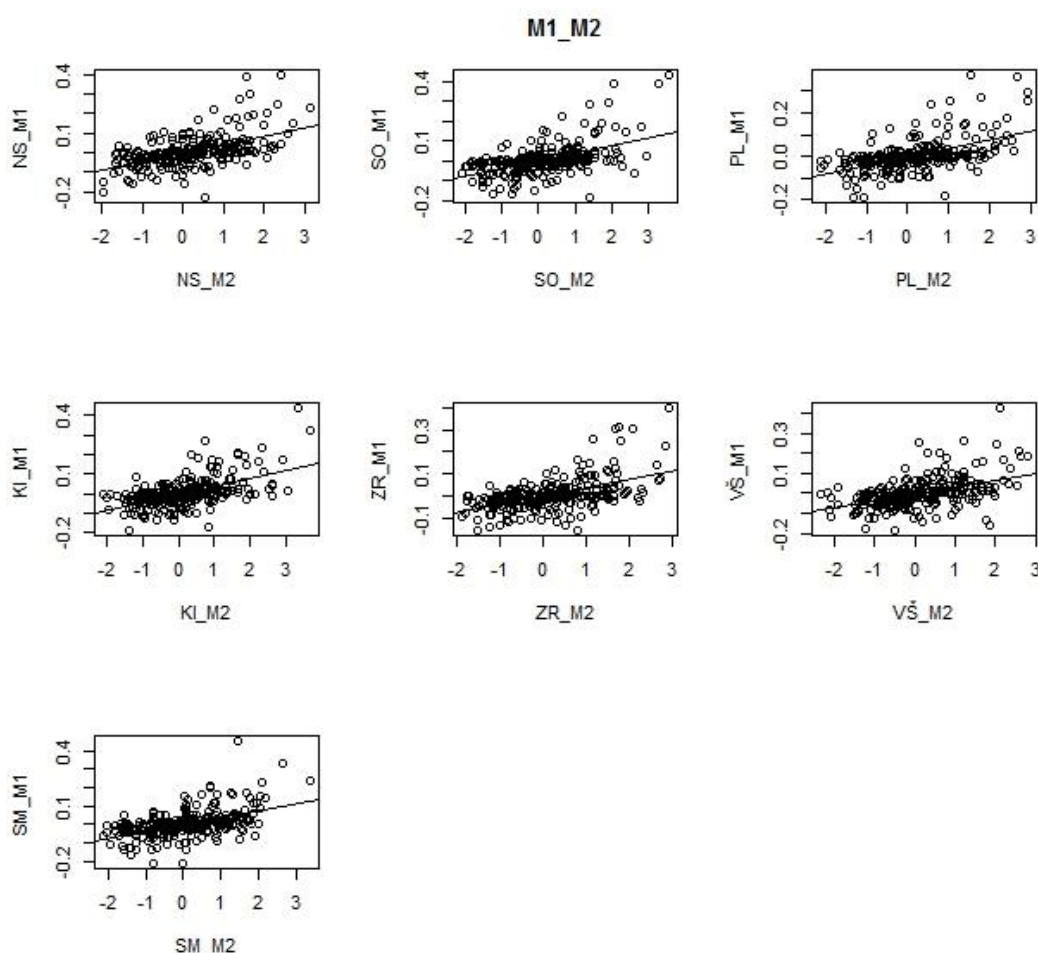
6.3 MEPIS logička sekvenca 3 - Poređenje tradicionalnih pristupa i IDEA

U skladu sa ideologijom MEPIS algoritma u ovoj sekvenci upoređene su vremenske serije EDI indeksa i IDEA indeksa (tabela 6.4). Iz prethodnih analiza bilo je za očekivati da će postojati značajna odstupanja IDEA indeksa od SPI i SPEI. Kako je EDI indeks zadovoljio sve karakteristike potrebne za indeks suše na dovoljnom nivou smatrali smo ga kao kompatibilnim da bude referentni indeks.

Tabela 6.4 Mere korelacije IDEA indeksa sa kretanjima EDI indeksa.

IDEA_1	NS	SO	PL	KI	VŠ	ZR	SM
EDI	0,52	0,51	0,50	0,52	0,52	0,49	0,49

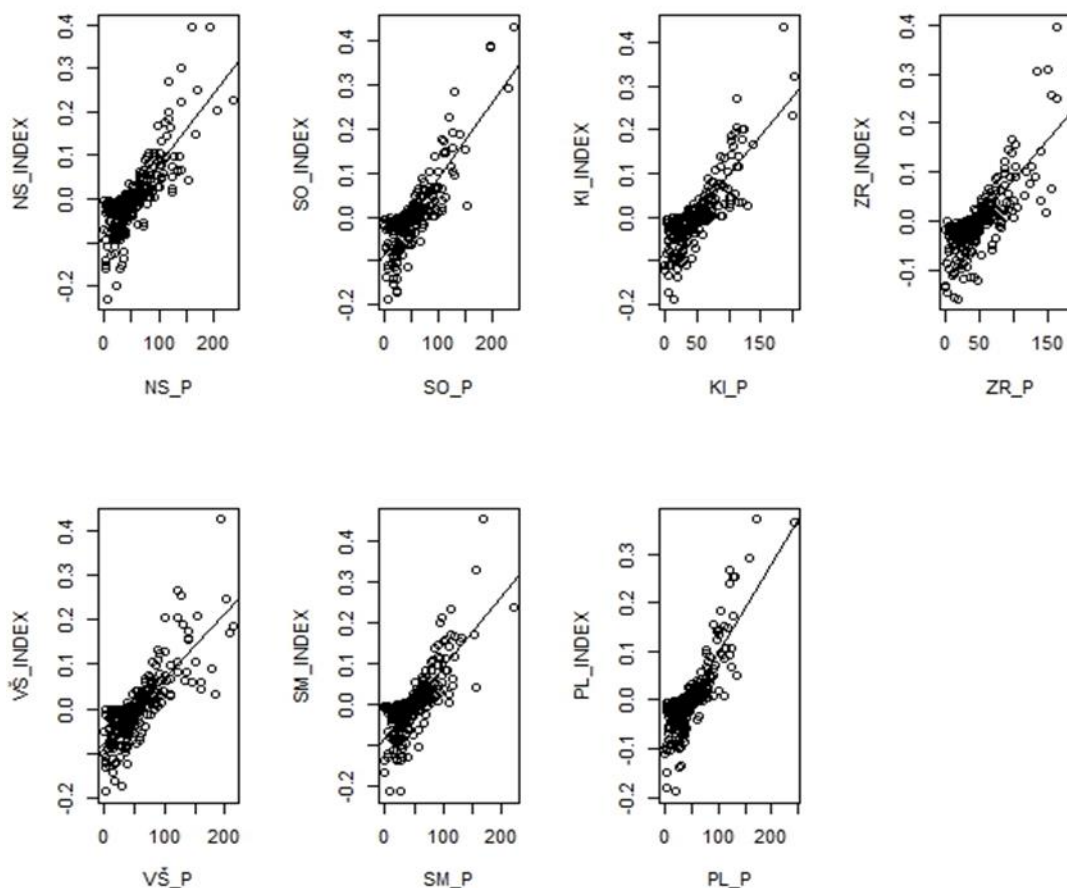
IDEA_V1 indeks pokazao je zadovoljavajući nivo slaganja sa referentnim indeksom (slika 6.8). IDEA_V2 indeks se smatra kao pomoćni i izuzet je iz dalje analize.



Slika 6.8 Odnos EDI i IDEA_V1 indeksa, M1 parametar predstavlja IDEA_V1 vrednost, a M2 EDI vrednost za datu stanicu

6.4 MEPIS logička sekvenca 4 - slaganje IDEA indeksa sa odabranim meteorološkim parametrima od značaja

U skladu sa MEPIS-om ostalo je još uraditi asocijativnu, odnosno korelacionu analizu IDEA_V1 indeksa sa meteorološkim parametrima od značaja za formiranje suše (slika 6.9). U odnosu na EDI indeks primećujemo da IDEA indeks varira u kvalitetu slaganja sa meteorološkim parametrima (tabele 6.5 - 6.6). No, iz primera IDEA indeksa vidimo da pristup oceni korelacionog – asocijativnog odnosa ne može biti jednoznačan, već se mora uzeti u obzir priroda samog indeksa i njegovo fizičko značenje.



Slika 6.9 Korelacioni odnosi među IDEA_V1 i padavina i regresioni linearni model

Tabela 6.5 Smer korelacije SPEI3 i meteoroloških parametara od značaja.

IDEA_V1	NS	SO	PL	KI	VŠ	ZR	SM
P	+	+	+	+	+	+	+
ET	+	-	-	+	+	-	-
TMED	-	-	-	+	-	+	-
AWND	-	+	+	+	+	-	-
TSUN	-	-	-	-	-	-	-
ACSH	+	+	+	+	+	+	+
RHUM	+	+	+	+	+	+	+
PRESS	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 6.6 Mera korelacije IDEA_V1 i meteoroloških parametara od značaja

IDEA_V1	NS	SO	PL	KI	VŠ	ZR	SM
P	0,8021	0,8213	0,8115	0,8242	0,6430	0,7818	0,7784
ET	0,0209	-0,0118	-0,0033	0,0027	0,0015	-0,0487	-0,0187
TMED	-0,0204	-0,0118	-0,0009	0,0084	-0,0293	0,0085	-0,0167
AWND	-0,0325	0,0393	0,1156	0,0207	0,0011	-0,0329	-0,0150
TSUN	-0,1004	-0,0865	-0,1059	-0,0995	-0,1086	-0,0765	-0,1689
ACSH	0,1950	0,2051	0,1965	0,2317	0,2580	0,2382	0,2034
RHUM	0,2157	0,1732	0,1269	0,2100	0,2394	0,2281	0,1656
PRESS	-0,1324	-0,2541	-0,0043	-0,3098	-0,1745	-0,2931	-0,2151

Ako se osvrnemo na značenje vrednosti IDEA indeksa, krajnja vrednost u minusu ukazuje na izvlačenje vode iz sistema, dok pozitivne vrednosti ukazuju na vlagu u vazduhu i potencijal dodavanja vode sistemu. Razmatrajući fizički proces evapotranspiracije i značenje IDEA indeksa došli smo do sledeće konstatacije. Pošto evapotranspiracija povećava količinu vlage u vazduhu time umanjuje sposobnost vazduha da izvlači dalje vlagu iz sistema, odnosno vrednost IDEA indeksa će rasti ka pozitivnoj ukoliko usled evapotranspiracije dolazi do akumulacije vlage iznad površine. Drugim rečima, ako je evapotranspiracija dovoljno velika, a ostali uslovi mirni (ne postoji horizontalna i vertikalna razmena, odnosno odnošenje vlage iz pogranične zone od značaja) IDEA indeks će biti pozitivan, odnosno vazduh će sadržati veliku količinu vlage i umanjiti svoju sposobnost izvlačenja vode iz sistema usled saturacije. Ovakva situacija nam govori da uticaj evapotranspiracije nije u linearnom negativnom odnosu, već potvrđuje da postoji gornja granica kod isparavanje dovodi do zasićenja i formiranja padavina ili prestanka daljeg isparavanja.

Vremenski nizovi ulaznih parametara neophodnih za proračun IDEA indeksa su bili modifikovani od originalnih u procesu homogenizacije, te da bismo proverili verodostojnost dobijenih nalaza uzeli smo dužinu niza za koju smo imali sve merene vrednosti neophodnih parametara. Dobijeni rezultati pokazali su isto ponašanje kao i homogenizovane vremenske serije po svim sekvencama MEPIS algoritma, te su rezultati homogenizovanih vremenskih serija usvojeni kao verodostojni.

7. Zaključna razmatranja i predlozi za dalja istraživanja

Cilj disertacije bio je razvoj metodologije ocene i selekcije metoda za prepoznavanje, praćenje, ranu najavu i prognozu suše. Za potrebe ostvarenja ovog cilja dizajniran je MEPIS algoritam, odnosno definisana je metodologija za procenu indikatora suše. Razvoj MEPIS-a podrazumevao je kompleksnu analizu pojave suše kao hidrometeorološkog fenomena. MEPIS se sastoji od pet logičkih sekvenci, koje moraju linearno biti rešavane odnosno jedna za drugom. Tokom kreiranja MEPIS-a bilo je neophodno rešiti niz tehničkih i logičkih problema.

Prvi tehnički problemi bili su podaci neophodni za modelovanje i proračun indeksa suše. U tu svrhu formirana je arhiva ulaznih podataka na nivou Vojvodine. Sama arhiva može biti globalnog karaktera, te je prednost MEPIS-a i u tome što nije ni regionalno ni vremenski ograničen. Ograničenje provere leži u raspoloživim istorijskim podacima kao i u raspoloživim merenim podacima. Ovo su realna, stvarna ograničenja sistema monitoringa i rane najave, te možemo zaključiti da je MEPIS dizajniran da radi sa svim raspoloživim kapacitetima. Upotreba MEPIS-a inter-regionalno, ili globalno, podrazumevalo bi univerzalne baze podataka, koje se mogu regionalno razvijati i ažurirati i rešiti problem razmene podataka. *Gustina i položaj mreže mernih stanica u mnogome utiču na efektivnost i preciznost praćenja i metoda prognoza suše i drugih prirodnih hazarda te se stoga predlaže dalje istraživanje i diskusija o potrebi proglašavanja mreže merenja u cilju boljeg prostornog praćenja prirodnih hazarda.*

Prvi logički problem koji je prepoznat i rešen bilo je definisanje suše na njenom elementarnom fizičkom nivou, odnosno šta je uzrokuje i utiče na nju. Rešavanje problema započeto je sa razmatranjem promenljivih koje osmatramo u Sistemu i kojima definišemo njegovo stanje. U skladu sa promenljivom koja se uzima u razmatranje najrasprostranjenija podela suše je na: meteorološku (klimatološku), hidrološku sušu prvog i drugog reda i poljoprivrednu sušu. No, prilikom definisanja suše, uočeno je da nije savetodavno tako strogo razgraničiti delovanje određenih parametara. Deficit padavina vodi ka suši i njihov deficit ukazuje na rani stadijum suše, isto tako produženo vreme trajanja deficita padavina direktno utiče na površinske i podzemne vode i time je dobar indikator rane najave suše drugog ili trećeg reda, ako za prvi usvojimo da je suša ograničena samo na manju količinu padavina od očekivane. S druge strane početak novih padavina ne znači nužno i izlazak iz sušnog perioda, jer pridošla količina padavina, u velikom broju slučajeva ne nadoknađuje gubitak. Za prognozu i analizu suše drugog reda indikator nam je nedostatak vode u rekama i rezervoarima – površinskim vodama, a za sušu trećeg reda stanje podzemnih voda. Suše drugog i trećeg reda vezane su strogo za hidrosferu. Kako je suša poremećaj u razvoju procesa u hidrološkom ciklusu, definisali smo sušu kao jedan jedinstven sušni događaja koji ima četiri stepena, odnosno faze:

1. Sušu prvog reda - suša koja utiče samo na atmosferske procese i možemo je dovesti u 1:1 korelaciju sa tradicionalno definisanom meteorološkom (klimatološkom) sušom,
2. Sušu drugog reda – suše koje utiču na stanje i odvijanje procesa u atmosferi i hidrosferi,
3. Sušu trećeg reda – za analizu i prognozu poljoprivredne suše, odnosno suša koja svojim delovanjem prožima sve četiri sfere atmosferu, hidrosferu, litosferu i utiče na procese i stanje biljaka i životinja (biosfera),
4. Sušu četvrtog reda suše koje utiču na stanje i procese u atmosferi, hidrosferi i litosferi nepovratno remeteći biološki ciklus biljaka i životinja.

Ovako klasifikovanu sušu mnogo je lakše pratiti prostorno i vremenenski. **U ovom slučaju nama je suša jedinstven događaj različitog stepena delovanja, a ne više nezavisnih događaja, a do sada klasifikovane suše su samo mera ozbiljnosti događaja odnosno mera uticaja sušnog događaja.** Suša prelazi iz jednog reda u drugi u momentu kada ne postoji ni jedan prirodni ili antropogeni regulator koji bi umanjio efekat nastalih deficit vode. Unutar svakog reda možemo izvršiti finu gradaciju.

Istraživanje metoda praćenja suše obuhvatilo je tri tradicionalna indikatora i jedan novo formirani. Sve ukupno analizirano je 16 varijacija četiri odabrana indeksa suše. Period istraživanja obuhvatio je 62 godine, od 1951 do 2012. Analize indikatora ukazale su na opravdanost menjaja pristupa problematici suše i odstupanja od stohastičkog razmatranja njene pojave i pristupanja termodinamičkim osnovama suše. Modelovanje suše po analogiji sa procesom sušenja vazduhom pokazalo je zadovoljavajuće rezultate i kao agregat ovog pristupa dobili smo IDEA indeks za praćenje uslova koji pogoduju suši. Istraživanje je između ostalog imalo za cilj i da utvrdi neophodnost uvođenja evapotranspiracije u proračune indikatora suše. Iako se prilikom proračuna IDEA-je evapotranspiracija ne koristi eksplicitno, za to nema ni potrebe jer sama IDEA predstavlja fizičku sposobnost vazduha da dovede do evapotranspiracije, te je ujedno pogodnija za praćenje suše od PET. PET u mnogome zavisi od prirode podloge, koja se drastično menja u sušnim uslovima, dok IDEA se fokusira na vazduh iznad podloge i upravlja se kapacitetom i sposobnošću vazduha da iscrpi vodu iz podloge. IDEA sama po sebi neće odrediti koliko je vode iz kog izvora izvučeno zasebno, već govori o sumarnoj količini vode koja se izvlači iz osmatrane oblasti, te je stoga pogodna za razmatranje klimatskih uslova koji generišu sušu. Za dalja istraživanja predlaže se testiranje preciznosti IDEA metoda i njegove primene na praćenje mogućih posledica suše, kao što je stepen spuštanja nivo voda u vodnim resursima ili pak praćenje vrednosti IDEA koji indikuju određene posledice po poljoprivrednu proizvodnju.

Napredak u detektovanju sušnih događaja IDEA indeksa ukazuje i na značaj determinacije ulaznog parametra. Ulazni parametri moraju biti parametri od značaja za definisanje stanje suše. Kod SPEI možemo uočiti da prosti odnos, razmatran kroz statističku analizu nije dovoljno adekvatan za analizu i predviđanje suše. Uvideli smo da povećanjem broja parametara u malom broju, kao što je SPEI, generišemo grešku, dok uvođenjem većeg broja parametara, kao kod IDEA indeksa ulazimo u problem nedostatka adekvatnih vremenskih serija. Sa druge strane IDEA indeks ne zahteva duge vremenske serije za svoj proračun, te upotreba većeg broja u modernim osmatranjima lako dostupnih varijabli, ne bi trebalo da pretsavlja problem na globalnom nivou.

Definicija suše kao stanja atmosfere koje uzrokuje povećan izlaz iz Sistema, podudara se i sa osnovnom postavkom ideje o suši kao remećenju bilansne jednačine Sistema. Ockoljićeva metoda razmatranja cikličnosti vodnih i sušnih perioda, najbolje reprezentuje kompleksnost osmatranja suše, koja podrazumeva razmatranje uticaja deficita na mikro i makro nivou, gde jedan sušni događaj – makro nivoa može da sadrži vodne periode, no ti periodi nisu na makro nivou dovoljni za izlazak suše, iako na mikro nivou mogu odavati utisak oporavka Sistema. IDEA indeks objedinjuje gubitke kroz osmatranje medijuma koji najviše transportuje gubitke u okolinu, a to je atmosfera. Ujedno uvođenjem dodatnih parametara pored padavina i evapotranspiracije, dobija bolju simulaciju vremenskih uslova. Pritisak vazduha, temperatura i vlažnost su osnovni element ii pokretači atmosferskih procesa. Determinisanjem IDEA indeksa i primenom kreiranog MEPIS algoritma za procenu indikatora klimatološke suše dobili smo potvrdu da je sušu moguće fizički definisati kao pojavu i pristupiti joj kao takvoj. Pri čemu se njen intenzitet, početak i kraj mogu definisati preko kumulativnih vrednosti deficita u

osmatranom periodu, sa uslovom da početak osmatranog perioda beleži siguran surplus i da se Sistem može smatrati u ravnoteži. Usvajanjem ove pretpostavke umanjujemo greske aproksimacija i proračuna. **IDEA indeks pokazao je značajan napredak u indentifikovanju meteoroloških uslova koji pogoduju razvoju suše. Kao indeks suše koji se striktno bazira na simulaciji fizičkih procesa ukazuje na mogućnost definisanja fizičkih stanja atmosfere koji odgovaraju stanju suše i samim tim je korak ka uniformnoj fizičkoj definiciji suše na osnovu uslova koji je uzrokuju a ne na osnovu posledica.**

MEPIS u svojoj punoj formi bi dao dovoljno argumenata da se određeni indeksi koriste operativno i mogao bi opravdati neophodne investicije u tehničke i ljudske resurse.

7.1 Predlozi za dalja istraživanja

Nakon definisanja koji indeks najviše zadovoljava zadate kriterijume, pristupa se definisanju metode prognoze. Pokazalo se kroz preliminarna istraživanja da MEPIS logička sekvenca 5 predstavlja problematiku širokog spektra koja zahteva zasebno istraživanje. Prognoza i najava suše konvencionalno se vrši uz pomoć indikatora suše. Indikatori sami po sebi ne rade prognozu suše, već na osnovu tipa podataka koji se koriste rade istorijsku analizu (ako su u pitanju istorijski podaci) ili prognozu (ako su u pitanju podaci dobijeni iz prognostičkog modela). Homogenizacijom nizova moguće je redukovati grešku usled nedostajućih podataka. Prognoza preko prognostičkog modela uklanja grešku nedostajućih podataka ali uvodi grešku samog modela. Predviđanje budućih sušnih perioda je prvi korak za pronalaženje održivih institucionalnih i tehničkih rešenja pri upravljanju vodama i pri proceni rizika od suše kao hazarda. Suština dobrog predviđanja je sposobnost da se povežu prethodna merenja i distribucije sa trenutno osmotrenim podacima prikupljenim na mernim stanicama.

Analiza podataka može da se zasniva na dva pristupa: statističkom i numeričkom. Oba pristupa imaju svoje prednosti i mane. Statistički metodi zasnivaju se na obradi osmotrenih vremenskih nizova, i prognozi na osnovu uočenih korelacija i trendova između promenljivih. Prednosti ovakvog pristupa su što mogu biti generički i globalno promenjivi i ne zahtevaju „komplikovane“ fizičke modele. Međutim, ako pokušamo da povežemo više promenljivih, što je i slučaj u prirodi gde sve promenljive međusobno utiču jedne na druge, prognoza je tada veoma otežana ili praktično nemoguća za duže vremenske periode, čak i za jednu promenljivu iz razloga što u proračune nije moguće uvesti dovoljan broj promenljivih koje bi opisale klimatske promene i lokalne promene koje utiču na vremenska dešavanja. Uz pomoć funkcije verovatnoće i informacije o prethodnoj distribuciji, analiziraju se izmereni podaci i dobija se nova distribucija koja govori o ponašanju promenljive. Kod dobre prognoze nije samo reč o kopiranju istorijske distribucije na nove podatke već će analizom dobijena distribucija biti različita od prethodne ali će obuhvatiti istorijsko ponašanje i karakteristike. Usled nepobitnosti klimatskih promena pri prognozi mora da se uzme u obzir da je reč o nestacionarnim distribucijama. Na kraju premise dobre statističke prognoze jesu kvalitetne vremenske serije bez nedostajućih podataka. Istraživanje je ukazalo na veliki problem kontinualnosti i rasprostranjenosti merenja na nivou Vojvodine, no ništa manji problem iste prirode se može detektovati globalno. Kako je priroda suše stohastička, statistička analiza fenomena je atraktivan pristup za planiranje i upravljanje vodnim resursima. S druge strane, usled stohastičke prirode suše, praktično je nemoguće sprovesti apsolutno tačnu prognozu. U praktičnim uslovima prihvata se pretpostavka da su stohastičke i teorije verovatnoće pravi alat za opisivanje karakteristika suše i evaluaciju njene neizvesnosti. Da bi se mogla primeniti statistička analiza pravi se još jedna

pretpostavka, da su sušne epizode nezavisne jedna od druge i imaju identičnu distribuciju. Ovakva pretpostavka u startu se sukobi sa fizičkom realnošću gde su intenzitet i ozbiljnost suše uslovljeni prethodnim pojavama, kao i uslovljenost distribucije suše njenom zavisnošću od klimatskih promena i drugih veoma promenljivih faktora. Iako su suše kao kompleksni procesi zavisne jedne od druge, iznesenu pretpostavku možemo primeniti na meteorološke promenljive i indikatore suše. Drugim rečima, ukoliko osmatramo samo padavine i od njih zavisne indikatore onda možemo zaključiti da su dva osmotrena događaja nezavisna. Isto tako pretpostavljamo da je u samoj prirodi padavina i od njih zavisnih indikatora uračunat uticaj promenljivih faktora klimatskih promena i drugi faktori. Drugi korak je usvajanje pragova na osnovu kojih imenujemo sušu, i određivanje intervala ponavljanja klimatološke suše određenog intenziteta ili većeg globalno, sve vreme pretpostavljajući da se radi o stohastičkom procesu. Korišćenjem indikatora suše unapred određujemo pragove rangiranja sušnih perioda, te samo ostaje utvrditi periodičnost i cikličnost kretanja zadatih indikatora. Kako se radi o vremenski zavisnim promenljivima nije moguće raditi klasičnu statističku analizu već je neophodno primeniti metode analize vremenskih serija. Analiza vremenskih serija podrazumeva pre svega analizu međusobno zavisnih opservacija jer se mora uzeti u obzir njihov vremenski poredak. Opravdanost za razmatranje niza vrednosti indikatora suše i padavina kao vremensku seriju leži u fizičkoj prirodi pojave, gde iako smo u prvoj pretpostavci isključili međusobnu zavisnost dva događaja, ovako uključujemo njihovu vremensku zavisnost koja nam je od značaja. Korišćenjem različitih modela analize vremenskih serija cilj je opisati sušu, po mogućnosti doći do objašnjenja kako i zašto je do nje došlo, zatim predvideti njeno kretanje u narednom periodu i na kraju, manipulacijom činioca koji uslovljavaju pojavu suše, istu držati pod kontrolom.

Vremenske serije možemo klasifikovati korišćenjem različitih kriterijuma. Za buduće istraživanje bitne karakteristike vremenskih serija su njihova neprekidnost, periodičnost, tip procesa (ciklični ili ne), sezonalitet (sezonske varijacije). Širina mogućnosti primene vremenskih serija leži u širini statističkih modela koji se na njih mogu primeniti. Statistički modeli u hidrologiji mogu biti modeli verovatnoće pojave hidroloških ekstrema i regresioni modeli veze između dve ili više promenljivih. Odabir odgovarajućeg modela zavisi od karakteristika vremenske serije.

Predviđanje pojave putem analize vremenskih serija započinje se izvođenjem prognoze koja ima minimalnu srednju kvadratnu grešku. Pri tome polazimo od opservacija vremenske serije $(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$. Cilj je prognozirati X_{n+h} , tj. buduće vrednosti vremenske serije za h vremenskih perioda unapred. Prirodan broj h naziva se dužina horizonta prognoziranja. Uslovljavajući buduću vrednost vremenske serije prošlim, raspoloživim opservacijama dolazimo do prognoze sa minimalnom srednjom kvadratnom greškom.

Jedno od polazišta istraživanja može biti da vremenske serije indeksa suše možemo predstaviti preko strukturnog modela vremenskih serija. Ova pretpostavka podrazumeva da je odabrana serija okarakterisana trendom (postoji dugoročno kretanje u seriji) i sezonom (sezonalitet ukazuje na periodične fluktuacije konstantne dužine unutar, a kraće od godine).

Strukturni modeli baziraju se na dekompoziciji vremenske serije. Komponentni ili strukturni modeli (Harvey 1990) pretpostavljaju određenu vrednost (model) za svaku komponentu zasebno i procenjuju dalje parametre metodom najveće verovatnoće. Međusobna veza izdvojenih komponenti može biti aditivna (opservacija vremenske serije jednaka je zbiru komponenti) ili multiplikativna (opservacija vremenske serije

jednaka je proizvodu komponenti). Druga polazišna osnova za primenu strukturnog modela može biti da vremenske serije indikatora suše spadaju u sezonske vremenske serije. U cilju izdvajanja sezonske komponente vremenske serije može se koristiti tradicionalni pristup upotrebe metode pokretnih preseka. Nakon utvrđivanja "osnovnog toka" vremenske serije neophodno je iz opservacija vremenske serije eliminisati jednostavnim postupkom oduzimanja kod aditivnog modela, odnosno podele kod multiplikovanog modela, dobijajući na taj način željenu sezonsku komponentu. Desezonizacija pretpostavlja da je sezonska komponenta nezavisna od ostalih ne sezonskih komponenti. Hipoteza za buduće istraživanje je da korišćenje statističkih metoda pri proračunu indeksa suše u mnogome onemogućava korišćenje indeksa u prognozi, jer se multiplikuje greška samog statističkog pristupa. Indeks suše bi trebalo da očuva što više moguće svoje fizičko značenje i da sam proračun reprezentuje fizički proces. U tom slučaju bi se mogle koristiti statističke metode prognoze. U suprotnom, svi indeksi mogu da se zasnivaju samo na numeričkoj prognozi osnovnih parametara od kojih su oni sami zavisi. Numerički metodi prognoze zasnivaju se na korišćenju fizičkih jednačina koje realno opisuju vezu između varijabli, dok se primenom velikog broja simulacija u modelu obezbeđuje probablistički pristup. No i numerički modeli imaju problem sa velikim brojem varijabli i haotičnim ponašanjem atmosfere, te otežanim predviđanjem dešavanja i kretanja unutar nje. Oba pristupa se još više komplikuju ukoliko se analiziraju složene varijable ili pokušaju povezati sfere (atmosfera, hidrosfera, litosfera i biosfera). Usled međusobne sprege između procesa koji indukuju sušu (padavine, temperatura, vetar, stanje rezervoara, stanje zemljišta, tip i vrsta biljnog pokrivača, zahtevi za vodom itd.) prognoza sama ne može da predvidi kretanje svakog od njih, možemo se samo ograničiti na definisanje fizičkih uslova koji sa sigurnošću indikuju sušu i pratiti njihovu pojavu.

Pri izradi disertacije izvršena su preliminarna istraživanja i eksperimenti i testirano je nekoliko metoda statističkog i numeričkog pristupa. Kako se prognoza suše zasniva se na prognozi parametara koji definišu sušu kao hazard analizirane su padavine kao najčešće korišćeni parametar iz dva razloga: direktno govore o ulaznom faktoru kod bilansne jednačine, imamo li priliva ili ne, za kraće vremenske intervale njihov deficit ukazuje na klimatološku sušu, a nedostatak na dužim vremenskim skalama ukazuje na hidrološku sušu. Padavine su pogodne još i zbog prirode svoje pojave. Dve uzastopne kiše nisu međusobno povezane i odnos između vrednosti padavina odnosi se na sezonsku karakteristiku istih. Pored razloga vezanih za fizičku prirodu padavina kao promenljive, u obzir je uzeta i tehnička karakteristika, odnosno mogućnost pronalaženja merenih podataka. Da bi se mogla izvršiti validacija i verifikacija modela neophodno je odrediti realne uslove i obraditi merene podatke koji bi dali sliku klimatske situacije odabranog područja. Validacija i verifikacija su postupci kojim ispituju koliko verno i precizno jedan model predstavlja realni sistem. One se konceptualno razlikuju ali se najčešće simultano sprovode, odnosno nalaze se u dinamičkoj povratnoj sprezi. Verifikacija se odnosi na proveru da li je simulacioni program (računarski kod, u ovom slučaju algoritam) bez grešaka i konzistentan sa modelom (konceptijom). Validacija se odnosi na proveru da li je model precizna reprezentacija realnog sistema.

Praktičan pristup procesu validacije se sastoji od tri faze:

1. faza: je određivanje modela koji verno predstavlja(ju) realni sistem. Za proveru validnosti oslanjamo se na analizu osetljivosti (testiranje na različite ulazne veličine)
2. faza: je potvrda pretpostavki modela, gde razlikujemo dve kategorije
 - a. pretpostavke o podacima (gde se testira pouzdanost podataka)

-
-
- b. pretpostavke o strukturi (gde proveravamo uvedena pojednostavljena i apstrakcije)
 3. faza: poređenje (validacija) ulazno – izlaznih transformacija modela i realnog sistema. Najobjektivniji test modela je provera sposobnosti modela da predvidi buduće ponašanje realnog sistema

U svakom momentu rada neophodno je zadržati pravu suštinu modela, u našem slučaju indeksa, a to je da oni predstavljaju uprošćenu reprezentaciju realnog procesa, u ovom slučaju, suše. Prilagođavanje istorijskih podataka može često dovesti do nastanka jednostavnog prognostičkog modela. Za setove meteoroloških podataka, koji se između ostalog koriste i u prognozi suše, najjednostavniji prognostički modeli mogu biti zasnovani na matematičkim transformacijama ili kalendarskim prilagođavanjima. Ukoliko podaci variraju, pri čemu se varijacije dešavaju na nivou cele serije, u tom slučaju matematička transformacija može biti od koristi. To bi u slučaju promenljive y_t koja predstavlja originalnu obzervaciju (merenje), značilo da delovanjem funkcije na nju možemo dobiti promenljivu w_t koja je transformisana promenljiva. Dalji proces prognoze obavlja se sa transformisanom promenljivom. Indeksi suše predstavljaju model matematičke transformacije. No nije svaka transformacije podobna za prognozu niti prognostička. **Iz tog razloga predlaže se testiranje sposobnosti transformisane veličine (indikatora suše) da adekvatno predstavi buduća kretanja i standardizovanje metode ocene metodologije prognoze vremenskih serija indikatora suše.**

8. Literatura

- Abramowitz, M. & Stegun, I. A. (1964).** Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs and Mathematical Tables. Washington D.C.: United States Department of Commerce, National Bureau of Standards Applied Mathematics Series 55.
- Aguilar E., Auer I., Brunet M., Peterson, T. C. and Wieringa J. (2003).** Guidelines on Climate Metadata and Homogenization, Geneva, Switzerland, WMO/TD No. 1186.
- Aguilar, E., et al. (2005),** Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961–2003, *J. Geophys. Res.*, 110, D23107
- Agwata, J.F. (2014).** A Review of Some Indices used for Drought Studies. *Civil and Environmental Research*, 6(2), 15-21.
- Alexandersson, H. (1986).** A homogeneity test applied to precipitation data. *Journal of Climate* 6: 661–675.
- Allen, R. G. (1997).** Self-calibrating method for estimating solar radiation from air temperature. *J. Hydrologic Eng.*, 2(2), 56–67.
- Allen, R. G., and Pruitt, W. O. (1986).** Rational use of the FAO Blaney-Criddle formula. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 112(2), 39–155.
- Allen, R. G., and Pruitt, W. O. (1988).** Rational Use of the FAO Blaney-Criddle Formula, Closure, *J. Irrig. and Drain. Engrg.*, ASCE, 114(3), 375-380"
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. & Smith, M. (1998).** Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements, Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Alley, W. M. (1984):** The Palmer Drought Severity Index: Limitations and assumptions. *J. Climate Appl. Meteor.*, 23, 1100–1109.
- Anderson, J. & Lucas, K. (2006).** Agriculture Investment Sourcebook Module 11: Managing Agricultural Risk, Vulnerability: The World Bank.
- Andrews, D. G. (2010).** In: *An Introduction to Atmospheric Physics*, second edition. New York: Cambridge University Press, 237 pp.
- Anyamba, A. C., Tucker, C. J., and Eastman, J. R. (2001).** NDVI anomaly patterns over Africa during the 1997/98 ENSO warm event. *International Journal of Remote Sensing*, 22 (10): 1847–1859.
- Bayarjargal, Y., Karnieli, A., Bayasgalan, M., Khudulmur, S., Gandush, C. and Tucker, C. J. (2006).** A comparative study of NOAA-AVHRR derived drought indices using change vector analysis. *Remote Sensing of Environment* 105, 9 –22.
- Berengena, J. and Gavilan . P. (2005).** Reference Evapotranspiration Estimation in a Highly Adveective Semiarid Environment. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 131(2), 147-163.
- Beyazgul, M., Kayam, Y., and Engelsman, F. (2000)** Estimation methods for crop water requirements in the Gediz Basin of western Turkey, *Journal of Hydrology*, 229 (1-2), 19-26.
- Bhalme, H. N., and D. A. Mooley (1980).** Large-scale drought/floods and monsoon circulation. *Mon. Wea. Rev.*, 108, 1197–1211.
- Brown, J. H., and A. Kodric-Brown. (1977).** Turnover rates in insular biogeography: effect of immigration on extinction. *Ecology* 58:445–449.
- Brown, A. and Matlock, M. D., (2011).** A Review of Water Scarcity Indices and Methodologies. White Paper No. 106. Sustainability Consortium.
- Bryant, S., Arnell, N.W., and Law, F.M. (1992).** The long-term context for the current hydrological drought. Institute of Water and Environmental Management (IWEM)

Conference on the management of scarce water resources. 13–14 October 1992. white paper#106

Buishand, T.A., (1982). Some methods for testing the homogeneity of rainfall records. *J. Hydrol.*, 58: 11--27.

Burke, E.J., S.J. Brown, and N. Christidis, (2006). Modelling the recent evolution of global drought and projections for the 21 st century with the Hadley Centre climate model. *J. Hydrometeorol.*, 7, 1113–1125.

Byun, H. R. & Kim, D. W., (2010). Comparing the Effective Drought Index and the Standardized Precipitation Index. In: *Economics of drought and drought preparedness in a climate change context*. Zaragoza: CIHEAM/FAO/ICARDA/GDAR/CEIGRAM/MARM, pp. 85-89.

Byun, H.-R. & Lee, D.-K., (2002). Defining Three Rainy Seasons and the Hydrological Summer Monsoon in Korea using Available Water Resources Index. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, Volume 80 No.1 pp. 33-44.

Byun, H.R., and Wilhite, D.A. (1999). Objective quantification of drought severity and duration. *J. Clim.* 12 (9): 2747–2756.

doi:10.1175/1520-0442(1999)012<2747:OQODSA>2.0.CO;2.

Cancelliere, A., Di Mauro, G., Bonaccorso, B. & Rossi, G., (2007). Drought Forecasting using the Standardized Precipitation Index. *Water Resorces Management*, Volume 21, pp. 801-819.

Dave, P. H. & Dave, H. B., (2008). *Computation Models and Design by Refinement*. In: *Design and Analysis of Algorithms*. Delhi: Dorling Kindersley (India) Pvt. Ltd..

Dikbas, F., Firat, M., Koc, A.C. and Gungor, M., (2010). Homogeneity Test for Turkish Temperature Series, BALWOIS 2010, Ohrid, Republic of Macedonia.

Droogers, P., and Allen, R. G. (2002). Estimating reference evapotranspiration under inaccurate data conditions. *Irrig. Drain. Syst.* 16, 33-45

Eshghabad, S.M., Omidivar, E. and Solaimani K. (2014). Efficiency of Some Meteorological Drought Indices in Different Time Scales (Case Study: Tajan Basin, Iran). *Ecopersia*, 2014, 2 (1), 441-453 .

Fuchs, B. (2012) Drought Indices and Indicators in use around the World. Caribbean Drought Workshop. National Drought Mittigation Center.

Gavilan, P., Lorite, I. J., Tornero, S. and Berengena, J. (2006). Regional calibration of Hargreaves equation for estimating reference ET in a semiarid environment, *Agricultural Water Management*, 81, 257-281.

Gavilan, P., Berengena, J., and Allen, R.G. (2007). Measuring versus estimating net radiation and soil heat flux: Impact on Penman-Monteith reference ET estimates in semiarid regions." *Agricultural Water Management*, 89, 275-286.

Gibbs, W. and Maher, J. (1967). Rainfall deciles as drought indicators. *Bur. Meteorol. Bull.* 48, 117.

Gosling, R.D., Zaidman, M., Wann, M. and Rodgers, P.J. (2012). How low can you go? Using drought indices to protect environmental flows in Scottish rivers. BHS Eleventh National Symposium, Hydrology for a changing world, Dundee 2012. doi:10.7558/bhs.2012.ns23

Gocic, M., Trajkovic, S. (2014), Drought characterisation based on Water Surplus Variability Index, *Water Resources Management* 28(10), 3179-3191. DOI: 10.1007/s11269-014-0665-4

Gutman, G. (1990). Review of the workshop on the ""Use of satellite-derived vegetation indices on weather and climate prediction models,"" *Bull. Am. Met. Soc.* 71 (10), 1458-1463."

-
- Guttman, N.B. (1998).** Comparing the Palmer drought index and the standardized precipitation index, *Journal of American Water Resources Association* 34 (1998), pp. 113–121.
- Hanssen-Bauer, I., Førland, E. and Nordli, P. Ø. (1991).** Homogeneity Test of Precipitation Data, Descriptions of the Methods used at DNMI, DNMI Report 13/91 KLIMA, Norwegian Meteorological Institute, 28 pp.
- Hao, Z. and AghaKouchak A. (2013).** Multivariate Standardized Drought Index: Aparametric multi-index model. *Advances in Water Resources* 57(2013)12–18.
- Hargreaves, G. H. (1975).** Moisture availability and crop production. *Trans. ASAE*, 18(5), 980–984.
- Hargreaves, G. H. (1988).** Discussion of Rational Use of the FAO Blaney-Criddle Formula” by Allen and Pruitt, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 114(3), 373-375.
- Hargreaves, G. H. (1989).** Accuracy of Estimated Reference Crop Evapotranspiration, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 115(6), 1000-1007.
- Hargreaves, G. H. (1993).** Minimum climatic data for irrigation and drainage planning and design, *Proc. XV Congress ICID*, Q. 44, R. 14, 157-167, The Hague, The Netherlands.
- Hargreaves, G. H. (1994)** Defining and Using Reference Evapotranspiration, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 120(6), 1132-1139.
- Hargreaves, G. H. and Allen, R. G. (2003).** History and Evaluation of Hargreaves Evapotranspiration Equation. *J. Irrig. Drain Eng.*, 2003, 129(1): 53-63.
- Harvey, A. (1990)** The econometric analyses of time series (2nd ed.). Cambridge. MIT Press.
- Hayes M (2003).** Drought Indexes. National Drought Mitigation Center, University of Nebraska–Lincoln, (available from University of Nebraska–Lincoln, 239 LW Chase Hall, Lincoln, NE 68583).
- Hawkins PM. (1977).** Testing a sequence of observations for a shift in location. *Journal of American Statistical Association* 72: 180–186.
- Heim, R.R. (2002).** A review of twentieth-century drought indices used in the United States. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 83 (8): 1149–1165.
- Hollinger, S. E., S. A. Isard, and M. R. Welford (1993).** A new soil moisture drought index for predicting crop yields. Preprints, Eighth Conf. on Applied Climatology, Anaheim, CA, Amer. Meteor. Soc., 187–190.
- Hrelja, H., (2007).** Inženjerska hidrologija. Sarajevo: Univerzitet u Sarajevu - Građevinski fakultet.
- Hussein, A.S.A. (1999).** Grass ET Estimates Using Penman-Type Equations in Central Sudan, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 125(6), 324-329.
- Institute of Hydrology (1980).** Low flow studies, Wallingford, UK, Institute of Hydrology, Research Report 1.
- IPCC SRES, (2000).** Section 1.5: Why New IPCC Emissions Scenarios?. In: Special Report on Emissions Scenarios: A special report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- IPCC Working Group III, (2000).** Emissions Scenarios - Summary for Policymakers. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), (2013).** Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.: Cambridge University Press.

-
- Jain, V.K., Pandey, R.P., Jain, M.K: and Byun, H. (2015).** Comparison of drought indices for appraisal of drought characteristics in the Ken River Basin. *Weather and Climate Extremes* 8 ,1–11.
- Jensen, M. E. (1966).** Discussion of 'Irrigation water requirements of lawns.' *J. Irrig. Drain. Div.*, 92, 95–100.
- Jensen, D. T., Hargreaves, G. H., Temesgen, B., and Allen, R. G. (1997).** Computation of ETo under non-ideal conditions. *J. Irrig. Drain.Div.*, 123(5), 394–400.
- Jensen, M. E., Burman, R. D., and Allen, R. G. (1990).** Evapotranspiration and irrigation water requirements. *ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice*, No 70, 360.
- Jovanović, S. (1974).** Parametarska hidrologija: predavanja održana na seminarima o obradi hidroloških podataka. Beograd, Jugoslovensko društvo za hidrologiju.
- Khaliq, M.N. and Ouarda, T.B.M.J. (2007).** Short Communication – On the critical values of the standard normal homogeneity test (SNHT). *International Journal of Climatology* 27, 681-687.
- Kang, K.A., Byun, H.R. (2004).** On the developing processes of the climatological drought over the East Asia in 1982. *Journal of Korean Meteorological Society* 40, 467–483.
- Karamouz, M., Torabi, S., Araghi-Nejad, Sh., and D. Asgharzadeh (2002).** Analysis of droughts: application to isfahan region in Iran, Proc. 2002 EWRI Conference on Water Resources Planning and Management, Roanoke, VA.
- Katz, R.W. and Glantz, M.H. (1984).** Anatomy of a rainfall index. *Mon.Wea.Rev.*, 117(764-771).
- Keiser, D.T. and Grieffiths, J.F. (1997).** Problems Associated with Homogeneity Testing in Climate Variation Studies: A Case Study of Temperature in the Northern Great Plains, USA. *International Journal of Climatology*, 17: pp. 497-510.
- Kendall, M. (1938).** A New Measure of Rank Correlation. *Biometrika* 30 (1–2): 81–89.
- Keyantash, J.A., and Dracup, J.A. (2004).** An aggregate drought index: Assessing drought severity based on fluctuations in the hydrologic cycle and surface water storage. *Water Resour. Res.* 40 (9): W09304. doi:10.1029/2003WR002610.
- Khoob, A. R. (2009).** Artificial neural network estimation of reference evapotranspiration from pan evaporation in a semi-arid environment." *Irrigation Science*, 27 (1):35-39.
- Kim, Y.W., Byun, H.R., (2006).** On the causes of summer droughts in Korea and their return to normal. *Journal of Korean Meteorological Society* 42, 237–251.
- Kogan, F.N. (1990).** Remote sensing of weather impacts on vegetation in non-homogeneous areas. *Int. J. Remote Sens.* 11 (8): 1405–1419. doi:10.1080/01431169008955102.
- Kogan, F.N. (1995).** Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. *Adv. Space Res.* 15 (11): 91–100. doi:10.1016/0273-1177(95)00079-T.
- Kogan, F.N. (1997).** Global Drought Watch From Space. - *Bull. Am. Met. Soc.*, 78, 621-636.
- Kogan, F.N. (2000).** Contribution of remote sensing to drought early warning. In *Early Warning Systems for Drought Preparedness and Drought Management, Proceedings of an expert group meeting held on Warning Systems for Drought Preparedness and Drought Management*. Edited by D.A. Wilhite, M.V.K. Sivakumar, and D.A. Wood. Lisbon, Portugal. pp. 75–87.

-
- Landeras, G., Ortiz-Barredo, A., and López, J.J. (2008).** Comparison of artificial neural network models and empirical and semi-empirical equations for daily reference evapotranspiration estimation in the Basque Country (Northern Spain), *Agricultural Water Management*, 95 (5), 553-565."
- Lazić L. and Pavić, D. (2003).** *Klima Banata*. Novi Sad. Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departma za geografiju, turizam i hotelijerstvo.
- Lecina, S., Martinez-Cob, A., Perez, P. J., Villalobos, F. J., and Baselga, J. J. (2003).** Fixed versus variable bulk canopy resistance for reference evapotranspiration estimation using the Penman-Monteith equation under semiarid conditions, *Agricultural Water Management*, 60 (3), 181-198.
- Linsley, R., Kohler, M. A. and Paulhus, J. H., (1940).** *Applied Hydrology*. New York: Mc Graw-Hill.
- Lopez-Urrea, R., de Santa Olalla, F. M., Fabeiro, C., and Moratalla, A. (2006a).** Testing evapotranspiration equations using lysimeter observations in a semiarid climate, *Agricultural Water Management* 85(1), 15-26.
- Lopez-Urrea, R., de Santa Olalla, F. M., Fabeiro, C., and Moratalla, A. (2006b).** An evaluation of two hourly reference evapotranspiration equations for semiarid conditions, *Agricultural Water Management*, 86 (3), 277-282.
- Maracchi, G. (2000).** Agricultural drought – a practical approach to definition, assessment, and mitigation strategies. In: J. Vogt & F. Somma, eds. *Drought and Drought Mitigation in Europe*. Kluwer Academic Publishers, pp. 63-75.
- Marletto, Zinoni F, Criscuolo L, Fontana G, Marchesi S, Morgillo A, Van Soetendael M.R.M, Ceotto E, Anderson U. (2005)** Evaluation of downscaled DEMETER multi-model ensemble seasonal hindcasts in Northern Italy by means of a model of wheat growth and soil water balance. *Tellus A*. 2005;57:488–497. doi:10.1111/j.1600-0870.2005.00109.x
- Martinez-Cob, A. and Tejero-Juste, M. (2004).** A wind-based qualitative calibration of the Hargreaves ETo estimation equation in semiarid regions, *Agricultural Water Management*, 64, 251-264.
- Mavromatis, T. (2007).** Drought index evaluation for assessing future wheat production in Greece. *Int. J. Climatol.* 27, 911–924.
- McDonald, J.H. (2014).** *Handbook of Biological Statistics*, 3rd ed. Sparky House Publishing, Baltimore, Maryland.
- McKee, T.B., Doesken, N.J., and Kleist, J. (1993).** The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, Anaheim, Calif. 17–22 January 1993. American Meteorological Society. 6pp.
- Meyer, S.J., and Hubbard, K.G. (1995).** Extending the crop-specific drought index to soybean. Preprints, Ninth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Dallas, TX. pp.258–259.
- Meyer, S.J., Hubbard, K.G., and Wilhite, D.A. (1993).** A crop-specific drought index for corn. I: Model development and validation. *Agron. J.* 85 (2): 388–395.
- Mishra, A. K. & Singh, V. P., (2010).** A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, Volume 391, pp. 202-216.
- Mishra, A.K. and Singh, V.P. (2011).** Drought modeling: a review. *J. Hzdrol* 403(1-2):157-175.
- Morid, S., Smakhtin, V. & Bagherzadeh, K., (2007).** Drought forecasting using artificial neural networks and time series of drought indices. *International Journal of Climatology*, Volume 27, pp. 2103-2111.

-
- Nauman, G., Dutra, E., Barbosa, P., Pappenberger, F., Wetterhall, F. and Vogt, J.V. (2014).** Comparison of drought indicators derived from multiple data sets over Africa. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 18, 1625–1640. doi:10.5194/hess-18-1625-2014
- Niemeyer, S., (2008).** New drought indices. Zaragoza, CIHEAM-IAMZ, pp. 267-274.
- Nouri A.Z., Farsani, I.F., Faryaneh, M.R. (2015).** Assesment on Multi-index agricultural drought vulnerability and spatial characteristics analyses. *IJBPAS*, December, 2015, 4(12), Special Issue: 440-452
- Ocokoljić, M. (1994).** Cikličnost sušnih i vodnih perioda u Srbiji. Srpska akademija nauka i umetnosti Beograd, geografski institut "Jovan Cvijić", posebna izdanja, knjiga 41.
- Ortega-Farias, S. O., Barrias-Sanzana, R. and Cuenca, R. H. (1998a)** Reference evapotranspiration by using the residual energy balance method, *Proc. of Water Resources Engineering, ASCE*, 1812-1817.
- Ortega-Farias, S. O., and Cuenca, R. H. (1998b)** Estimation of crop evapotranspiration by using the Penman-Monteith method with a variable canopy resistance, *Proc. Of Water Resources Engineering, ASCE*, 1806-1811.
- Pálfai, I. (1991).** Az 1990 évi aszály Magyarországon. *Vízügyi Közlemények*, 2: 117–132.
- Palmer, W.C. (1965).** Meteorological drought. Weather Bureau Research Paper No. 45, US Department of Commerce, Washington, DC. 58 pp.
- Palmer, W.C. (1968).** Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: The new crop moisture index. *Weatherwise*, 21 (4): 156–161.
- Paunović, R., (2010).** 7. Modelovanje sušenja vazduhom. In: *Matematičko modelovanje u prehrabenom inženjerstvu*. Novi Sad: Tehnološki fakultet u Novom Sadu.
- Pavlov, A. V. (1979).** *Teplofizikala ndshafto(Thermophysioc of L andscapes)*. Nauka, Moscow, 285 pp.
- Pavlović, A., Ćosić, Đ., Popov, S. and Kolaković, S. (2012).** Indikatori praćenja hazardnih pojava poplave i suše u cilju poboljšanja planiranja melioracija. *Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Novom Sadu. Tematski zbornik radova "Melioracije 07 - stanje i perspektive"*, 136-146.
- Pavlović, A., (2009).** Trendovi promene izabranih klimatoloških i hidroloških parametara u Vojvodini. Novi Sad: Authors reprint - University library.
- Peters, A., Walter-Shea, E., Ji, L., Vina, A., Hayes, M.J., and Svoboda, M.D. (2002).** Drought monitoring with NDVI-based standardized vegetation index. *Photogramm. Eng. Remote Sensing*, 68 (1): 71–75.
- Pettit, A.N., (1979).** A non-parametric approach to the change point problem. *Journal of the Royal Statistical Society Series C, Applied Statistics* 28, 126-135.
- Pidwirny, M., (2006).** *Physical Behavior of the Atmosphere and the Gas Laws*. In: *Fundamentals of Physical Geography*, 2nd Edition.
- Popović, Č. B. and Blagojević B. (1999).** *Mathematical Statistics with Applications in Hydrotechnique (in Serbian)*, University of Niš, Niš, pp. 275.
- Potić, O. and Trajković, S. (2007).** Analiza mogućnosti navodnjavanja korišćenjem vode iz akumulacije "Zavoj", *Vodoprivreda*, 39 (229-230), 391-396.
- Rao, R. A. & Voeller, T. L., (1997).** Development and Testing of Drought Indicators. *Water Resources Management* 11, pp. 119-136.
- Rendall, D., (2013).** Chapter 1. Introduction. In: *An Introduction to Atmospheric Modeling*. Department of Atmospheric Science Colorado State University
- Roeckner, E. et al., (2003).** Report No.349 The Atmospheric General Circulation Model ECHAM5 Part I - Model description, Bundesstrasse 55 D - 20146 Hamburg Germany: Max-Planck-Institut für Meteorologie.

-
- Ruman, A., (2009).** The impact of nesting method on weather prediction. Orfu-Pecs Hungary: Meteorological notes.
- Sakan, M., (2006).** Metodologija vojnih nauka. Beograd: Vojnoizdavački zavod.
- Sam Lake, P., (2011).** Drought and Aquatic Ecosystems: Effects and Responses. 1st ed. Oxford: Blackwell.
- Sandholt, I., Rasmussen, K. and Andersen, J. (2002).** A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status. In: Remote Sensing of Environment, 79 (2-3), p. 213-224.
- Seager, R., Neelin, D., Simpson, I., Liu, H., Henderson, N., Shaw, T., Kushnir, Y., Ting, M. and Cook, B. (2014).** Dynamical and thermodynamical causes of large-scale changes in the hydrological cycle over North America in response to global warming. J. Climate, 27, no. 20, 7921-7948, doi:10.1175/JCLI-D-14-00153.1.
- Shafer, B., and Dezman, L. (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, pp. 164-175.
- Shaw, E.M. (1994).** Hydrology in Practice. Chapman & Hall, 2-6 Boundary Row, London SE1 8HN, UK.
- Simmons, A., Burridge, D.M., Jarraud, M., Girard, C. and Wergen, W. (1989).** The ECMWF medium-range prediction models: development of the numerical formulations and the impact of increased resolution. Meteorol. Atmos. Phys, Volume 40, pp. 28-60.
- Smakhtin, V.U. and Hughes, D.A. (2004).** Review, Automated Estimation and Analyses of Drought Indices in South Asia. Working Paper 83, International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka.
- Smith, M. et al., (1992).** Report on the expert consultation on procedures for revision of FAO guidelines for prediction of crop water requirements, Rome, Italy: Land and Water Development Division, United Nations Food and Agriculture Service.
- Stahl, K. (2001).** Hydrological drought-a study across Europe. Universitätsbibliothek Freiburg.
- Steduto, P., Hsiao, T. C., Raes, D. & Fereres, E., (2009).** AquaCrop - The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: I. Concepts and Underlying Principles. Volume 101, pp. 426-437.
- Steinemann, A.C. (2003).** Drought indicators and triggers: a stochastic approach to evaluation. J. Am. Water Resour. Assoc. 39 (5): 1217-1233. doi:10.1111/j.1752-1688.2003.tb03704.x.
- Tallaksen, L. M. and van Lanen, H. A. J., (2004).** Hydrological Drought: Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater. Gulf Professional Publishing.
- Tate, E. and Gustard, A., (2000).** Drought definition: A hydrological perspective. s.l.: Drought and Drought Mitigation in Europe. Advances in Natural and Technological Hazards Research.
- Taylor, S. A. and Ashcroft, G. M. (1972).** Physical Edaphology. The Physics of irrigated and non-irrigated soils. Freeman, San Francisco, CA, 563 pp.
- Thom, H., 1966.** Some methods of Climatological Analyses. WMO Technical Note, Issue 16-22.
- Thornthwaite, C.W. (1948).** An approach toward a rational classification of climate. Geog. Rev. 38 (1): 55-94.
- Tigkas, D., Vangelis, H., Tsakiris, G., (2015).** DrinC: a software for drought analysis based on drought indices. Earth Science Informatics, 8(3):697-709, doi: 10.1007/s12145-014-0178-y

-
- Todorovic, M. (1999).** Single-Layer Evapotranspiration Model with Variable Canopy Resistance, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 125(5), 235-245.
- Toumenvirta, H., Alexandersson, H., (1997).** Review on the methodology of the Standard Normal Homogeneity Test (SNHT), *Proceedings of the First Seminar for Homogenization of Surface Climatological Data*, Budapest, Hungary, 6-12 October 1996, 35-45.
- Trajkovic, S. and Kolakovic, S. (2009a).** Wind-adjusted Turc equation for estimating reference evapotranspiration, *Hydrology Research*, 40(1), 45-52.
- Trajkovic, S. and Kolakovic, S. (2009b).** Estimating Reference Evapotranspiration Using Limited Weather Data, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 135(4), doi: 10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000094
- Trajkovic, S. and Kolakovic, S. (2009c).** Evaluation of Reference Evapotranspiration Equations under Humid Conditions, *Water Resources Management*, doi: 10.1007/s11269-009-9423-4
- Trajkovic, S., and Stojnic, V. (2008).** Simple daily ET₀ estimation techniques, *Facta Universitatis, Series: Architecture and Civil Engineering*, 6(2), 187-192.
- Trajkovic, S. (2002).** Estimation of Reference Evapotranspiration in Humid Regions, 2nd International workshop on Research on Irrigation and Drainage, Macedonian national ICID committee on irrigation and drainage, 95-100, Skopje, Macedonia, March 19.
- Trajković, S., (2007a).** Hargreaves versus Penman-Monteith under Humid Conditions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Volume 133(1), pp. 38-42.
- Trajković, S., (2007b).** Jednostavna empirijska formula za proračun referentne evapotranspiracije, *Vodoprivreda* 39(229-230), 397-400.
- Trajković, S., (2009).** Metode proračuna potreba za vodom u navodnjavanju. Niš: Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu.
- Tsakiris, G., Loukas, A., Pangalou, D., Vangelis, H., Tigkas, D., Rossi, G., and Cancelliere, A. (2007).** Drought characterization. Chapter 7. *Options Méditerranéennes*, 58: 85–102.
- Tucker, C. J. and Choudhury, B.J. (1987).** Satellite remote sensing of drought conditions. *Remote sensing of Environment*, 23:pp. 243-251.
- Tucker, C. J. (1979).** Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sens. Environ.* 8(2): 127–150.
- Udovičić M., Baždarić K., Bilić-Zulle L. i Petrovečki M.,Z (2007).** Što treba znati kada izračunavamo koeficijent korelacije? *Biochemia Medica* 2007;17(1):10-5.
- Valent, J., (2001).** Sušenje u procesnoj industriji. Beograd: Tehnološko metalurški fakultet.
- Van-Rooy, M.P. (1965).** A rainfall anomaly index (RAI) independent of time and space. *Notos*, 14: 43–48.
- Vanderlinden, K., Giraldez, J. V. and Van Meirvenne, M. (2004)** Assessing Reference Evapotranspiration by the Hargreaves Method in Southern Spain, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 130(3), 184-191.
- Ventura, F., Spano, D., Duce, P. and Snyder, R. L. (1999).** An evaluation of common evapotranspiration equations, *Irrigation Science*, 18, 163-170.
- Vicente-Serrano S.M., Santiago Beguería, Juan I. López-Moreno, (2010)** A Multi-scalar drought index sensitive to global warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index – SPEI. *Journal of Climate* 23: 1696-1718.

-
- Wan, Z., Wang, P. and Li, X. (2004).** Using MODIS land surface temperature and normalized difference vegetation index products for monitoring drought in the southern Great Plains, USA. *Int. J. Remote Sens.* 25(1): 61–72.
- Ward, A. D. and Trimble, S., (2004).** Environmental hydrology. 2nd ed.:CRC Press LLC.
- Weghorst, K. (1996).** The reclamation drought index: guidelines and practical applications. cedb.asce.org, ASCE, Denver, Colo.
- Wells, N., Goddard, S., and Hayes, M.J. (2004).** A Self-Calibrating Palmer Drought Severity Index. *J. Clim.* 17 (12): 2335–2351.
doi:10.1175/1520-0442(2004)017<2335:ASPDSI>2.0.CO;2.
- Wendling, I. and Müller, J. (1984)** Entwicklung eines Verfahrens zur rechnerischen Abschätzung der Verdunstung im Winter (Treatise of a method for numerical estimation of the evapotranspiration in winter)
- Wijngaard, J. B., Klein Tank, A. M. G. and Können, G. P. (2003).** Homogeneity of 20th century European daily temperature and precipitation series. *Int. J. Climatol.*, 23: 679–692.
- Wilhite, D.A., and Glantz, M. (1985).** Understandingg the drought phenomenon: the role of definitions. *Water Int.* 10 (3): 111–120. doi:10.1080/02508068508686328.
- World Meteorological Organization, (2012).** Standardized Precipitation Index - User Guide WMO-No. 1090. Geneva: World Meteorological Organization (WMO) .
- Yevjevich, V. 1967.** An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts. Colorado State University, Fort Collins, Colo..
- Zargar A., Sadiq R., Naser B. and Khan F.I. (2011).** A review of drought indices. *Environ.Rev.* 19:333-349.
- Zelenhasić, E. and Ruski, M., (1991).** Inženjerska hidrologija. Beograd: Naučna knjiga.
- Zotarelli, L., Dukes, M.D., Romero, C.C., Migliaccio, K.W. and Morgan, K.T. (2009).** Step by step calculation of the Penman-Monteith Evapotranspiration (FAO-56 Method). Institute of Food and Agricultural Science, University of Florida.

9. Prilog 1 – Makro ciklusi

Tabela A.1 Deklarisonost meseca kao sušnog – osenčena površina, odnosno vlažnog unutar makro hidrološkog ciklusa

MAKRO CIKLUSI (osenčeni –sušni meseci)															
	NS	SO	PL	KI	VŠ	ZR	SM		NS	SO	PL	KI	VŠ	ZR	SM
Jan-51								Jan-82							
Feb-51								Feb-82							
Mar-51								Mar-82							
Apr-51								Apr-82							
May-51								May-82							
Jun-51								Jun-82							
Jul-51								Jul-82							
Aug-51								Aug-82							
Sep-51								Sep-82							
Oct-51								Oct-82							
Nov-51								Nov-82							
Dec-51								Dec-82							
Jan-52								Jan-83							
Feb-52								Feb-83							
Mar-52								Mar-83							
Apr-52								Apr-83							
May-52								May-83							
Jun-52								Jun-83							
Jul-52								Jul-83							
Aug-52								Aug-83							
Sep-52								Sep-83							
Oct-52								Oct-83							
Nov-52								Nov-83							
Dec-52								Dec-83							
Jan-53								Jan-84							
Feb-53								Feb-84							
Mar-53								Mar-84							
Apr-53								Apr-84							
May-53								May-84							
Jun-53								Jun-84							
Jul-53								Jul-84							
Aug-53								Aug-84							
Sep-53								Sep-84							
Oct-53								Oct-84							
Nov-53								Nov-84							
Dec-53								Dec-84							
Jan-54								Jan-85							
Feb-54								Feb-85							
Mar-54								Mar-85							

Apr-54								Apr-85							
May-54								May-85							
Jun-54								Jun-85							
Jul-54								Jul-85							
Aug-54								Aug-85							
Sep-54								Sep-85							
Oct-54								Oct-85							
Nov-54								Nov-85							
Dec-54								Dec-85							
Jan-55								Jan-86							
Feb-55								Feb-86							
Mar-55								Mar-86							
Apr-55								Apr-86							
May-55								May-86							
Jun-55								Jun-86							
Jul-55								Jul-86							
Aug-55								Aug-86							
Sep-55								Sep-86							
Oct-55								Oct-86							
Nov-55								Nov-86							
Dec-55								Dec-86							
Jan-56								Jan-87							
Feb-56								Feb-87							
Mar-56								Mar-87							
Apr-56								Apr-87							
May-56								May-87							
Jun-56								Jun-87							
Jul-56								Jul-87							
Aug-56								Aug-87							
Sep-56								Sep-87							
Oct-56								Oct-87							
Nov-56								Nov-87							
Dec-56								Dec-87							
Jan-57								Jan-88							
Feb-57								Feb-88							
Mar-57								Mar-88							
Apr-57								Apr-88							
May-57								May-88							
Jun-57								Jun-88							
Jul-57								Jul-88							
Aug-57								Aug-88							
Sep-57								Sep-88							
Oct-57								Oct-88							
Nov-57								Nov-88							
Dec-57								Dec-88							

Jan-58								Jan-89							
Feb-58								Feb-89							
Mar-58								Mar-89							
Apr-58								Apr-89							
May-58								May-89							
Jun-58								Jun-89							
Jul-58								Jul-89							
Aug-58								Aug-89							
Sep-58								Sep-89							
Oct-58								Oct-89							
Nov-58								Nov-89							
Dec-58								Dec-89							
Jan-59								Jan-90							
Feb-59								Feb-90							
Mar-59								Mar-90							
Apr-59								Apr-90							
May-59								May-90							
Jun-59								Jun-90							
Jul-59								Jul-90							
Aug-59								Aug-90							
Sep-59								Sep-90							
Oct-59								Oct-90							
Nov-59								Nov-90							
Dec-59								Dec-90							
Jan-60								Jan-91							
Feb-60								Feb-91							
Mar-60								Mar-91							
Apr-60								Apr-91							
May-60								May-91							
Jun-60								Jun-91							
Jul-60								Jul-91							
Aug-60								Aug-91							
Sep-60								Sep-91							
Oct-60								Oct-91							
Nov-60								Nov-91							
Dec-60								Dec-91							
Jan-61								Jan-92							
Feb-61								Feb-92							
Mar-61								Mar-92							
Apr-61								Apr-92							
May-61								May-92							
Jun-61								Jun-92							
Jul-61								Jul-92							
Aug-61								Aug-92							
Sep-61								Sep-92							

Oct-61								Oct-92							
Nov-61								Nov-92							
Dec-61								Dec-92							
Jan-62								Jan-93							
Feb-62								Feb-93							
Mar-62								Mar-93							
Apr-62								Apr-93							
May-62								May-93							
Jun-62								Jun-93							
Jul-62								Jul-93							
Aug-62								Aug-93							
Sep-62								Sep-93							
Oct-62								Oct-93							
Nov-62								Nov-93							
Dec-62								Dec-93							
Jan-63								Jan-94							
Feb-63								Feb-94							
Mar-63								Mar-94							
Apr-63								Apr-94							
May-63								May-94							
Jun-63								Jun-94							
Jul-63								Jul-94							
Aug-63								Aug-94							
Sep-63								Sep-94							
Oct-63								Oct-94							
Nov-63								Nov-94							
Dec-63								Dec-94							
Jan-64								Jan-95							
Feb-64								Feb-95							
Mar-64								Mar-95							
Apr-64								Apr-95							
May-64								May-95							
Jun-64								Jun-95							
Jul-64								Jul-95							
Aug-64								Aug-95							
Sep-64								Sep-95							
Oct-64								Oct-95							
Nov-64								Nov-95							
Dec-64								Dec-95							
Jan-65								Jan-96							
Feb-65								Feb-96							
Mar-65								Mar-96							
Apr-65								Apr-96							
May-65								May-96							
Jun-65								Jun-96							

Jul-65								Jul-96									
Aug-65								Aug-96									
Sep-65								Sep-96									
Oct-65								Oct-96									
Nov-65								Nov-96									
Dec-65								Dec-96									
Jan-66								Jan-97									
Feb-66								Feb-97									
Mar-66								Mar-97									
Apr-66								Apr-97									
May-66								May-97									
Jun-66								Jun-97									
Jul-66								Jul-97									
Aug-66								Aug-97									
Sep-66								Sep-97									
Oct-66								Oct-97									
Nov-66								Nov-97									
Dec-66								Dec-97									
Jan-67								Jan-98									
Feb-67								Feb-98									
Mar-67								Mar-98									
Apr-67								Apr-98									
May-67								May-98									
Jun-67								Jun-98									
Jul-67								Jul-98									
Aug-67								Aug-98									
Sep-67								Sep-98									
Oct-67								Oct-98									
Nov-67								Nov-98									
Dec-67								Dec-98									
Jan-68								Jan-99									
Feb-68								Feb-99									
Mar-68								Mar-99									
Apr-68								Apr-99									
May-68								May-99									
Jun-68								Jun-99									
Jul-68								Jul-99									
Aug-68								Aug-99									
Sep-68								Sep-99									
Oct-68								Oct-99									
Nov-68								Nov-99									
Dec-68								Dec-99									
Jan-69								Jan-00									
Feb-69								Feb-00									
Mar-69								Mar-00									

Apr-69								Apr-00							
May-69								May-00							
Jun-69								Jun-00							
Jul-69								Jul-00							
Aug-69								Aug-00							
Sep-69								Sep-00							
Oct-69								Oct-00							
Nov-69								Nov-00							
Dec-69								Dec-00							
Jan-70								Jan-01							
Feb-70								Feb-01							
Mar-70								Mar-01							
Apr-70								Apr-01							
May-70								May-01							
Jun-70								Jun-01							
Jul-70								Jul-01							
Aug-70								Aug-01							
Sep-70								Sep-01							
Oct-70								Oct-01							
Nov-70								Nov-01							
Dec-70								Dec-01							
Jan-71								Jan-02							
Feb-71								Feb-02							
Mar-71								Mar-02							
Apr-71								Apr-02							
May-71								May-02							
Jun-71								Jun-02							
Jul-71								Jul-02							
Aug-71								Aug-02							
Sep-71								Sep-02							
Oct-71								Oct-02							
Nov-71								Nov-02							
Dec-71								Dec-02							
Jan-72								Jan-03							
Feb-72								Feb-03							
Mar-72								Mar-03							
Apr-72								Apr-03							
May-72								May-03							
Jun-72								Jun-03							
Jul-72								Jul-03							
Aug-72								Aug-03							
Sep-72								Sep-03							
Oct-72								Oct-03							
Nov-72								Nov-03							
Dec-72								Dec-03							

Jan-73								Jan-04									
Feb-73								Feb-04									
Mar-73								Mar-04									
Apr-73								Apr-04									
May-73								May-04									
Jun-73								Jun-04									
Jul-73								Jul-04									
Aug-73								Aug-04									
Sep-73								Sep-04									
Oct-73								Oct-04									
Nov-73								Nov-04									
Dec-73								Dec-04									
Jan-74								Jan-05									
Feb-74								Feb-05									
Mar-74								Mar-05									
Apr-74								Apr-05									
May-74								May-05									
Jun-74								Jun-05									
Jul-74								Jul-05									
Aug-74								Aug-05									
Sep-74								Sep-05									
Oct-74								Oct-05									
Nov-74								Nov-05									
Dec-74								Dec-05									
Jan-75								Jan-06									
Feb-75								Feb-06									
Mar-75								Mar-06									
Apr-75								Apr-06									
May-75								May-06									
Jun-75								Jun-06									
Jul-75								Jul-06									
Aug-75								Aug-06									
Sep-75								Sep-06									
Oct-75								Oct-06									
Nov-75								Nov-06									
Dec-75								Dec-06									
Jan-76								Jan-07									
Feb-76								Feb-07									
Mar-76								Mar-07									
Apr-76								Apr-07									
May-76								May-07									
Jun-76								Jun-07									
Jul-76								Jul-07									
Aug-76								Aug-07									
Sep-76								Sep-07									

Oct-76								Oct-07							
Nov-76								Nov-07							
Dec-76								Dec-07							
Jan-77								Jan-08							
Feb-77								Feb-08							
Mar-77								Mar-08							
Apr-77								Apr-08							
May-77								May-08							
Jun-77								Jun-08							
Jul-77								Jul-08							
Aug-77								Aug-08							
Sep-77								Sep-08							
Oct-77								Oct-08							
Nov-77								Nov-08							
Dec-77								Dec-08							
Jan-78								Jan-09							
Feb-78								Feb-09							
Mar-78								Mar-09							
Apr-78								Apr-09							
May-78								May-09							
Jun-78								Jun-09							
Jul-78								Jul-09							
Aug-78								Aug-09							
Sep-78								Sep-09							
Oct-78								Oct-09							
Nov-78								Nov-09							
Dec-78								Dec-09							
Jan-79								Jan-10							
Feb-79								Feb-10							
Mar-79								Mar-10							
Apr-79								Apr-10							
May-79								May-10							
Jun-79								Jun-10							
Jul-79								Jul-10							
Aug-79								Aug-10							
Sep-79								Sep-10							
Oct-79								Oct-10							
Nov-79								Nov-10							
Dec-79								Dec-10							
Jan-80								Jan-11							
Feb-80								Feb-11							
Mar-80								Mar-11							
Apr-80								Apr-11							
May-80								May-11							
Jun-80								Jun-11							

Jul-80								Jul-11							
Aug-80								Aug-11							
Sep-80								Sep-11							
Oct-80								Oct-11							
Nov-80								Nov-11							
Dec-80								Dec-11							
Jan-81								Jan-12							
Feb-81								Feb-12							
Mar-81								Mar-12							
Apr-81								Apr-12							
May-81								May-12							
Jun-81								Jun-12							
Jul-81								Jul-12							
Aug-81								Aug-12							
Sep-81								Sep-12							
Oct-81								Oct-12							
Nov-81								Nov-12							
Dec-81								Dec-12							

10. Priloga Mikro ciklusi

Tabela B.10.1

		L IJ K Ń Ł Ā Ī IJ K Ĺ Ę Ū Ŵ Ā Ą Ů Ā Ć Ŧ Ā																					
		NS	SO	PL	KI	Vh	ZR	SM									NS	SO	PL	KI	Vh	ZR	SM
Jan-51									Jan-82														
Feb-51									Feb-82														
Mar-51									Mar-82														
Apr-51									Apr-82														
May-51									May-82														
Jun-51									Jun-82														
Jul-51									Jul-82														
Aug-51									Aug-82														
Sep-51									Sep-82														
Oct-51									Oct-82														
Nov-51									Nov-82														
Dec-51									Dec-82														
Jan-52									Jan-83														
Feb-52									Feb-83														
Mar-52									Mar-83														
Apr-52									Apr-83														
May-52									May-83														
Jun-52									Jun-83														
Jul-52									Jul-83														
Aug-52									Aug-83														
Sep-52									Sep-83														
Oct-52									Oct-83														
Nov-52									Nov-83														
Dec-52									Dec-83														
Jan-53									Jan-84														
Feb-53									Feb-84														
Mar-53									Mar-84														
Apr-53									Apr-84														
May-53									May-84														
Jun-53									Jun-84														
Jul-53									Jul-84														

Aug-53								Aug-84							
Sep-53								Sep-84							
Oct-53								Oct-84							
Nov-53								Nov-84							
Dec-53								Dec-84							
Jan-54								Jan-85							
Feb-54								Feb-85							
Mar-54								Mar-85							
Apr-54								Apr-85							
May-54								May-85							
Jun-54								Jun-85							
Jul-54								Jul-85							
Aug-54								Aug-85							
Sep-54								Sep-85							
Oct-54								Oct-85							
Nov-54								Nov-85							
Dec-54								Dec-85							
Jan-55								Jan-86							
Feb-55								Feb-86							
Mar-55								Mar-86							
Apr-55								Apr-86							
May-55								May-86							
Jun-55								Jun-86							
Jul-55								Jul-86							
Aug-55								Aug-86							
Sep-55								Sep-86							
Oct-55								Oct-86							
Nov-55								Nov-86							
Dec-55								Dec-86							
Jan-56								Jan-87							
Feb-56								Feb-87							
Mar-56								Mar-87							
Apr-56								Apr-87							
May-56								May-87							
Jun-56								Jun-87							
Jul-56								Jul-87							
Aug-56								Aug-87							

Sep-56								Sep-87							
Oct-56								Oct-87							
Nov-56								Nov-87							
Dec-56								Dec-87							
Jan-57								Jan-88							
Feb-57								Feb-88							
Mar-57								Mar-88							
Apr-57								Apr-88							
May-57								May-88							
Jun-57								Jun-88							
Jul-57								Jul-88							
Aug-57								Aug-88							
Sep-57								Sep-88							
Oct-57								Oct-88							
Nov-57								Nov-88							
Dec-57								Dec-88							
Jan-58								Jan-89							
Feb-58								Feb-89							
Mar-58								Mar-89							
Apr-58								Apr-89							
May-58								May-89							
Jun-58								Jun-89							
Jul-58								Jul-89							
Aug-58								Aug-89							
Sep-58								Sep-89							
Oct-58								Oct-89							
Nov-58								Nov-89							
Dec-58								Dec-89							
Jan-59								Jan-90							
Feb-59								Feb-90							
Mar-59								Mar-90							
Apr-59								Apr-90							
May-59								May-90							
Jun-59								Jun-90							
Jul-59								Jul-90							
Aug-59								Aug-90							
Sep-59								Sep-90							

Oct-59									Oct-90								
Nov-59									Nov-90								
Dec-59									Dec-90								
Jan-60									Jan-91								
Feb-60									Feb-91								
Mar-60									Mar-91								
Apr-60									Apr-91								
May-60									May-91								
Jun-60									Jun-91								
Jul-60									Jul-91								
Aug-60									Aug-91								
Sep-60									Sep-91								
Oct-60									Oct-91								
Nov-60									Nov-91								
Dec-60									Dec-91								
Jan-61									Jan-92								
Feb-61									Feb-92								
Mar-61									Mar-92								
Apr-61									Apr-92								
May-61									May-92								
Jun-61									Jun-92								
Jul-61									Jul-92								
Aug-61									Aug-92								
Sep-61									Sep-92								
Oct-61									Oct-92								
Nov-61									Nov-92								
Dec-61									Dec-92								
Jan-62									Jan-93								
Feb-62									Feb-93								
Mar-62									Mar-93								
Apr-62									Apr-93								
May-62									May-93								
Jun-62									Jun-93								
Jul-62									Jul-93								
Aug-62									Aug-93								
Sep-62									Sep-93								
Oct-62									Oct-93								

Nov-62									Nov-93									
Dec-62									Dec-93									
Jan-63									Jan-94									
Feb-63									Feb-94									
Mar-63									Mar-94									
Apr-63									Apr-94									
May-63									May-94									
Jun-63									Jun-94									
Jul-63									Jul-94									
Aug-63									Aug-94									
Sep-63									Sep-94									
Oct-63									Oct-94									
Nov-63									Nov-94									
Dec-63									Dec-94									
Jan-64									Jan-95									
Feb-64									Feb-95									
Mar-64									Mar-95									
Apr-64									Apr-95									
May-64									May-95									
Jun-64									Jun-95									
Jul-64									Jul-95									
Aug-64									Aug-95									
Sep-64									Sep-95									
Oct-64									Oct-95									
Nov-64									Nov-95									
Dec-64									Dec-95									
Jan-65									Jan-96									
Feb-65									Feb-96									
Mar-65									Mar-96									
Apr-65									Apr-96									
May-65									May-96									
Jun-65									Jun-96									
Jul-65									Jul-96									
Aug-65									Aug-96									
Sep-65									Sep-96									
Oct-65									Oct-96									
Nov-65									Nov-									

								96											
Dec-65								Dec-96											
Jan-66								Jan-97											
Feb-66								Feb-97											
Mar-66								Mar-97											
Apr-66								Apr-97											
May-66								May-97											
Jun-66								Jun-97											
Jul-66								Jul-97											
Aug-66								Aug-97											
Sep-66								Sep-97											
Oct-66								Oct-97											
Nov-66								Nov-97											
Dec-66								Dec-97											
Jan-67								Jan-98											
Feb-67								Feb-98											
Mar-67								Mar-98											
Apr-67								Apr-98											
May-67								May-98											
Jun-67								Jun-98											
Jul-67								Jul-98											
Aug-67								Aug-98											
Sep-67								Sep-98											
Oct-67								Oct-98											
Nov-67								Nov-98											
Dec-67								Dec-98											
Jan-68								Jan-99											
Feb-68								Feb-99											
Mar-68								Mar-99											
Apr-68								Apr-99											
May-68								May-99											
Jun-68								Jun-99											
Jul-68								Jul-99											
Aug-68								Aug-99											
Sep-68								Sep-99											
Oct-68								Oct-99											
Nov-68								Nov-99											

Dec-68								Dec-99							
Jan-69								Jan-00							
Feb-69								Feb-00							
Mar-69								Mar-00							
Apr-69								Apr-00							
May-69								May-00							
Jun-69								Jun-00							
Jul-69								Jul-00							
Aug-69								Aug-00							
Sep-69								Sep-00							
Oct-69								Oct-00							
Nov-69								Nov-00							
Dec-69								Dec-00							
Jan-70								Jan-01							
Feb-70								Feb-01							
Mar-70								Mar-01							
Apr-70								Apr-01							
May-70								May-01							
Jun-70								Jun-01							
Jul-70								Jul-01							
Aug-70								Aug-01							
Sep-70								Sep-01							
Oct-70								Oct-01							
Nov-70								Nov-01							
Dec-70								Dec-01							
Jan-71								Jan-02							
Feb-71								Feb-02							
Mar-71								Mar-02							
Apr-71								Apr-02							
May-71								May-02							
Jun-71								Jun-02							
Jul-71								Jul-02							
Aug-71								Aug-02							
Sep-71								Sep-02							
Oct-71								Oct-02							
Nov-71								Nov-02							
Dec-71								Dec-02							

Jan-72								Jan-03							
Feb-72								Feb-03							
Mar-72								Mar-03							
Apr-72								Apr-03							
May-72								May-03							
Jun-72								Jun-03							
Jul-72								Jul-03							
Aug-72								Aug-03							
Sep-72								Sep-03							
Oct-72								Oct-03							
Nov-72								Nov-03							
Dec-72								Dec-03							
Jan-73								Jan-04							
Feb-73								Feb-04							
Mar-73								Mar-04							
Apr-73								Apr-04							
May-73								May-04							
Jun-73								Jun-04							
Jul-73								Jul-04							
Aug-73								Aug-04							
Sep-73								Sep-04							
Oct-73								Oct-04							
Nov-73								Nov-04							
Dec-73								Dec-04							
Jan-74								Jan-05							
Feb-74								Feb-05							
Mar-74								Mar-05							
Apr-74								Apr-05							
May-74								May-05							
Jun-74								Jun-05							
Jul-74								Jul-05							
Aug-74								Aug-05							
Sep-74								Sep-05							
Oct-74								Oct-05							
Nov-74								Nov-05							
Dec-74								Dec-05							
Jan-75								Jan-06							

Feb-75								Feb-06							
Mar-75								Mar-06							
Apr-75								Apr-06							
May-75								May-06							
Jun-75								Jun-06							
Jul-75								Jul-06							
Aug-75								Aug-06							
Sep-75								Sep-06							
Oct-75								Oct-06							
Nov-75								Nov-06							
Dec-75								Dec-06							
Jan-76								Jan-07							
Feb-76								Feb-07							
Mar-76								Mar-07							
Apr-76								Apr-07							
May-76								May-07							
Jun-76								Jun-07							
Jul-76								Jul-07							
Aug-76								Aug-07							
Sep-76								Sep-07							
Oct-76								Oct-07							
Nov-76								Nov-07							
Dec-76								Dec-07							
Jan-77								Jan-08							
Feb-77								Feb-08							
Mar-77								Mar-08							
Apr-77								Apr-08							
May-77								May-08							
Jun-77								Jun-08							
Jul-77								Jul-08							
Aug-77								Aug-08							
Sep-77								Sep-08							
Oct-77								Oct-08							
Nov-77								Nov-08							
Dec-77								Dec-08							
Jan-78								Jan-09							
Feb-78								Feb-09							

Mar-78								Mar-09							
Apr-78								Apr-09							
May-78								May-09							
Jun-78								Jun-09							
Jul-78								Jul-09							
Aug-78								Aug-09							
Sep-78								Sep-09							
Oct-78								Oct-09							
Nov-78								Nov-09							
Dec-78								Dec-09							
Jan-79								Jan-10							
Feb-79								Feb-10							
Mar-79								Mar-10							
Apr-79								Apr-10							
May-79								May-10							
Jun-79								Jun-10							
Jul-79								Jul-10							
Aug-79								Aug-10							
Sep-79								Sep-10							
Oct-79								Oct-10							
Nov-79								Nov-10							
Dec-79								Dec-10							
Jan-80								Jan-11							
Feb-80								Feb-11							
Mar-80								Mar-11							
Apr-80								Apr-11							
May-80								May-11							
Jun-80								Jun-11							
Jul-80								Jul-11							
Aug-80								Aug-11							
Sep-80								Sep-11							
Oct-80								Oct-11							
Nov-80								Nov-11							
Dec-80								Dec-11							
Jan-81								Jan-12							
Feb-81								Feb-12							
Mar-81								Mar-							

								12							
Apr-81								Apr-12							
May-81								May-12							
Jun-81								Jun-12							
Jul-81								Jul-12							
Aug-81								Aug-12							
Sep-81								Sep-12							
Oct-81								Oct-12							
Nov-81								Nov-12							
Dec-81								Dec-12							