

## АНАЛИЗА ПАДАВИНА И СУША НА ТЕРИТОРИЈИ БИХ НА ОСНОВУ СТАНДАРДИЗОВАНОГ ИНДЕКСА ПАДАВИНА (SPI)

Владан Дуцић<sup>1</sup>, Драган Бурић<sup>2</sup>, Горан Трбић<sup>3</sup> и Радушка Цупаћ<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Географски факултет, Универзитет у Београду, Република Србија

<sup>2</sup>Завод за хидрометеорологију и сеизмологију Црне Горе, Република Црна Гора

<sup>3</sup>Природно-математички факултет, Универзитет у Бањој Луци, Република Српска

<sup>4</sup>УНДП Босне и Херцеговине, канцеларија у Бањој Луци

**Сажетак:** Најчешће коришћен показатељ метеоролошке суше је Стандардизовани индекс падавина (SPI). У овом раду анализиран је SPI за 8 метеоролошких станица у Босни и Херцеговини. Прорачуни су урађени за календарску годину и метеоролошке сезоне, за период 1961-2010. Добијени резултати указују да је тренд годишњег SPI12 значајан само на једној станици, али је позитивног знака, што значи да је дошло до повећања влажности. У посматраном периоду присутна је стопа раста броја станица на којима су забележене екстремно влажне и екстремно сушне године, али су и те промене статистички безначајне. Тренд SPI3 за фебруар (зиму) на свим станицама је статистички безначајан, али је у већини посматраних места дошло до повећања сушности. Ни тренд SPI3 за пролеће не показује статистичку значајност ни на једној станици, а нема ни одређене географске правилности у знаку тенденције. Лети је дошло до повећања сушности у већини места, а при томе је негативна вредност тренда SPI3 за август (лето) статистички значајна на 2 станице (Бихаћ и Билећа). У последњој декади (2001-2010) у већини места регистрован је највећи број и сушних и влажних лета, што несумњиво показује повећање учесталости екстремних лета у погледу падавина. На 7 од 8 станица јесен је све влажнија, али је само у Бијељини позитиван тренд SPI3 за новембар (јесен) статистички сигнификантан. Највећи број сушних година регистрован је у декади 1981-1990., када су NAO и АО индекс имали највише вредности. С друге стране, декада 2001-2010. издваја се са највећим бројем влажних година, а у том периоду је NAO индекс достигао најниже вредности. И међугодишње варијације падавина су у великој мери под утицајем промене атмосферске циркулације. На сезонском нивоу, најбоља корелација са параметрима циркулације NAO и АО добијена је за зиму.

**Кључне речи:** Падавине, SPI, тренд, NAO, АО, Босна и Херцеговина, суша.

Original scientific paper

## ANALYSIS OF PRECIPITATION AND DRAUGHTS ON BIH TERRITORY BASED UPON STANDARDIZED PRECIPITATION INDEX (SPI)

Vladan Ducić<sup>1</sup>, Dragan Burić<sup>2</sup>, Goran Trbić<sup>3</sup> and Raduška Cupać<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Geography, Belgrade University, Republic of Serbia

<sup>2</sup>Montenegro Institute of Hydrometeorology and Seismology, Republic of Montenegro

<sup>3</sup>Faculty of Sciences, University of Banja Luka, Republika Srpska

<sup>4</sup>UNDP Bosnia and Herzegovina, office in Banja Luka

**Abstract:** Most frequent indicator of the meteorological draught is the standardized precipitation index (SPI). This paper analyses SPI at 8 weather stations in Bosnia and Herzegovina. The calculations were performed per a calendar year and weather seasons between 1961 and 2010. The results indicate a trend of annual SPI12 to be relevant for only one weather station, but it was still positive referring to increased humidity. During the observed period, there was an increase in number of stations indicating extremely humid and extremely dry years but the changes were statistically irrelevant. The SPI3 trend for February (winter) was statistically immaterial at all stations but most observed locations showed increased draught. Not even SPI3 spring trend was statistically important nor did it have specific geographical regularities showing tendencies. In summer, there was an increased draught at most locations and the negative value of SPI3 trend for August (summer) was statistically relevant at two weather stations (Bihać and Bileća). Over the last decade (2001-2010), at most locations there was a largest number of both dry and humid summers, which certainly shows more frequent extreme summer periods with reference to precipitation. At 7 of 8 stations, autumn was getting more humid but it was only in Bijeljina that SPI3 trend for November (autumn) was statistically significant. Most dry years were within 1981-1990 decade as NAO and AO indexes were the highest. On the other hand, 2001-2010 decade had most humid years and NAO index reached lowest values. In addition, the interannual precipitation variations were also largely affected by changes in atmospheric circulation. At season level, the best correlation with NAO and AO circulation parameters was in winter.

**Key words:** precipitation, SPI, trend, NAO, AO, Bosnia and Herzegovina, draught.

## УВОДНА РАЗМАТРАЊА

У првом Националном извештају Босне и Херцеговине у складу са Оквирном конвенцијом Уједињених нација о климатским променама, анализирани су екстремне и просечне месечне количине падавина у Тузли, Сарајеву и Мостару. Констатовано је да се значајне промене могу видети у Мостару, где су просечне количине падавина у периоду 1982-2007. знатно ниже него у периоду 1956-1981. у свим месецима, осим у септембру.

Анализа суше је урађена методом „буџетирања воде земљишта“, која истовремено узима у обзир и атмосферску сушу и сушу земљишта. Констатује се да је просечна годишња дефицијенција воде у земљишту у БиХ око 125 mm. Највећа је у јужним деловима (300mm), знатно нижа у северним (100 mm) а најнижа у централним деловима (50mm).

Spasova et al. (2007), констатују да падавине у XX веку у БиХ, а посебно у источном делу и Херцеговини показују силазни тренд у летњим, пролећним и зимским месецима.

У Невесињу је дошло до смањења за 6 до 7%, али та промена није статистички сигнификантна. Урађени су прорачуни дванаестомесечног SPI за Бања Луку (северозападни регион), Сарајево (централни регион) и југоисточни део (Мостар, Невесиње и Требиње). Уочено је да је последњих деценија била чешћа појава умерених и екстремних суша него екстремно влажних година.

Трбић et al. (2009) су анализирали промене количина падавина и њихов регионални распоред у Републици Српској за периоде 1961-1990. и 1999-2008. Добијени резултати указују на несигнификантна одступања за већину станица. У централном планинском појасу присутан је тренд повећања падавина на годишњем нивоу и по сезонама, док је лети на већини станица присутан тренд смањења падавина.

У извештају друге радне групе ИПСС (Working Group II: Impacts, Adaptation and Vulnerability (2007) констатује се да је у топлијој клими присутна већа климатска

## INTRODUCTION

The first National report of Bosnia and Herzegovina in compliance with the UN Framework Convention on Climate Change analyzed the extreme and mean monthly precipitation in Tuzla, Sarajevo, and Mostar. The result was the significant change in Mostar where mean precipitation values in 1982-2007 periods were largely poorer in comparison with 1956-1981 periods for all months except September. Still, „based upon the designed diagrams, it was not possible to reach conclusions on significant changes in precipitation regime“.

The draught analysis was performed via „Soil water budget“ method, which covers both the atmosphere draught and soil draught. The mean annual water soil deficit in Bosnia and Herzegovina was around 125 mm. It was largest in southern parts of the country (300 mm), much poorer in northern parts (100 mm), and poorest in central parts (50 mm).

Spasova et al. (2007) concluded that 20th century precipitation in Bosnia and Herzegovina, especially the eastern parts and Herzegovina, had the tendency to yield in summer, spring, and winter months. In Nevesinje, there was a 6- 7% decrease but this shift was not statistically relevant. The 12 month SPI calculations were performed for Banjaluka (north-west region), Sarajevo (central region) and south-east region (Mostar, Nevesinje and Trebinje). It was inferred that over the last decades moderate and extreme draughts were more frequent than extremely humid years.

Трбић et al. (2009) analyzed change in precipitation amount and its spatial distribution in the Republic of Srpska for 1961-1990 and 1999-2008 periods. The results displayed insignificant deviations at most weather stations. There was a trend of increased annual and seasonal precipitation in the central highland belt whereas in summer most stations displayed the trend of precipitation decrease.

In IPCC Working Group II Report: Impacts,

варијабилност и да расте ризик и од поплава и од суша (табела SPM2) ([http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg2/en/ch3s3-4-3.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg2/en/ch3s3-4-3.html)).

У овом раду представљени су резултати регионалног климатског модела EBU-POM из експеримената промене будуће климе, добијени методом динамичког скалирања резултата глобалног климатског модела атмосфере и океана SINTEX-G (Ђурђевић и др., 2012).

Резултати модела за A1B SRES сценарио за промене акумулираних падавина у % у односу на период 1961-1990. показују за пројектовани период 2001-2030. и негативне и позитивне промене ове величине. Позитивне промене падавина, односно њихово повећање, може се видети за сезону МАМ (март-април-мај, односно пролеће), и то за северни и североисточни део, +5%, и за ЈЈА сезону (лето) скоро на целој територији, са максимумом од +15%, изузев југоистока. Највећи дефицит је дуж југозападне границе БИХ са максималним одступањем од -20%.

Урађене су и пројекције и за A1B сценарио за период 2071-2100. Током овог периода скоро да не постоји сезона или област која је окарактерисана позитивном аномалијом падавина. Велике негативне аномалије имају сезоне DJF (зима) и SON (јесен) са променама од -15 до -50%. МАМ сезона окарактерисана је са вредностима од приближно -10% на целој територији. Дефицит током сезоне ЈЈА већи је у јужним него у северним областима и креће се у опсегу од -30 до 0%. Промена годишњих сума падавина је негативна на целој територији и креће се од -30 до -10%.

Wilhite and Glantz (1985) су дефинисали четири основна приступа у мерењу суша (или 4 типа суша): метеоролошки, хидролошки, пољопривредни и социоекономски. Прва три приступа баве се начином мерења суше као физичким феноменом, а последњи је посматра са аспекта понуде и тражње, односно праћења ефеката мањка воде и с тим у вези дестабилизације друштвено-економског система. У зависности од типа суше, последице

Adaptation and Vulnerability (2007), it says that in warmer climate there is a larger climate variability and a growing risk of floods and draughts (table SPM2). ([http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg2/en/ch3s3-4-3.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg2/en/ch3s3-4-3.html))

This report displays the results of the EBU-POM regional climate model based upon the experiments on future climate change, all of which were gained via the SINTEX-G method of dynamic ranking of results of global climate atmosphere and ocean model (Ђурђевић и др., 2012).

Results of the model for the A1B SRES scenario for % changes of accumulated precipitation in comparison with 1961-1990 periods indicate that during the projected 2001-2030 period this quantity shift will be both positive and negative. Positive changes of precipitation, i.e. its increase, may be visible for MAM season - +5% in north-northwest and JJA season -+15% maximum in the whole of the territory except southeast. The largest deficit was along the southwest BiH borderline with -20% maximum.

A1B scenario projections for the 2071-2100 periods were also performed. During this period, there is almost no season or region characterized by a positive precipitation anomaly. Large negative anomalies were typical of DJF and SON seasons with deviations of -15 to -50%. MAM season had values approximately -10% in the whole of the territory. The JJA season deficit is larger in south than in north and ranges from -30 to 0%. The change of the annual precipitation sum is negative in the whole of the territory and ranges from -30 to -10%.

Wilhite and Glantz (1985) defined four basic approaches to draught measurement (i.e. 4 types of draught): meteorological, hydrological, agricultural, and social-economic. The first three approaches focus on measuring draught as a physical phenomenon and the last one considers draught from the offer-demand aspect, i.e. monitoring the effects of water shortage and the consequential

ове појаве могу бити економске, еколошке и социјалне.

Треба истаћи чињеницу да се од суше најбрже опорављају сектори који први и реагују на њу (пољопривреда), док нпр. хидрографској мрежи, која спорије реагује, треба више времена да се опорави. У људској перцепцији најопасније су летње суше, али несташице воде током других годишњих доба такође могу имати значајан социјално-економски утицај (European Environment Agency, 2001).

Дакле, термин суша се може односити на метеоролошку сушу (падавине испод просека), хидролошку сушу (мали протицаји и ниски водостаји), пољопривредну сушу (недовољно влаге у земљишту) и предеону сушу (комбинација претходних). У нашој анализи биће обрађена метеоролошка суша преко Стандардизованог индекса падавина (SPI).

Циљ рад је био да се испита да ли је дошло до повећања учесталости и интензитета суше на овим просторима.

#### СТАНДАРДИЗОВАНИ ИНДЕКС ПАДАВИНА (SPI)

Показатељ Стандардизован индекс падавина (SPI) развијен је за потребе дефинисања и осматрања суше (McKee et al. 1993). На основу дугорочних осматрања могуће је анализирати појаву суше у одређеном временском интервалу (месец, сезона, година, итд.), и те вредности упоређивати са вредностима било ког региона. Дужи временски интервали примењују се за анализу екстремних падавина. Почетак суше се идентификује тако што се посматра „корак назад“. Наиме, појава суше има своју потврду само ако се јавља континуирано у серији са вредностима  $SPI \leq -1$ . Сушни период престаје кад вредност SPI постане позитивна. Свака суша се карактерише:

- Временским интервалом (1, 2, 3, 6, 12, 24 месеца), тј. бројем узастопних појављивања вредности  $SPI \leq -1$ .
- Трајањем суше, што представља време између почетка и краја суше;

destabilization of the social-economic system. Depending on the draught type, its consequence may be economic, ecological, or social.

We should point out that those sectors that first respond to draught are most easily recovered (agriculture). On the other hand, e.g. hydrographical network that responds more slowly takes more time to recover. Human perception believes summer draught to be most dangerous but water shortage in other seasons may also have a large social-economic effect (European Environment Agency, 2001).

Thus, the term draught may refer to meteorological draught (precipitation below the average), hydrological (poor streams and low water levels), agricultural (lack of soil humidity) and regional draught (combination of these three). Our analysis shall process the meteorological draught via the standardized precipitation index (SPI).

The aim of this paper was to examine whether there has been an increase in the frequency and intensity of droughts in this region.

#### STANDARDIZED PRECIPITATION INDEX (SPI)

Standardized precipitation index (SPI) was designed for the purpose of defining and monitoring the draught (McKee et al. 1993). Based upon the long-term observations, it is possible to analyze the draught phenomenon with a specific time interval (month, season, year, etc.), and match the values with any region. Long time intervals are applied for the extreme precipitation analysis. The beginning of draught is identifying by analyzing “one step back”. Namely, the draught phenomenon is valid only if there is a continuous value of  $SPI \leq -1$ . The draught period stops once the SPI values are positive. The following is typical of each draught:

- Time interval (1, 2, 3, 6, 12, 24 months), i.e. the number of consecutive values of  $SPI \leq -1$ .
- Draught duration, the timeline between the start and end of draught;

• Категоријом суше, која се одређује вредношћу SPI индекса (табела 1);

• Величином суше, која се израчунава сумом индекса SPI за сваки месец од почетка до краја сушног периода;

Интензитетом суше, што представља однос између величине и трајања појаве.

SPI се рачуна на основу Гама расподеле падавина, која се дефинише функцијом густине вероватноће. Стандардизација методологије прорачуна је неопходно, да би се на основу дугорочних осматрања могла анализирати појава суше и упоређивати добијени резултати са локација различитих климата.

Истраживања су показала да падавине подлежу закону Гама расподеле. Да би се одредили параметри скалирања и облика функције густине вероватноће падавина, користи се стандардни или читав период осматрања на једној метеоролошкој станици. За сваку станицу и период се посебно одређују параметри скалирања и облика функције густине вероватноће падавина. Гама расподела падавина се дефинише функцијом густине вероватноће, која гласи (Lloyd-Hughes and Saunders, 2002; Cancelliere et al., 2007):

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}; \text{ за } x > 0, \text{ гдје је:}$$

$\alpha$  -параметар облика;  $\beta$ - параметар величине;  $x$  – количина падавина  $> 0$ ;  $G(\alpha)$  је гама функција која се дефинише по образцу:

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

Израчунавање SPI захтева подешавање Гама функције густине вероватноће за дату фреквенцију дистрибуције падавина и калибрациони период, тако да се и параметри  $\alpha$  и  $\beta$  одређују посебно за сваку метеоролошку станицу, односно одабрани временски интервал (1, 2, 3, 6, 12, 24... месеца). Параметри  $\alpha$  и  $\beta$  одређени су методом максималне веродостојности која гласи:

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

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad n - \text{ интервал осматрања падавина.}$$

• Draught category, which is determined by SPI values (table 1);

• Draught size calculated via the sum of SPI values for each month from start to end of dry period;

• Draught intensity, i.e. the ratio between the size and duration of draught.

SPI is calculated upon the Gama precipitation distribution, which is defined by the function of density probability. Standard methodology of calculations is necessary in order to use the long-term observations, analyze the draught, and match the results from different climate locations.

The researches indicate that precipitation falls under the law of Gama distribution. In order to set the parameters to rank and shape the function of precipitation probability density, we use a standard or total period of observation at a single weather station. For each station and period, parameters to rank and shape the function of precipitation probability density are set. Gama precipitation distribution is defined by using the density probability function which says (Lloyd-Hughes and Saunders, 2002; Cancelliere et al., 2007):

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}; \text{ for } x > 0, \text{ in which :}$$

$\alpha$  -shape parameter;  $\beta$  - size parameter;  $x$  – precipitation amount  $> 0$ ;  $G(\alpha)$  Gama function defined by the following pattern:

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

In order to calculate SPI, it takes setting the Gama density probability function for a given distribution frequency and period of calibration, so that  $\alpha$  and  $\beta$  parameters are set separately for each weather station, i.e. a target time interval (1, 2, 3, 6, 12, 24... months). Parameters referred to as  $\alpha$  and  $\beta$  are set by using the maximum credibility method which says:

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

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad n - \text{ interval of precipitation observation.}$$

Добијени параметри се даље примењују за одређивање кумулативне вероватноће падавинских сума за дати период и временску скалу изабране метеоролошке станице. Кумулативна вероватноћа се може приказати изразом:

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta^{\hat{a}} \Gamma(\hat{a})} \int_0^x x^{\hat{a}-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx$$

Ако се усвоји да је  $t=x/\hat{\beta}$ , следећа једначина постаје некомплетна гама функција:

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\hat{a})} \int_0^x t^{\hat{a}-1} e^{-t} dt$$

С обзиром на то да је гама функција недефинисана за  $x=0$ , а падавине могу износити нула, кумулативна вероватноћа постаје:

$H=q+(1-q) \cdot G(x)$ ,  $q$  – вероватноћа падавина висине 0 mm.

Ако је  $m$  број који означава колико пута су падавине износиле нула у временском низу, а  $n$  – број осматрања падавина, онда се  $q$  може одредити као однос ова два параметра:  $q=m/n$ . Кумулативна вероватноћа  $H(x)$  се трансформише у стандардну нормалну случајну променљиву  $Z$  са средњом вредношћу нула и варијансом 1, која представља вредност SPI.

Дакле, први корак за израчунавање SPI је одабир расподеле вероватноће (Гама, непотпуна Бета расподела, Pirson III итд), која одговара временској серији падавина. За дугогодишњи период (не краћи од 30 година), истраживања су показала да се падавинске суме (сезонске, годишње) најбоље покоравају Гама расподеле, која се најчешће и користи (Cancelliere et al., 2007).

Други корак је трансформација фреквенција у другу расподелу – у овом случају у нормалну (Гаусову или Z- дистрибуцију). Најједноставније, SPI је статистички показатељ одступања падавина. Уколико SPI има позитивну вредност, онда су падавине веће од нормале, док негативан знак указује на дефицит. Када је нормализована вредност

The obtained parameters are further applied in order to set the cumulative probability of precipitation sum for a given period of time and the timeline of a chosen weather station. The cumulative probability may be represented by the following equation:

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta^{\hat{a}} \Gamma(\hat{a})} \int_0^x x^{\hat{a}-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx$$

If we assume that  $t=x/\hat{\beta}$ , the following equation becomes an incomplete Gama function:

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\hat{a})} \int_0^x t^{\hat{a}-1} e^{-t} dt$$

As the Gama function is undefined for  $x=0$ , and precipitation value may be zero, the cumulative probability becomes as follows:

$H=q+(1-q) \cdot G(x)$ ,  $q$  – probability of 0 mm precipitation.

If we assume that  $m$  is the number showing how many times precipitation was zero within a time interval and  $n$  is the number of observations, then  $q$  is the ratio of these two parameters:  $q=m/n$ . the cumulative probability  $H(x)$  is transformed into the standard normal accidental variable  $Z$  with zero mean value and variable 1, which represents the SPI value.

Thus, the first step to calculate the SPI is the choice of probability distribution (Gama, incomplete Beta distribution, Pirson III, etc.) which complies with the time series of precipitation. For a long-term period (not less than 30 years), the research showed that the precipitation sum (seasonal, annual) best obey the Gama distribution, which is also most frequently used one (Cancelliere et al., 2007).

The second step is the frequency transformation into another distribution – in this instance the normal one (Gauss or Z-distribution). In simple words, SPI is the statistical indicator of precipitation deviations. If SPI is positive, then the precipitation is larger than normal and if it is negative, it means deficit. When the normalized SPI value is zero, it means the precipitation is stagnant.

SPI једнака нули, то значи да се са падавинама ништа не дешава (нема одступања).

За потребе овог рада коришћена је изворна категоризација услова влажности на основу SPI (табела 1), коју су предложили McKee et al. 1993. године. Тако је, на пример, за дато место и временску јединицу, вероватноћа појаве умерене суше ( $SPI \leq -1$ ) 15,9% (9,2+4,4+2,3), а екстремне ( $SPI \leq -2$ ) 2,3%. Иста је вероватноћа појаве умерене, односно екстремне влажности.

У пракси се најчешће рачуна SPI за 1, 3, 6, 9 и 12 мјесеци (SPI1, SPI3, SPI6, SPI9 и SPI12), посебно за сваку временску скалу. Подразуме се да претходно треба урадити трансформацију у нормалну расподелу, тако да је средња вредност SPI за дату локацију и временски интервал нула, што значи да су у 50% случајева суме падавина биле испод и у исто толико изнад просека.

For the purpose of the paper, we used the authentic categorization of humidity conditions based upon SPI (table 1) as was suggested by McKee et al. in 1993. Therefore, for a given location and time unit, the probability of moderate draught ( $SPI \leq -1$ ) is 15, 9% (9,2+4,4+2,3), and for the extreme draught ( $SPI \leq -2$ ) it is 2, 3%. The same is the probability of moderate or extreme humidity.

Practically, we usually calculate SPI for 1, 3, 6, 9 and 12 months (SPI1, SPI3, SPI6, SPI9 and SPI12) separately for each time scale. It goes without saying that previously we should have performed the transformation into the normal distribution so that the mean values for SPI of a target location and time interval are equal to zero. This would mean that in 50% of cases the sum of precipitation was below and above the average equally.

Таб. 1. Класификација падавинских прилика на основу вредности SPI  
Tab. 1. Classification of precipitation based upon SPI values

Категорија/ Category	Вриједност SPI/ SPI values	Кумулативна вјероватноћа H (x)/ Cumulative probability H(x)	Кумулативна вјероватноћа (%)/ Cumulative probability (%)
Екстремно влажно Extremely humid	$SPI \geq 2,00$	0,977 – 1,00	2,3
Јако влажно Very humid	$1,50 \leq SPI < 2,00$	0,933 – 0,977	4,4
Умјерено влажно Moderately humid	$1,00 \leq SPI < 1,50$	0,841 – 0,933	9,2
Нормални услови влажности Normal humidity conditions	$-1,00 < SPI < 1,00$	0,159 – 0,841	68,2
Умјерена суша Moderate draught	$-1,50 < SPI \leq -1,00$	0,067 – 0,159	9,2
Јака суша Strong draught	$-2,00 < SPI \leq -1,50$	0,023 – 0,067	4,4
Екстремна суша Extreme draught	$SPI \leq -2,00$	0,000 – 0,023	2,3

БАЗА ПОДАТАКА И МЕТОДОЛОГИЈА

DATABASE AND METHODOLOGY

Анализирани су подаци за мрежу од 8 метеоролошких станица и то: Бихаћ, Бањалуку, Добој и Бијељину у Перипанонском ободу, Ливно, Мостар и Билећу у Херцеговини и Сарајево у централном брдско-планинском делу Босне и Херцеговине. Бања Лука  $\phi$  44,80  $\chi$  17,21 h153m, Добој  $\phi$  44,73  $\chi$  18,09 h147m, Билећа  $\phi$  42,86  $\chi$  18,42 h443m, Бијељина  $\phi$  44,75  $\chi$  19,20 h97m, Бихаћ  $\phi$  44,48  $\chi$  15,51 h246m, Сарајево  $\phi$  43,52  $\chi$  18,25 h630m, Ливно  $\phi$  43,49  $\chi$  17,00 h724m, Мостар  $\phi$  43, 20  $\chi$  17,47 h99m. Станице тако покривају веће физичко географске целине у Босни и Херцеговини. Највећи број станица је у Перипанонском ободу (4), у коме се и налази већи део обрадивог пољопривредног земљишта и где суша има највећи значај за приносе. За већину станица подаци за месечне количине падавина су комплетни, а тамо где то није био случај, интерполирани су на основу суседних станица од стране Федералног хидрометеоролошког завода БиХ.

За све станице као референтни период за SPI узет је исти низ од 50 година (1961-2010.). Урађени су прорачуни за SPI1, SPI3 и SPI12. С обзиром на сложеност обраде и велики број улазних података, направљена је помоћна софтверска подршка. Обиле података изнудило је потребу за селекцијом, тако да су у анализу узети за SPI12 подаци за календарску годину, а за а SPI3 подаци за метеоролошке сезоне. У обраду су узете све сушне ( $SPI \leq -1$ ) и влажне ( $SPI \geq 1$ ) вредности одређене временске дужине (за SPI1, SPI3 и SPI12).

РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА SPI ЗА  
ГОДИНУ -SPI12

У посматраном периоду од 1961 до 2010. на станицама у Херцеговини (Ливно, Мостар и Билећа) линеарни тренд SPI12 био је негативан (дошло је до повећања сушности), али промене нису биле статистички значајне. На осталим станицама забележен је позитиван линеарни тренд, али је једино у Бијељини био статистички значајан на  $p=0.05$  (графикон 1). Llooyd-Huges и Saunders (2002) констатују да се проценат подручја у Европи која су била

The eight weather stations were observed as follows: Bihać, Banjaluka, Doboј and Bijeljina in the Peri-Pannonian range; Livno, Mostar and Bileća in Herzegovina, and Sarajevo in the central highland part of Bosnia and Herzegovina. Banja Luka  $\phi$  44,80  $\chi$  17,21 h153m, Doboј  $\phi$  44,73  $\chi$  18,09 h147m, Bileća  $\phi$  42,86  $\chi$  18,42 h443m, Bijeljina  $\phi$  44,75  $\chi$  19,20 h97m, Bihać  $\phi$  44,48  $\chi$  15,51 h246m, Sarajevo  $\phi$  43,52  $\chi$  18,25 h630m, Livno  $\phi$  43,49  $\chi$  17,00 h724m, Mostar  $\phi$  43, 20  $\chi$  17,47 h99m. Hence, the stations cover larger physical-geographical region in the country.

Most stations were within the Peri-Pannonian range (4) where most cultivated soil was located and where the draught effects were most relevant for the crops. Data on monthly precipitation at most stations were complete, and in cases where it was not possible they were inter-poled based upon the neighboring stations as provided by the Federal Weather Institute of BiH.

The referent SPI time period for all stations was a fifty-year range (1961-2010.). The SPI1, SPI3 and SPI12 calculations were run. As the processing was complex and the data were vast, an additional software support was designed. The amount of data called for a necessary selection so that we took SPI12 data for a calendar year and SPI3 data for a meteorological season. We processed al the draught ( $SPI \leq -1$ ) and humid ( $SPI \geq 1$ ) values for a certain time duration (for SPI1, SPI3 and SPI12).

RESULTS AND DISCUSSION  
SPI FOR -SPI12 YEAR

During the observed 1961-2010 period, there was a linear negative SPI12 trend at weather station in Bosnia and Herzegovina (there were the increased draughts) but the changes were not statistically relevant. Other stations marked a positive linear trend but it was only in Bijeljina that it was statistically important at  $p=0.05$  (graph 1). Llooyd-Huges and Saunders (2002) concluded that the percentage of European areas struck by extreme or moderate draught did not



захваћена екстремном или умереном сушом није сигнификантно мењао током 20-ог века.

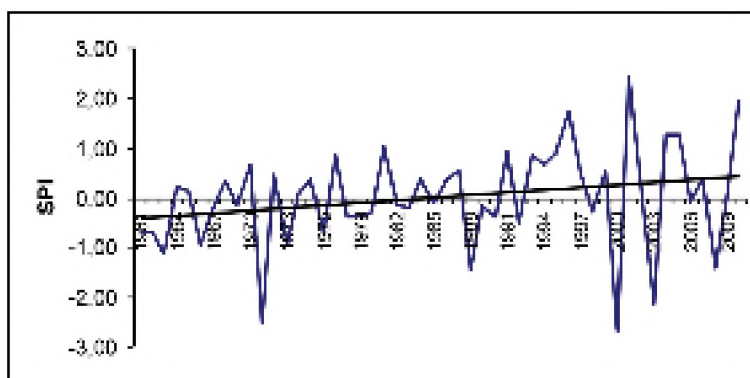
Највећи простор суша је заузимала 1983. и 2003. године када је 7 станица истовремено показивало вредности SPI12 ниже или једнако од -1. Просторну дистрибуцију суше смо анализирали и на основу карата које се могу креирати на сајту Drought Management Center for South Eastern Europe (DMCSEE) (<http://dmcsee.org/>). Прорачуни за израду карата су урађени на основу референтног периода 1961-1990.

Релативно мали број случајева екстремних вредности SPI по декади отежава тумачења међудекадних промена по појединачним станицама. Тако, у Ливну у последње три посматране декаде јавиле су се по 2 екстремно сушне године, док у прве две није било ниједне, тако да није могуће рећи која декада је најсушнија, јер су три декаде подједнако сушне.

significantly change in 20th century.

The draught was most severe in 1983 and 2003 as seven stations simultaneously displayed SPI12 values lower or equal to -1. The spatial distribution of draught was analyzed based upon the maps that may be created at Drought Management Center for South Eastern Europe (DMCSEE) (<http://dmcsee.org/>). The calculation for map design was done in compliance with the referential 1961-1990 period.

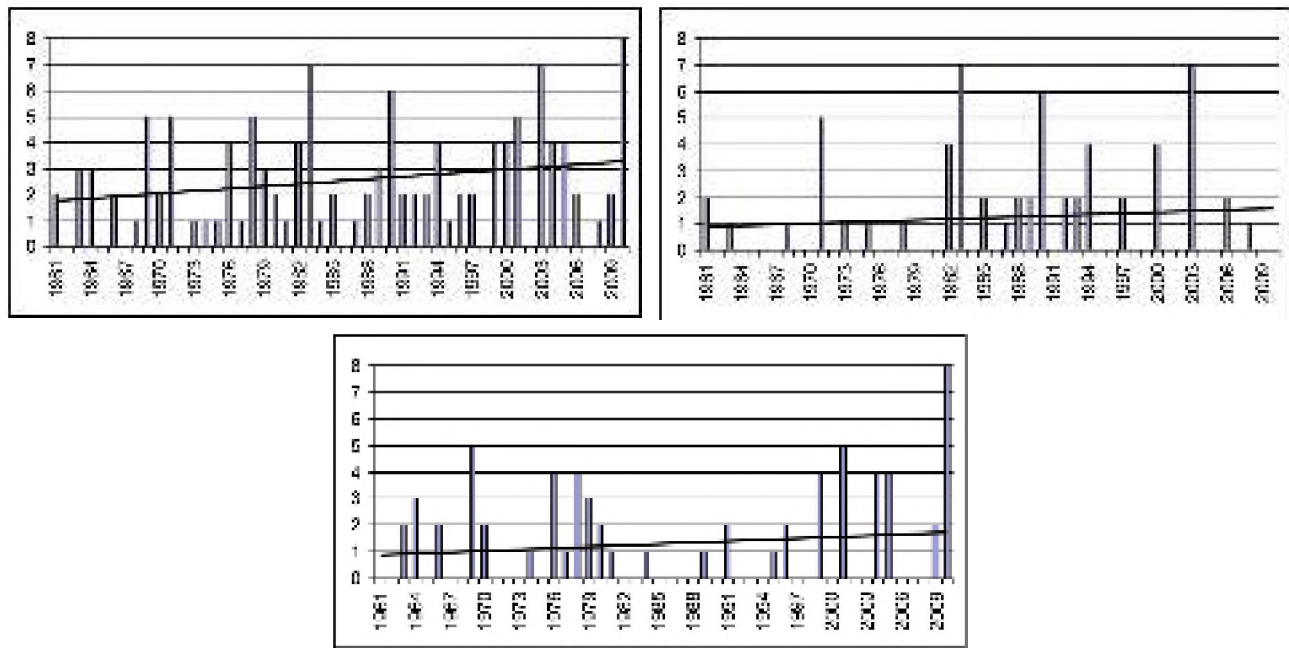
A relatively small number of cases of extreme SPI values per decade make it difficult to interpret the inter-decade changes at each station. Thus, in Livno over the last three decades there were two extremely dry years and during the first two there was none so it is not possible to say which decade was most dry as all three decades were equal.



Граф. 1. Међугодишње промене SPI12 на метеоролошкој станици Бијељина  
Graph 1. Interannual change of SPI12 at Bijeljina weather station

Број метеоролошких станица на којима је регистрована суша је у у периоду 1961-2010. растао по стопи од 1,3 по веку (графикон 2, горе лево), што би указивало на то да расте просторни обухват суша. Међутим, промена није статистички значајна. С друге стране, и број екстремно влажних година (графикон 2, горе десно), је у порасту (1,7 по веку, такође статистички несигнификантно). Прост збир броја станица на којима су забележене екстремно влажне и екстремно сушне године указује на повећање броја станица са екстремним вредностима од 1,1 станице по веку, али ни овај пораст није статистички значајан (графикон 2, доле лево).

The number of weather stations that registered draught within 1961-2010 period grew at the rate of 1, 3 per century (graph 2, upper left), which might indicate that the draught regions are becoming larger. On the other side, the number of extremely humid years is growing (graph 2, upper right) (1, 7 per century, also statistically irrelevant). The simple sum of stations that registered extremely humid and extremely dry years indicates and increase in number of stations with extreme values of 1, 1 station per century but is also statistically insignificant (graph 2, lower left).



Граф. 2. Међугодишње промене броја метеоролошких станица са:  $SPII2 \leq -1$  (горе лево),  $SPII2 \geq 1$  (горе десно) и  $SPII2 \leq -1$  и  $SPII2 \geq 1$  (доле)  
 Graph 2: Interannual change in number of weather stations:  $SPII2 \leq -1$  (upper left),  $SPII2 \geq 1$  (upper right) and  $SPII2 \leq -1$  and  $SPII2 \geq 1$  (lower)

На 5 станица се јасно издваја декада 1981-1990. као најсушнија (Бихаћ, Бањалука, Добој, Мостар и Билећа). У Сарајеву декаде 1981-1990. и 1991-2000. Имају по 3 сушне године, док је у Бијељини најсушнија последња декада са 2 сушне године.

На половини станица (4) максималан број влажних година забележен је у последњој декади 2001-2010. (у Бихаћу, Добоју, Бијељини, Сарајеву). У Билећи је био подједнак број влажних година у 2001-2010. и 1971-1980., а у Бања Луци и Ливну највише их је било у декади 1971-1980. Само је у Мостару највише влажних година било у декади 1961-1970.

Дакле, јасно се издвајају декада 1981-1990. са највећим бројем сушних и 2001-2010. са највећим бројем влажних година. У декади 1981-1990. су и вредности Северно атлантске осцилације (NAO) и Арктичке осцилације (АО), као доминантних мода колебања падавина у Европи, односно северној хемисфери имале највише вредности. У декади 2001-2010. NAO индекс је достигао најниже вредности. (табела 2). Арктичка осцилација представља разлику у ваздушном притиску на нивоу мора између

At five stations, the 1981-1990 decade was most dry (Bihać, Banjaluka, Doboј, Mostar, and Bileća). In Sarajevo, 1981-1990 and 1991-2000 decades had 3 dry years each, and in Bijeljina the driest was the last decade with two dry years.

At half stations (4), the maximum number of humid years was in the last decade 2001-2010 (in Bihać, Doboј, Bijeljina, and Sarajevo). In Bileća, there were an equal number of humid years in 2001-2010 and 1971-1980. In Banja Luka and Livno, most humid years were in 1971-1980. It was only in Mostar that most humid years were 1961-1970.

Hence, 1981-1990 had most dry years and 2001-2010 had most humid ones. During 1981-1990 decade, the values of North Atlantic Oscillation (NAO) and Arctic Oscillation (AO) being the dominant model of precipitation fluctuation in Europe (north atmosphere) were the highest. During 2001-2010, NAO index reached the lowest values (table 2). Arctic Oscillation is the difference in air pressure at the sea level between the 37-45N Arctic belt (<http://jisao.washington.edu/ao/>), and NAO

Арктичког појаса појаса 37-45N0. (<http://jisao.washington.edu/ao/>), док се NAO индекс традиционално дефинише као нормализована разлика у притиску између једне метеоролошке станице на Азорима и друге на Исланду (<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/nao/>).

index is traditionally defined as a normalized difference in pressure between a weather station in Azure and the other one in Iceland (<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/nao/>).

Таб. 2. Декадне вредности Северно атлантске осцилације (NAO)<sup>1</sup> и Арктичке осцилације (AO)<sup>2</sup>  
Tab. 2. Decade values of North Atlantic Oscillation (NAO)<sup>1</sup> and Arctic oscillation (AO)<sup>2</sup>

Декаде/ Decade	Арктичка осцилација (АО)/ Arctic oscillation (AO)	Северно атлантска осцилација (NAO)/North Atlantic Oscillation (NAO)
1961-1970	-0.321	0.000
1971-1980	-0.109	-0.003
1981-1990	0.074	0.224
1991-2000	0.027	0.061
2001-2010	-0.130	-0.495

<sup>1</sup>[http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily\\_ao\\_index/monthly.ao.index.b50.current.ascii.table](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/monthly.ao.index.b50.current.ascii.table);

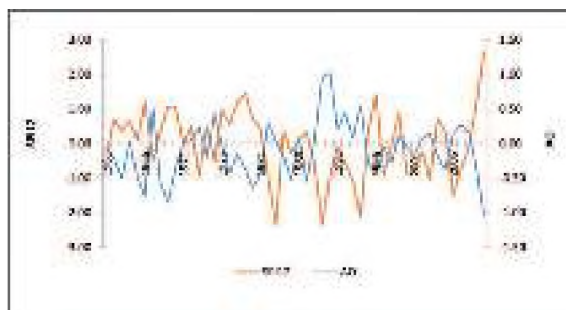
<sup>2</sup><http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/nao/>

Hurrell и van Loon (1997) утврдили су да NAO има утицаја на климу Европе. Сигнал NAO у цикличности падавина у Републици Српској уочили су и Дуцић et al. (2008).

На међугодишње варијације, такође, у великој утичу промене у циркулацији атмосфере. Прорачуни су показали најбољу, статистички значајну везу између Арктичке осцилације (АО) и SPI12 за Мостар ( $r=-0.72$ ). Максималне вриједности SPI биле су 2010., када је била најнижа вриједност АО, а секундарни минимум SPI подудар се са секундарним максимумом АО (графикон 3).

Hurrell and van Loon (1997) proved that NAO affected Europe climate. NAO signal in precipitation cycle in the Republic of Srpska was also observed by Ducić et al. (2008).

The interannual variations also largely affect the shift in atmosphere circulation. Calculations indicate the best, statistically relevant connection between AO and SPI12 for Mostar ( $r=-0.72$ ). Maximum SPI values were in 2010 with the lowest AO value, and the secondary SPI minimum matched the secondary AO maximum (graph 3).



Граф. 3. Међугодишње промене SPI12 у Мостару и Арктичка осцилација  
Graph 3. Interannual changes of SPI12 in Mostar and Arctic Oscillation

SPI ЗА СЕЗОНЕ - SPI3

SPI FOR SEASONS - SPI3

Анализа линеарног тренда за SPI3 за фебруар (метеоролошка зима – децембар протекле – фебруар текуће године) показује да је у посматраном периоду на станицама у Херцеговини (Ливно, Мостар и Билећа), као и у Сарајеву и Добоју присутан силазни тренд SPI (дошло је до повећања сушности), али промене нису биле статистички значајне. У Бихаћу Бања Луци и Бијељини тренд је несигнификантно позитиван.

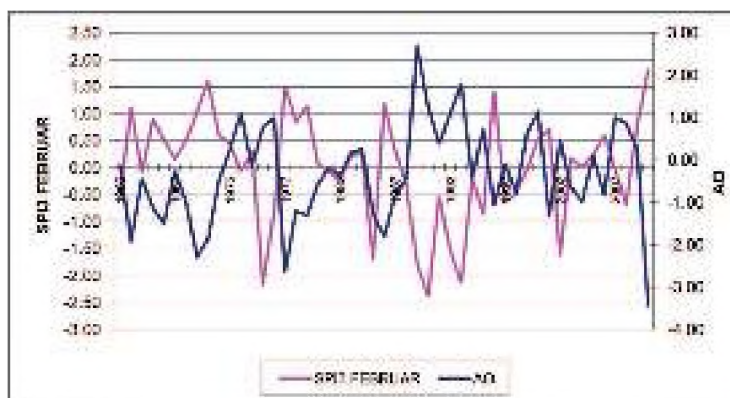
Највећи простор суша је заузимала у зиму 1975., 1989. и 1990. године када је свих 8 станица истовремено показивало вредности SPI ниже или једнако од -1. Занимљиво је да су две екстремно сушне зиме забележене у 2 суседне године (1989 и 1990.), при чему су сушне зиме 1990. на три станице (Бања Лука, Сарајево и Мостар) забележене најниже вредности SPI у посматраном периоду. И подаци DMCSEE показују да су у зиму 1990. велики делови ЈИ Европе били захваћени сушом, а да је на готово целој територији БиХ она имала екстремни карактер (слика 1, горе лево).

Посматрано по декадама, на већини станица се издвајају 1971-1980. и 1981-1990. као декаде са највећим бројем сушних зима, док је највећи број влажних био у првој декади (1961-1970). Управо у зимској сезони забележене су најбоље корелације са параметрима циркулације NAO и АО, при чему је Пирсонов коефицијент корелације поново достигао највише вредности између АО и SPI3 за Мостар од -0.73 (графикон 4). Lopez-Moreno и Vicente-Serrano (2008) добили су сличне резултате за NAO и падавине у јужној Европи.

The analysis of linear SPI3 trend for February (meteorological winter – December of the previous year – February of the current year) indicates that during the observed period in Herzegovina weather stations (Livno, Mostar, and Bileća) and in Sarajevo and Doboј the SPI trend was decreasing (draught increase) but the changes were not statistically relevant. In Bihać, Banja Luka, and Bijeljina, the trend was insignificantly positive.

Draught expansion was largest in winters of 1975, 1989, and 1990 as all eight stations simultaneously measured SP3 values lower or equal to -1. It is interesting that there were two extremely dry winters in two consecutive years (1989 and 1990) and in winter of 1990 three stations (Banja Luka, Sarajevo and Mostar) registered the lowest SPI values for the observed period. Even DMCSEE data showed that in winter of 1990, large parts of SE Europe were struck by draught and in almost whole of BiG territory that draught was extreme (Picture 1, upper left).

From the decade point of view, most weather stations indicated 1971-1980 and 1981-1990 to have had most dry winters, and 1961-1970 periods was most humid. It was the winter season that marked best correlation with NAO and AO parameters, in which Pirson correlation coefficient again reached highest values between AO and SPI3 for Mostar (-0.73) (graph 4). Lopez-Moreno and Vicente-Serrano (2008) obtained similar results for NAO and south Europe precipitation.



Граф. 4. Међугодишње промене SPI3 за фебруар у Мостару и Арктичка осцилација  
 Graph 4. Interannual SPI3 changes in Mostar in February and Arctic oscillation

Линеарни тренд SPI3 за мај (метеоролошко пролеће) ни на једној станици није статистички значајан, а нема ни одређене географске правилности у знаку тренда.

Највећи простор суша је заузимала 2003. Тог пролећа суша је забележена на свих 8 станица, а чак на 7 је забележен апсолутни минимум вредности SPI, тако да се у сваком погледу може сматрати екстремном. DMCSEE карта такође показује да су и суседне земље биле захваћене сушом (изузимајући источну Србију), а да је на целој територији БиХ она имала екстремни карактер. (слика 1, горе десно). И у Словенији је суша 2003., била најекстремнија за последњих 50 година, а пољопривредна суша је била праћена и екстремно високим температурама и повећаном евапотранспирацијом (Ceglar et al. 2008).

Највећи број сушних пролећа је на станицама на северу (Бања Лука, Добој, Бијељина) био у декади 1971-1980. У ниској Херцеговини (Мостар и Билећа) највише сушних пролећа је било у декади 1991-2000. На осталим станицама нема изразите концентрације сушних пролећа у једној декади. У погледу влажних пролећа изразита концентрација се запажа на станицама Бања Лука, Добој и Ливно (са по 4) у последњој декади (2001-2010.).

Линеарни тренд SPI3 за август (метеоролошко лето) је негативан на већини станица (5), дакле, дошло је до повећања сушности, при чему је за Бихаћ и Билећу тренд статистички сигнификантан. У три године суша је забележена на по 6 станица (1971, 2000 и 2003.) Највећи интензитет је имала 2000. када је на станицама Бања Лука, Бијељина, Сарајево и Ливно забележена апсолутно најнижа вредност SPI. На DMCSEE креираној карти види се да је на готово целој територији БиХ забележена екстремна, а само у уском појасу на крајњем југоистоку суша је окарактерисана као јака (слика 1, доле лево).

Највећи број сушних лета је на половини станица био у декади 2001-2010. (Бихаћ, Бања Лука, Ливно и Билећа), док је у Мостару поред последње, подједнак број сушних лета био у декади 1981-1990. (по 3), а у Бијељини у декади

SPI3 May linear trend (meteorological spring) was statistically significant at no station and there was no trending geographical regularity.

The year of 2003 had most draught. In spring, draught was observed at all eight weather stations and seven stations had the absolute SPI minimum so we can refer to this year to have been extreme. DMCSEE map also indicates that the neighboring countries were also struck by draught (except east Serbia) and the whole of BiH territory suffered extreme draught (picture 1, upper right). Even in Slovenia, 2003 draught was most extreme in the last fifty years, and the agricultural draught was accompanied by extremely high temperatures and increased evapotranspiration (Ceglar et al. 2008).

Most dry springs were registered in north (Banja Luka, Doboј, and Bijeljina) in 1971-1980. In Herzegovina (Mostar and Bileća), most dry springs were registered in 1991-2000. Other stations did not have any extreme concentration of dry springs within a single decade. Humid springs were typical of stations in Banja Luka, Doboј, and Livno (4 each) over the last decade (2001-2010).

The linear SPI3 August trend (meteorological summer) was negative for most stations (5) so there was a draught increase and it was statistically relevant for Bihać and Bileća. In three years draught was typical for six stations (1971, 2000 and 2003). The intensity was strongest in 2000 as weather stations at Banja Luka, Bijeljina, Sarajevo and Livno measured absolutely lowest SPI values. DMCSEE map displays extreme draught in almost whole of BiH and it was only in a narrow southeast belt that the draught was strong (picture 1, lower left).

At half the stations, most dry summers were during the 2001-2010 decade (Bihać, Banja Luka, Livno and Bileća) and in Mostar the same number of dry summers was in 1981-1990 (3) and in Bijeljina in 1971-1980 (2). Therefore, 6 of 8 weather stations showed that the last decade had most summer draughts.

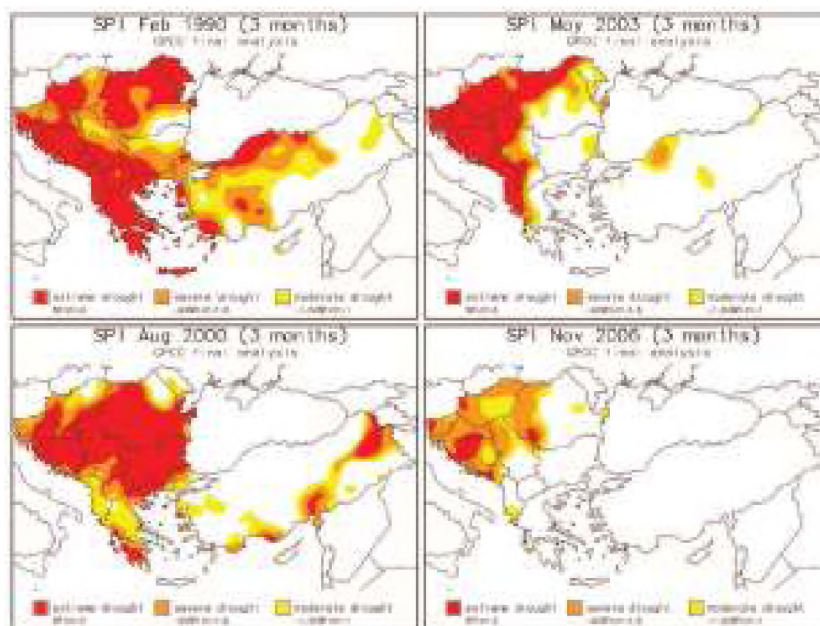
1971-1980. (по 2). Дакле, на 6 од 8 станица последња декада самостално или са још неком фигурира као декада са највећим бројем сушних лета, што несумњиво показује да је у последњој декади дошло до повећања учесталости летњих суша.

Међутим, ако се у разматрање узму и влажна лета, види се да на 5 станица (Бања Лука, Добој, Бијељина, Сарајево и Мостар) последња декада самостално или са још неком чини декаду са највећим бројем влажних лета. Дакле, осим сушних, у последњој декади се повећала и учесталост влажних лета, што је допринело томе да је декада 2001-2010. на 6 станица имала највећи број екстремних лета у падавинском погледу.

Линеарни тренд SPI3 за новембар (метеоролошка јесен) је позитивног знака на свим станицама, осим у Ливну, при чему је у Бијељини и статистички сигнификантан. И поред тога што је тренд за цео посматрани период био позитиван, једина јесен када су све станице бележиле сушу, била је при крају периода и то 2006. године, при чему је у Бања Луци и Добоју забележена апсолутно минимална вредност SPI. Карта креирана на сајту DMCSEE показује да је већи део западног дела земље, као и крајњи југоисток имао екстремно сушну јесен (слика 1, доле десно). Све станице су забележиле екстремно влажну јесен 1974. и 1996. године.

Nevertheless, if we consider the humid summer, we shall see that for five stations (Banja Luka, Doboј, Bijeljina, Sarajevo, and Mostar) the last decade (separately or in a combination) had the largest number of humid summers. Hence, except dry summers, the last decade saw a higher frequency of humid summer periods, which caused 6 stations in 2001-2010 decade to have had most extreme summers with reference to precipitation.

The linear SPI3 November trend (meteorological autumn) was positive for all stations except in Livno. In Bijeljina, it was statistically relevant. Even though the trend was positive during the whole observed period, the only autumn that all stations registered as dry was in 2006 – Banja Luka and Doboј had the absolute SPI value minimum. DMCSEE map indicated that most west parts of the country and far southeast had extreme autumn (picture 1, lower right). All weather stations have extremely humid autumn in 1974 and 1996.



Сл. 1. Просторни распоред суше у југоисточној Европи за:

Горе лево - SPI3 за фебруар 1990. (<http://www.dmcsee.org/en/spi/?year=1990&month=Feb&TimeScale=3&DataType=GPCC>),  
Горе десно - SPI3 за мај 2003. (<http://www.dmcsee.org/en/spi/?year=2003&month=May&TimeScale=3&DataType=GPCC>),  
Доле лево - SPI3 за август 2000. (<http://www.dmcsee.org/en/spi/?year=2000&month= Avg&TimeScale=3&DataType=GPCC>) i  
Доле десно - SPI3 за новембар 2006. (<http://www.dmcsee.org/en/spi/?year=2006&month=Nov&TimeScale=3&DataType=GPCC>)

Рис. 1. Spatial distribution of draught in SE Europe:

Upper left - SPI3 February 1990. (<http://www.dmcsee.org/en/spi/?year=1990&month=Feb&TimeScale=3&DataType=GPCC>),  
Upper right - SPI3 May 2003. (<http://www.dmcsee.org/en/spi/?year=2003&month=May&TimeScale=3&DataType=GPCC>),  
Lower left - SPI3 August 2000. (<http://www.dmcsee.org/en/spi/?year=2000&month= Avg&TimeScale=3&DataType=GPCC>) and  
Lower right - SPI3 November 2006. (<http://www.dmcsee.org/en/spi/?year=2006&month=Nov&TimeScale=3&DataType=GPCC>).

Посматрано по декадама, највечи број сушних јесени је било у декади 1981-1990., када је на 5 станица забележен максимум самостално или са још неком декадом. У последњој декади ни на једној станици није забележен максимум сушних јесени, али је на свим станицама највећи број влажних јесени забележен у једној или обе декаде при крају посматраног низа (1991-2000. и 2001-2010).

Prom the decade point of view, driest autumns were in 1981-1990 as five stations had maximum values. Over the last decade, no station registered maximum dry autumn but that all had the largest number of humid autumn in one or two last decades of the observed period. (1991-2000 and 2001-2010).

## ЗАКЉУЧАК

Анализирани су подаци за SPI за мрежу од 8 метеоролошких станица (Бихаћ, Бањалуку, Добој Бијељину, Ливно, Мостар Билећу и Сарајево). Станице покривају веће физичко географске целине у Босни и Херцеговини. За све станице као референтни период за SPI узет је исти низ од 50 година (1961-2010.). Обиље података је захтевало селекцију, тако да су за

## CONCLUSION

The SPI data were analyzed for eight weather stations (Bihać, Banjaluka, Doboј, Bijeljina, Livno, Mostar, Bileća, and Sarajevo). The stations covered large physical-geographical regions in Bosnia and Herzegovina. The referential period for all weather stations was the same, i.e. a fifty-year range (1961-2010). The vast data demanded

SPI12 обрађени подаци за календарску годину, а за SPI3 подаци за метеоролошке сезоне. У обраду су узете све сушне ( $SPI \leq -1$ ) и влажне ( $SPI \geq 1$ ) вредности одређене временске дужине (за SPI1, SPI3 и SPI12).

У периоду од 1961 до 2010. на станицама у Херцеговини (Ливно, Мостар и Билећа) линеарни тренд SPI12 је био негативан (дошло је до повећања сушности), али промене нису биле статистички значајне. На осталим станицама забележен је позитиван линеарни тренд, али је једино у Бијељини био статистички значајан. Највећи простор суша је заузимала 1983. и 2003. године када је 7 станица истовремено показивало вредности SPI12 ниже или једнако од -1.

Број метеоролошких станица на којима је регистрована суша је у у периоду 1961-2010. растао по стопи од 1,3 по веку. С друге стране, и број екстремно влажних година је у порасту (1,7 по веку), Збир броја станица на којима су забележене екстремно влажне и екстремно сушне године указује на повећање броја станица са екстремним вредностима од 1,1 станице по веку. Међутим, ниједна од ових промена није статистички значајна.

Јасно се издвајају декада 1981-1990. са највећим бројем сушних и 2001-2010. са највећим бројем влажних година. У декади 1981-1990. су и вредности Северно атлантске осцилације (NAO) и Арктичке осцилације (АО), као доминантних мода колебања падавина у Европи, односно северној хемисфери имале највише вредности. У декади 2001-2010., NAO индекс је достигао најниже вредности. На међугодишње варијације, такође, у великој утичу промене у циркулацији атмосфере. Прорачуни су показали најбољу, статистички значајну везу између АО и SPI12 за Мостар ( $r = -0.72$ ). Максималне вредности SPI су биле 2010., када је била најнижа вредност АО, а секундарни минимум SPI се подудара са секундарним максимумом АО. У првом Националном извештају је иначе констатовано је да се значајне промене могу видети у Мостару, где су просечне количине падавина у периоду 1982-2007. знатно ниже него у периоду 1956-1981. у свим месецима, осим у септембру.

Анализа линеарног тренда за SPI3 за фебруар (метеоролошка зима) показује да је у посматраном периоду на станицама у Херцеговини (Ливно, Мостар и Билећа), као и

a selection criterion so that the processed data for SPI12 covered a calendar year and SPI3 data covered a meteorological season. The processing included all the dry ( $SPI \leq -1$ ) and humid ( $SPI \geq 1$ ) values of a specific time interval (for SPI1, SPI3, and SPI12).

During the 1961-2010 periods, all stations in Herzegovina (Livno, Mostar, and Bileća) had a negative linear SPI12 trend (increased draught) but the changes were not statistically significant. Other stations had a positive trend and only in Bijeljina it was statistically relevant. Draught covered most area in 1983 and 2003 as seven weather stations simultaneously displayed SPI12 values lower or equal to -1.

The number of weather stations with draught during the 1961-2010 period grew per 1, 3 in a century. On the other hand, the number of extremely humid years grew (1, 7 per a century). The sum of stations having registered extremely dry and extremely humid years indicated that the stations with extreme values grew 1, 1 per a century. Nevertheless, none of the changes was statistically relevant.

1981-1990 decade had most dry and 2001-2010 decade had most humid years. During 1981-1990, values of North Atlantic Oscillation (NAO) and Arctic Oscillation (AO) along with the dominant European precipitation fluctuations were highest for the north atmosphere. In 2001-2010, NAO index reached its lowest values. The interannual variations also largely affected the atmosphere circulations. Calculations showed the best statistically relevant difference between AO and SPI12 for Mostar ( $r = -0.72$ ). Maximum SPI values were in 2010 when AO was the lowest and the secondary SPI minimum matched the secondary AO maximum. The first National report concluded that changes were significant in Mostar where mean precipitation in 1982-2007 was lower than in 1956-1981 for all months except September.

Analysis of linear SPI3 February trend (meteorological winter) showed that the SPI trend decreased at all stations in Herzegovina (Livno, Mostar, and Bileća) and in Sarajevo and Doboј but it was not statistically important. In Bihać, Banja Luka, and Bijeljina, the trend



у Сарајеву и Добоју присутан силазни тренд SPI (дошло је до повећања сушности), али промене нису биле статистички значајне. У Бихаћу, Бања Луци и Бијељини тренд је несигнификантно позитиван. У зимској сезони забележене су најбоље корелације са параметрима циркулације NAO и AO, при чему је коефицијент корелације поново достигао највише вредности између AO и SPI3 за Мостар од -0.73.

Линеарни тренд SPI3 за мај (метеоролошко пролеће) ни на једној станици није статистички значајан, а нема ни одређене географске правилности у знаку тренда. Највећи простор суша је заузимала 2003. Тог пролећа суша је забележена на свих 8 станица, а чак на 7 је забележен апсолутни минимум вредности SPI, тако да се у сваком погледу може сматрати екстремном.

Линеарни тренд SPI3 за август (метеоролошко лето) је негативан на већини станица (5), дакле, дошло је до повећања сушности при чему је за Бихаћ и Билећу тренд статистички сигнификантан. Највећи интензитет суша је интензитет имала 2000. када је на станицама Бања Лука, Бијељина, Сарајево и Ливно забележена апсолутно најнижа вредност SPI).

На 6 од 8 станица последња декада самостално или са још неком фигурира као декада са највећим бројем сушних лета, што несумњиво показује да је у последњој декади дошло до повећања учесталости летњих суша. Међутим, ако се у разматрање узму и влажна лета, види се да на 5 станица последња декада самостално или са још неком чини декаду са највећим бројем влажних лета. Дакле, осим сушних, у последњој декади се повећала и учесталост влажних лета, што је допринело томе да је декада 2001-2010. на 6 станица имала највећи број екстремних лета у падавинском погледу. Линеарни тренд SPI3 за новембар (метеоролошка јесен) је позитивног знака на свим станицама, осим у Ливну, при чему је у Бијељини и статистички сигнификантан. И поред тога што је тренд за цео посматрани период био позитиван, једина јесен када су све станице бележиле сушу, била је при крају периода и то 2006. године, при чему је у Бања Луци и Добоју забележена апсолутно минимална вредност SPI.

У Босни и Херцеговини је дошло до

was slightly positive. In winter, the best correlation was with NAO and AO circulation parameters and the correlation coefficient reached highest values between AO and SPI3 in Mostar (-0.73).

The linear SPI3 May trend (meteorological spring) was statistically irrelevant at all stations and there was no trending geographical regularity. Draught expanded most in 2003. That spring, all 8 weather stations registered draught and 7 had the minimum SPI values, which is why we may consider the year to have been extreme.

The linear SPI3 August trend (meteorological summer) was negative for most stations (5) meaning there was an increase of draught and it was statistically significant for Bihać and Bileća. The intensity of draught was strongest in 2000 as stations in Banja Luka, Bijeljina, Sarajevo and Livno had the absolutely lowest SPI values).

Over the last decade, 6 of 8 weather stations witnessed the largest number of dry summers, which undoubtedly showed the increase of dry summer frequency. Nonetheless, if we consider humid summers as well, 5 stations registered the last decade to have had the largest number of humid summers. Therefore, the last decade was characterized with both dry and humid summer increase. Therefore, the 2001-2010 decade had most extreme summer precipitation at sic weather stations.

The linear SPI3 November trend (meteorological autumn) was positive for all stations except in Livno, and it was statistically significant only in Bijeljina. Even though the trend was positive during the whole of the observed period, the only autumn that all stations registered as dry was in 2006 as Banja Luka and Doboј had absolute minimum SPI values.

In Bosnia and Herzegovina has been an increase in the dry and wet years, or an increase in extremes. Although it requires more research, there has been an Arctic oscillation signal shift in the dry and wet years in some meteorological stations

повећања сушних и влажних година, односно повећања екстремности. Мада то захтијева додатна истраживања, уочен је сигнал Арктичке осцилације у смјени сушних и влажних година код појединих метеоролошких станица

#### ЛИТЕРАТУРА/BIBLIOGRAPHY:

Wilhite, D. A., and M. H. Glantz, 1985: Understanding the drought phenomenon: The role of definitions, *Water International*, 10 (3), pp. 111-120.

Дуцић В., Трбић Г., Луковић Ј. (2008): Промене количине и режима падавина у Бањој Луци у другој половини 20. века, *Гласник (Herald) бр. 12*, Географско друштво Републике Српске, Бања Лука, 121-128.

Ђурђевић, В, Вујадиновић, М, Трбић, Г. (2013): Други национални извјештај Босне и Херцеговине о премјени климе према UNFCCC, UNDP, 73-76.

European Environment Agency (2001). Sustainable water use in Europe, Part 3: Extreme hydrological events: floods and droughts. *Environmental Issue Report No. 21*, pp. 1-84.

Lloyd-Hughes B., Saunders M. A. (2002): A Drought Climatology for Europe, *International Journal of Climatology* 22, 1571-1592.

Lopez-Moreno J. I., Vicente-Serrano S. M. (2008): Positive and Negative Phases of the Wintertime North Atlantic Oscillation and Drought Occurrence over Europe: A Multitemporal-Scale Approach, *Journal of Climate*, Volume 21, Issue 6 (March 2008), 1220-1243.

McKee T. B., Doesken N. J., Kleist. (1993): The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales, Eighth Conference on Applied Climatology, 17-22 January 1993, Anaheim, California, 1-6.

Spasova D., Trbic G., Trkulja V., Majstorovic Z. (2007): Study for Climate Change Impact Assessment on Agriculture and Adaptations Strategy Development in Bosnia and Herzegovina, Enhance regional SEE cooperation in the field of climate policy, Banja Luka, 1-36.

Трбић Г., Дуцић В., Рудан Н. (2009): Регионалне промјене количина падавина у Републици Српској, *Гласник (Herald) бр. 13*, Географско друштво Републике Српске, Бања Лука, 71-78.

Hurrell, J.W., van Loon H. (1997): Decadal variations in climate associated with the North Atlantic Oscillation, *Climatic Change* 36, 301-326.

Cancelliere, A., Loukas, A., Pangalou, D., Rossi, G., Tigkas, D., Tsakiris, G., Vangelis, H. (2007). Drought characterization [Part 1. Components of drought planning. 1.3. Methodological component]. In: Iglesias A. (ed.), Moneo M. (ed.), López-Francos A. (ed.). *Drought management guidelines technical annex*. Zaragoza: CIHEAM / EC MEDA Water, pp. 85-102.

Ceglar A., Črepinšek Z., Kajfež-Bogataj L. (2008): Analysis of meteorological drought in Slovenia with two drought indices, *Balwois*, 2008, Ohrid, Republic of Macedonia, 27-31. May 2008, 1-10.