

**САВРЕМЕНЕ КЛИМАТСКЕ ПРОМЈЕНЕ НА ПОДРУЧЈУ
СЕМБЕРИЈЕ – УТИЦАЈИ НА АГРАРНУ ПРОИЗВОДЊУ****Татјана Попов^{1*} и Драгица Делић¹**¹Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, Бања Лука, Република Српска

Сажетак: Рад анализира савремене климатске промјене на подручју Семберије и њихов утицај на аграрну производњу. На основу мјесечних података о температури и падавинама са метеоролошке станице Бијељина, утврђени су трендови температуре ваздуха, падавина, хидротермичког коефицијента према Сељанинову и индекса суше према Де Мартону у периоду 1961–2017. године. Резултати показују да температура ваздуха има тенденцију раста током цијеле године, док су трендови падавина сезонски промјенљиви (најизраженији су негативан тренд у сезони лјето и позитиван у јесен). Негативни трендови хидротермичког коефицијента и индекса суше у сезони лјето указују на повећање аридности климе. Приноси пољопривредних култура показују снажну зависност климатских услова, а првенствено од температуре ваздуха и доступне количине падавина у критичним фазама њиховог развоја. Утврђена је значајна негативна корелација између приноса кукуруза у Семберији и температуре у вегетационом периоду (а нарочито у сезони лјето), те значајна позитивна корелација са количином падавина и вриједностима хидротермичког коефицијента и индекса суше у наведеним периодима године. Очекује се да ће климатске промјене негативно утицати на принос усјева и глобалну производњу хране, стога ће бити нужно предузети низ мјера и активности у циљу адаптације и митигације пољопривредне производње у једном од најважнијих аграрних подручја у Републици Српској и Босни и Херцеговини.

Кључне ријечи: климатске промјене, аграрна производња, приноси кукуруза, Семберија.

Original scientific paper

**RECENT CLIMATE CHANGE IN THE SEMBERIJA
REGION – IMPACT ON AGRICULTURAL PRODUCTION****Tatjana Popov^{1*} and Dragica Delić¹**¹University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Banja Luka, Republic of Srpska

Abstract: The paper analyzes recent climate change over the Semberija region and their impact on agricultural production. Based on monthly temperature and precipitation data from the Bijeljina meteorological station, trends in temperature, precipitation, Selyaninov hydrothermal coefficient and De Marton drought index in the period 1961–2017 were determined. The results showed increasing temperature tendency throughout the year, whereas the precipitation trends were seasonally variable (the most prominent were a negative trend in summer season and a positive trend in autumn). Negative trends in the hydrothermal coefficient and drought index in the summer season indicate an increase in climate aridity. Crop yields show a strong dependence on climatic conditions, primarily on temperature and the available precipitation in the critical stages of their development. A significant negative correlation between the corn yields in Semberija and temperatures in the growing season (and particularly in the summer season) was determined, as well as a significant positive correlation with the precipitation, the hydrothermal coefficient and the drought index in these parts of the year. It is expected that climate change will negatively affect crop yields and global food production. Therefore, it will be necessary to undertake a range of measures and activities aimed at the adaptation and mitigation of agricultural production in one of the most important agrarian areas in the Republic of Srpska and Bosnia and Herzegovina.

Key words: climate change, agricultural production, corn yields, Semberija.

* Аутор за кореспонденцију: Татјана Попов, Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, Младена Стојановића 2, 78000 Бања Лука, Република Српска, Босна и Херцеговина, Е-mail: tatjana.popov@pmf.unibl.org

Corresponding author: Tatjana Popov, University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Mladena Stojanovića 2, 78000 Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina, E-mail: tatjana.popov@pmf.unibl.org

УВОД

Глобалне промјене средњих температура и температурних екстрема (њихове учесталости, интензитета и/или дужине трајања), које нису забиљежене посљедњих деценија и вијекова, утврђене су током друге половине 20. вијека и почетком 21. вијека (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014). С друге стране, промјене средњих и екстремних падавина генерално мање су кохерентне (просторно и временски присутни су трендови различитог знака), али углавном слабог интензитета и са ниским нивоом статистичке значајности (Alexander et al., 2006). Слични трендови присутни су и на подручју Републике Српске и Босне и Херцеговине (Popov, Gnjato, & Trbić, 2018a, 2019b; Popov, Gnjato, Trbić, & Ivanišević, 2018c; Trbić, Popov, & Gnjato, 2017; Vidić & Delić, 2019). Промјене температуре и падавина, али и екстремних климатских догађаја, као што су топли таласи, суше, поплаве, циклони, олује и шумски пожари, откривају значајну рањивост и изложеност бројних природних и социо-економских система (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014). Климатске промјене снажно ће утицати на све на кључне секторе економије у Републици Српској и Босни и Херцеговини, као што су пољопривреда, шумарство, енергетика и туризам (Radusin et al., 2013).

Ова студија представља наставак истраживања климатских промјена у Босни и Херцеговини (Popov et al., 2018a, 2018c, 2019b; Trbić et al., 2017) и њиховог утицаја на пољопривредну производњу (Popov, Gnjato, & Trbić, 2019a), која представља један од кључних сектора привреде у Босни и Херцеговини. За истраживање одабрана је Семберија, једно од најважнијих пољопривредних подручја у Републици Српској и Босни и Херцеговини. Ранија истраживања у перипанонском региону утврдила су да је на подручју Семберије присутно загријавање климатског система. У периоду 1961–2016. године средње, максималне и минималне температуре порасле су за 0.3°C–0.5°C, 0.4°C–0.6°C и 0.3°C–5°C по

INTRODUCTION

Global changes in mean temperatures and temperature extremes (their frequency, intensity and/or duration) that have not been observed in recent decades and centuries have been determined during the second half of the 20th century and at the beginning of the 21st century (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014). On the other hand, changes in mean and extreme precipitation were generally less coherent (spatially and temporally trends of different signs occurred), but mostly weak and with a lower level of statistical significance (Alexander et al., 2006). Similar trends were also present in the Republic of Srpska and Bosnia and Herzegovina (Popov, Gnjato, & Trbić, 2018a, 2019b; Popov, Gnjato, Trbić, & Ivanišević, 2018c; Trbić, Popov, & Gnjato, 2017; Vidić & Delić, 2019). Changes in temperature and precipitation, but also extreme climate events, such as heat waves, droughts, floods, cyclones, storms and forest fires, reveal a significant vulnerability and exposure of many natural and socio-economic systems (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014). Climate change will strongly affect all key economy sectors in the Republic of Srpska and Bosnia and Herzegovina, such as agriculture, forestry, energy and tourism (Radusin et al., 2013).

This study is a continuation of research on climate change in Bosnia and Herzegovina (Popov et al., 2018a, 2018c, 2019b; Trbić et al., 2017) and their impact on agricultural production (Popov, Gnjato, & Trbić, 2019a), which is one of the key economy sectors in Bosnia and Herzegovina. Semberija, one of the most important agrarian areas in the Republic of Srpska and Bosnia and Herzegovina, was selected as the study area. Previous research in the Peripannonian region found that the climate system warming is present over the Semberija region. During the period 1961–2016, mean, maximum and minimum temperatures increased by 0.3°C–0.5°C, 0.4°C–0.6°C and 0.3°C–5°C per decade, respectively (Popov et al., 2019b;

деценији, респективно (Popov et al., 2019b; Trbić et al., 2017). Иако је тренд пораста температуре присутан током цијеле године, загријавање је најизраженије у сезони лјето, а затим у сезонама зима и прољеће, док су промјене у сезони јесен знатно слабијег интензитета (Popov et al., 2019b; Trbić et al., 2017). Позитивни трендови индекса топлих екстрема и негативни трендови индекса хладних екстрема такође потврђује тенденцију пораста загријавања (Popov et al., 2019b). Трендови средњих и екстремних падавина просторно и сезонски су различитог знака и углавном још нису статистички значајни (Popov et al., 2018a). Ипак, треба истакнути да су уочени трендови који указују на промјене ка интензивнијим падавинама (Popov et al., 2018a).

Потенцијални утицаји климатских промјена на приносе пољопривредних култура постају све важније питање, које изазива велику забринутост у свијету посљедњих деценија због уочених негативних утицаја на производњу усјева и сигурност снабдијевања човјечанства храном (He et al., 2018; Zhang, Zhao, Chen, Guo, & Wang, 2015). Бројне студије истраживале су ефекте климатских промјена на производњу усјева (Cai, Wang, & Laurent, 2009; Ceglar & Kajfež-Bogataj, 2012; Deryng, Conway, Ramankutty, Price, & Warren, 2016; He et al., 2018; Kang, Khan, & Ma, 2009; Knox, Daccache, Hess, & Haro, 2016; Lobell & Gourdji, 2012; Matiu, Ankerst, & Menzel, 2017; Olesen et al., 2011; Rosenzweig et al., 2014; Ummenhofer et al., 2015; Zhang et al., 2015). Ипак, у Босни и Херцеговини ово питање још је недовољно истражено.

Значајан дио напретка у пољопривредној производњи резултат је технолошког прогреса у генетици, агрономији и начину коришћења ресурса (примјена ђубрива, начини обрађивања, селекција хибрида, управљање наводњавањем, плодоред, вријеме и дубина сијања итд.) (Kukal & Irmak, 2018). Ипак, и вријеме и клима такође су важни фактори који утичу на пољопривредне производне системе, јер су истраживања показала да су недавне промјене климатских варијабли утицале на трендове приноса усјева упркос напретку технологије (Kukal & Irmak,

Trbić et al., 2017). Although the increasing temperature trend was present throughout the year, warming was most prominent in the summer season, and then in winter and spring seasons, whereas changes in autumn were with a considerably lower rates (Popov et al., 2019b; Trbić et al., 2017). Positive trends in the warm-related extreme indices and negative trends in the cold-related extreme indices also confirm a warming tendency (Popov et al., 2019b). Trends in mean and extreme precipitation were spatially and seasonally incoherent, but yet not statistically significant (Popov et al., 2018a). However, it should be noted that observed trends indicate changes towards more intense precipitation (Popov et al., 2018a).

The potential impacts of climate change on crop yields are becoming an increasingly important issue, which has been a source of great concern in the world in recent decades due to the observed negative effects on crop production and the security of global food supply (He et al., 2018; Zhang, Zhao, Chen, Guo, & Wang, 2015). Numerous studies have analyzed the effects of climate change on crop production (Cai, Wang, & Laurent, 2009; Ceglar & Kajfež-Bogataj, 2012; Deryng, Conway, Ramankutty, Price, & Warren, 2016; He et al., 2018; Kang, Khan, & Ma, 2009; Knox, Daccache, Hess, & Haro, 2016; Lobell & Gourdji, 2012; Matiu, Ankerst, & Menzel, 2017; Olesen et al., 2011; Rosenzweig et al., 2014; Ummenhofer et al., 2015; Zhang et al., 2015). However, in Bosnia and Herzegovina, this issue has not yet been sufficiently researched.

A significant portion of the advances in agricultural production is a result of technological advances in genetics, agronomic and resource use practices (fertilizer applications, tillage, crop hybrid selection, irrigation management, plant rotation, planting date and depth, etc.) (Kukal & Irmak, 2018). However, weather and climate are also prominent drivers of agricultural production systems; hence, studies showed that recent climate change substantially affected crop

2018). Климатске промјене утичу на приносе усјева на различите начине, зависно од подручја, врсте усјева и могућности наводњавања (Kukal & Irmak, 2018). Међугодишња варијабилност приноса усјева у великој мјери узрокована је варијабилношћу климатских услова (првенствено температуре и падавина). Повећање температуре и недовољна влажност значајно су смањили приносе кукуруза, пшенице и соје на глобалном нивоу (Matiu et al., 2017). Суше и екстремни топли таласи значајно су смањили националну производњу житарица за 9–10 % – губици у производњи услед суша били су повезани са смањењем и пожњевене површине и приноса, док је екстремна топлота углавном смањила приносе житарица (Lesk, Rowhani, & Ramankutty, 2016). Климатске промјене и повећање концентрације атмосферског угљен-диоксида (CO_2) у протеклих неколико деценија били су прилично брзи у многим пољопривредним регионима свијета (Lobell & Gourdji, 2012). Очекује се да ће пројектоване промјене учесталости и интензитета екстремних климатских догађаја негативно утицати на принос усјева и глобалну производњу хране (Deryng et al., 2016).

Дакле, главни циљ ове студије је да се анализирају савремене климатске промјене на подручју Семберије и да се размотре ефекти утврђених образаца промјена климе на аграрну производњу, првенствено на производњу кукуруза, најважније културе на овом подручју, а за коју су истраживања (Deryng et al., 2016; He et al., 2018; Knox et al., 2016; Olesen et al., 2011; и др.) показала да ће у односу на друге културе бити знатно угроженија промјенама климе.

МАТЕРИЈАЛИ И МЕТОДЕ

Анализа савремених климатских промјена на подручју Семберије у периоду 1961–2017. године извршена је на основу података о средњим мјесечним температурама и падавинама са метеоролошке станице Бијељина лоциране на 44°47' с. г. ш., 19°16' и. г. д. и 90 м. н. в., које је обезбиједио Републички хидрометеоролошки завод

yield trends despite the advances in technology (Kukal & Irmak, 2018). Climate change effects on crop yields are highly dependent on location, crop type and irrigation (Kukal & Irmak, 2018). Interannual crop yield variability is driven in large parts by climate variability (particularly temperature and precipitation). Increasing temperatures and insufficient moisture significantly reduced corn, wheat and soy yields globally (Matiu et al., 2017). Droughts and intense heat waves significantly reduced national cereal production by 9–10 % – production losses due to droughts were associated with a reduction in both harvested area and yields, whereas extreme heat mainly decreased cereal yields (Lesk, Rowhani, & Ramankutty, 2016). Climate change and increases in atmospheric carbon dioxide (CO_2) over the past few decades have been very rapid in many agricultural regions around the world (Lobell & Gourdji, 2012). Projected changes in the frequency and severity of extreme climatic events are expected to negatively affect crop yields and global food production (Deryng et al., 2016).

Given the stated, the main aim of this study is to analyze recent climate change in the Semberija region and to investigate the effects of the determined climate change patterns on agricultural production, primarily on the production of corn, the most important crop over this area, and for which studies (Deryng et al., 2016; He et al., 2018; Knox et al., 2016; Olesen et al., 2011; etc.) found that it will be much more vulnerable to climate change in relation to other crops.

MATERIALS AND METHODS

Analysis of recent climate change over the Semberija region for the period 1961–2017 was carried out based on data on average monthly temperatures and precipitation at the Bijeljina meteorological station, which is located at 44°47' N, 19°16' E and 90 a. s. l. Data were provided by the Republic Hydrometeorological Institute of the Republic of Srpska. Given that

Републике Српске. С обзиром на то да на метеоролошкој станици постоје прекиди мјерења у ратном и послјератном периоду (1991–1996), екстраполација недостајућих података извршена је коришћењем података са најближе станице са расположивим мјерењима у одговарајућем периоду (Лозница). Осим температуре и падавина, анализирана су два индекса која се израчунавају на основу температуре ваздуха и количине падавина, па на добар начин одражавају њихов комбиновани утицај. Хидротермички коефицијент према Сељанинову (Сељанинов, 1966) израчунат је према формули:

$$HTC = \frac{10 \sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n T_i (T > 10^{\circ}\text{C})}$$

гдје су: P_i сума падавина и T_i сума температуре за мјесеце са средњом температуром $> 10^{\circ}\text{C}$. За одређивање типа климе коришћена је класификација мало модификована за наше услове: < 0.5 – суво, $0.5\text{--}0.7$ – врло сушно, $0.7\text{--}1.0$ – сушно, $1.0\text{--}1.3$ – недовољно влажно, $1.3\text{--}1.5$ – умјерено влажно, $1.5\text{--}2.0$ – влажно, $2.0\text{--}3.0$ – врло влажно, > 3.0 – прекомјерно влажно (Otopec, 1991).

Годишње и мјесечне вриједности индекса суше према Де Мартону (De Martonne, 1926) израчунате су према формулама:

$$I_{DM} = \frac{P}{T+10} \quad I_{mDM} = \frac{12 P_m}{T_m+10}$$

гдје су: I_{DM} и I_{mDM} годишњи и мјесечни индекс суше, P и P_m средња годишња и мјесечна количина падавина, T и T_m средња годишња и мјесечна температура ваздуха. Тип климе одређен је према сљедећој класификацији: < 10 – аридна, $10\text{--}20$ – семиаридна, $20\text{--}24$ – медитеранска, $24\text{--}28$ – семихумидна, $28\text{--}35$ – хумидна, > 35 – перхумидна.

За све параметре извршена је анализа тренда у цијелом анализираном периоду, као и у два потпериода: у стандардном климатолошком

there were interruptions in measurements at the meteorological station in the war and post-war period (1991–1996), the extrapolation of missing data was performed using data from the nearest station with the available measurements in the corresponding period (Loznica). In addition to temperature and precipitation, two indices calculated based on temperature and precipitation were used because they well reflect their combined effect. Selyaninov hydrothermal coefficient (Сељанинов, 1966) was calculated following the formula:

$$HTC = \frac{10 \sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n T_i (T > 10^{\circ}\text{C})}$$

where: P_i is precipitation and T_i is temperature sums for months with mean temperature $> 10^{\circ}\text{C}$. For determination of climate type, a slightly modified to our conditions classification was used: < 0.5 – extremely dry, $0.5\text{--}0.7$ – very dry, $0.7\text{--}1.0$ – dry, $1.0\text{--}1.3$ – insufficiently wet, $1.3\text{--}1.5$ – moderately wet, $1.5\text{--}2.0$ – wet, $2.0\text{--}3.0$ – very wet, > 3.0 – extremely wet (Otopec, 1991).

The annual and monthly values of the De Marton drought index (De Martonne, 1926) were calculated according to the following formulas:

$$I_{DM} = \frac{P}{T+10} \quad I_{mDM} = \frac{12 P_m}{T_m+10}$$

where I_{DM} and I_{mDM} are annual and monthly drought indices, P and P_m are mean annual and monthly precipitation, T and T_m are mean annual and monthly temperatures. The climate type is determined according to the following classification: < 10 – arid, $10\text{--}20$ – semiarid, $20\text{--}24$ – mediterranean, $24\text{--}28$ – semihumid, $28\text{--}35$ – humid, > 35 – perhumid.

For all parameters, trends were estimated for the full analyzed period, and for two subperiods: standard climatological period

периоду (1961–1990) и у периоду након обнављања мјерења (1997–2017). За утврђивање постојања тренда у временској серији, те његове статистичке значајности, коришћени су непараметријски Ман-Кендал тест и Сенов метод.

Приноси кукуруза, најважније ратарске културе у Семберији, у периоду 1997–2017. године анализирани су на основу података преузетих из публикација Републичког завода за статистику Републике Српске – *Статистички годишњак Републике Српске* за 2009, 2014. и 2015. годину и *Градови и општине Републике Српске, 2018*. Утврђени су трендови производње и приноса у Бијељини, у којој се налази метеоролошка станица, како би се анализирао утицај уочених промјена климе на аграрну производњу. Приноси пољопривредних култура показују снажну зависност од температуре ваздуха и доступне количине падавина у критичним фазама њиховог развоја. У циљу испитивања њихове повезаности, корелационом анализом утврђена је зависност приноса кукуруза од годишње температуре ваздуха, температуре ваздуха у вегетационом периоду и у сезони лјето, те од количине падавина у наведеним периодима године, као и од хидротермичког коефицијента и индекса суше у вегетационом периоду и у сезони лјето. За квантификацију зависности коришћен је Пирсонов коефицијент корелације. Сви израчуни извршени су у XLSTAT верзији 2014.5.03.

РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Средња годишња температура ваздуха у Бијељини у анализираном периоду 1961–2017. године износи 11.5°C (Таб. 1). Најхладнији мјесец је јануар (0.3°C), а најтоплији јули (21.9°C). Највећа годишња амплитуда температура на цијелом подручју Републике Српске присутна је управо у Семберији, која и представља њен најконтиненталнији дио (Попов, 2017). Максимум од 43.0°C измјерен је у јулу 2007. године, а минимум од -28.2°C забиљежен је 24. јануара 1963. године.

(1961–1990) and the period after the re-establishing the measurements (1997–2017). To determine the possible existence of a trend in the time series and its statistical significance, the nonparametric Man-Kendal test and Sen's method were used.

Yields of corn, the most important crop in the Semberia region, in the period 1997–2017, were analyzed based on data from the publications of the Republic of Srpska Institute of Statistics – *Statistical Yearbook of the Republic of Srpska for 2009, 2014 and 2015* and the *Cities and Municipalities of the Republic of Srpska, 2018*. Trends in corn production and yields were determined for Bijeljina, where the meteorological station is located, in order to analyze the impact of observed climate change on agricultural production. Crop yields show a strong dependence on temperature and available precipitation at critical stages of their development. In order to examine their relationships, the correlation analysis was performed to determine the dependence of corn yields on annual, growing season and summer temperature and precipitation, as well as the hydrothermal coefficient and drought index in the growing season and in the summer season. Pearson correlation coefficient was used to quantify these relationships. All calculations were made in XLSTAT version 2014.05.03.

RESULTS AND DISCUSSION

Mean annual temperature in Bijeljina in the analyzed period 1961–2017 was 11.5°C (Tab. 1). The coldest month was January (0.3°C) and the hottest July (21.9°C). The highest annual temperature amplitude over the entire territory of the Republic of Srpska is a characteristic of the Semberija region, which represents its most continental part (Popov, 2017). Maximum temperature of 43.0°C was recorded in July 2007, whereas minimum of -28.2°C was recorded on January 24, 1963. Analysis of seasonal

Анализа сезонских температура показује да је лјето најтоплија сезона (21.2°C), а зима најхладнија (1.4°C) (Таб. 2). У сјеверном дијелу Републике Српске, не постоје велике разлике у температури у сезонама прољеће и јесен (у Бијељини 11.8°C напрема 11.7°C). Средња годишња количина падавина у Бијељини износи 741.4 mm . Максимална количина падавина излучи се крајем прољећа и почетком лjeta – у јуну (90.0 mm), док се минимум јавља у фебруару (45.6 mm). Падавине су релативно равномјерно распоређене током године. Ипак, највећа количина падавина излучи се у сезони лјето (29 % укупних годишњих падавина), а најмања у сезони зима (21 %). У вегетационом периоду, када су пољопривредним културама и најпотребније, излучи се 412.2 mm , што представља 55 % укупне годишње количине падавина. Годишњи индекс суше (34.5) указује да је на територији Семберије клима хумидна, тј. да на наведеном подручју доминира егзореизам, са сталним периферним одводњавањем, а када је ријеч о природној вегетацији, највећи простор заузимају слабе шуме. Мјесечни индекс суше показује да је клима перхумидна и хумидна током већег дијела године (перхумидна у периоду новембар–март, а хумидна у периоду април–јуни и у октобру). Клима је семихумидна једино у периоду јули–септембар. Вриједности хидротермичког коефицијента почетком и крајем вегетационог периода (у априлу и октобру) указују на влажне услове средине у том периоду. Влажни услови владају до јуна, док је период јули–септембар недовољно влажан.

temperature showed that the warmest season is summer (21.2°C), and the coldest is being winter (1.4°C) (Tab. 2). Over the northern part of the Republic of Srpska, there are no major differences in temperature in spring and autumn seasons (in Bijeljina 11.8°C vs. 11.7°C). The average annual precipitation in Bijeljina was 741.4 mm . Maximum precipitation occurs in late spring and early summer – in June (90.0 mm), whereas the minimum is a characteristics of February (45.6 mm). Precipitation is relatively evenly distributed throughout the year. However, the highest precipitation occurs in the summer season (29 % of total annual precipitation), and the lowest in the winter season (21 %). During the growing season, when most needed to agricultural crops, there are on average 412.2 mm , which represents 55 % of the total annual precipitation. The annual value of drought index (34.5) indicates that over the Semberija region the climate is humid, i.e. that this area is dominated by external runoff, with constant peripheral drainage, and when it comes to natural vegetation, the largest area is covered by forests. The monthly drought index shows that the climate is perhumid and humid during most of the year (perhumid in the period November–March and humid during the period April–June and in October). The climate is semihumid only in the period July–September. The values of the hydrothermal coefficient at the beginning and at the end of the growing season (in April and October) indicate humid climate during that period. Humid conditions prevail until June, whereas the period July–September is insufficiently humid.

Таб. 1. Средње мјесечне и годишње температуре (t), падавине (P), хидротермички коефицијент (HTC) и индекс суше (I_{DM}) у Бијељини у периоду 1961–2017. године
Tab. 1. Average monthly and annual temperatures (t), precipitation (P), hydrothermal coefficient (HTC) and drought index (I_{DM}) in Bijeljina in the period 1961–2017

Индекс / Index	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	г / y
t ($^{\circ}\text{C}$)	0.3	2.5	6.8	11.8	16.8	20.2	21.9	21.4	17	11.7	6.4	1.6	11.5
P (mm)	51.8	45.6	55.0	62.5	73.7	90.0	69.9	59.1	56.9	54.6	63.9	59.3	741.4
HTC				1.8	1.5	1.5	1.1	0.9	1.2	1.6			
I_{DM}	66.8	47.7	40.6	34.9	33.5	36.3	26.6	23	25.7	30.7	47.8	64	34.5

Таб. 2. Средње сезонске температуре (t) и падавине (P) у Бијељини у периоду 1961–2017. године
Tab. 2. Average seasonal temperatures (t) and precipitation (P) in Bijeljina in the period 1961–2017

Индекс / Index	Зима / Winter	Прољеће / Spring	Љето / Summer	Јесен / Autumn	Бег. период / Growing season
t (°C)	1.4	11.8	21.2	11.7	18.2
P (mm)	157.7	191.2	219.0	175.4	412.2

У анализираном периоду 1961–2017. године присутни су значајни трендови пораста температуре ваздуха у свим годишњим добима (Таб. 3). Годишња температура порасла је за 0.4°C по деценији. Тренд загријавања очигледан је у свим сезонама, али је најизраженији у сезони љето – 0.6°C по деценији, а затим у сезонама зима и прољеће (0.4°C по деценији), док је у сезони јесен забиљежен само незнатан пораст температуре (0.2°C по деценији) (Таб. 4). Осим повећања средњих температура, на подручју Семберије присутни су и позитивни трендови екстремних температура. Средње годишње максималне и минималне температуре ваздуха значајно су порасле за 0.4°C и 0.3°C по деценији, респективно, а апсолутно максималне и минималне температуре за 0.6°C и 0.5°C по деценији, респективно (Попов, 2017). За разлику од температуре ваздуха, трендови падавина сезонски су веома промјенљиви, али углавном несигнификантни. У сезонама љето и зима присутан је негативан тренд, док су падавине у порасту у јесен и прољеће. На годишњем нивоу, падавине биљеже тренд пораста за 7.1 mm по деценији, док су падавине у вегетационом периоду смањене за 2.4 mm по деценији. Пораст температуре ваздуха и смањење количине падавина у сезони љето, имали су за последицу негативне трендове НТС и I_{DM} у периоду јуни–август. То указује да у овом периоду године долази до повећања аридности климе. Негативни трендови I_{DM} утврђени су и током новембра и децембра. С друге стране, почетком и крајем вегетационог периода повећава се влажност климе (Таб. 5).

During the analyzed period 1961–2017, significant positive temperature trends in all seasons were determined (Tab. 3). Annual temperature increased by 0.4°C per decade. The warming trend was apparant in all seasons, but most prominent was in the summer season (0.6°C per decade), then in winter and spring seasons (0.4°C per decade), whereas in autumn only a slight increase in temperature was recorded (0.2°C per decade) (Tab. 4). In addition to the mean temperatures increase, positive trends in extreme temperatures were also found in the Semberija region. Annual mean maximum and minimum temperatures increased significantly by 0.4°C and 0.3°C per decade, respectively, whereas the absolute maximum and minimum temperatures increased by 0.6°C and 0.5°C per decade, respectively (Попов, 2017). Unlike temperature, precipitation trends were seasonally very incoherent, but mainly insignificant. During the summer and winter seasons, the negative trend was found, whereas precipitation increased in autumn and spring. Annual precipitation increased by 7.1 mm per decade, whereas precipitation during the growing season decreased by 2.4 mm per decade. The increase in temperature and decrease in precipitation in the summer season resulted in negative trends in HTC and I_{DM} in the period June–August. This indicates that in this part of the year aridity is increasing. The negative I_{DM} trends were also determined in November and December. On the other hand, at the beginning and at the end of the growing season humidity was increasing (Tab. 5).

Таб. 3. Декадни трендови мјесечних и годишњих температура (t) и падавина (P) у Бијељини у периоду 1961–2017. године

Tab. 3. Decadal trends in monthly and annual temperatures (t) and precipitation (P) in Bijeljina in the period 1961–2017

Индекс / Index	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	г / y
t (°C)	0.6 ^b	0.3	0.4 ^c	0.4 ^b	0.3 ^b	0.5 ^a	0.7 ^a	0.7 ^a	0.1	0.2 ^d	0.2	0.4 ^b	0.4 ^a
P (mm)	2.3	1.5	3.1	2.6	5.1 ^d	-3.7	-1.2	-0.2	0.6	6.8 ^c	-2.4	-3.4	7.1

Статистички значајно на нивоу 99.9 % (a), 99 % (b), 95 % (c) и 90 % (d)
Statistical significance at the 99.9 % (a), 99 % (b), 95 % (c) and 90 % (d) level

Таб. 4. Декадни трендови сезонских температура (t) и падавина (P) у Бијељини у периоду 1961–2017. године

Tab. 4. Decadal trends in seasonal temperatures (t) and precipitation (P) in Bijeljina in the period 1961–2017

Индекс / Index	Зима / Winter	Прољеће / Spring	Лјето / Summer	Јесен / Autumn	Бер. период / Growing season
t (°C)	0.4 ^c	0.4 ^a	0.6 ^a	0.2 ^d	0.5 ^a
P (mm)	-2.1	8.5 ^d	-6.4	6.0	-2.4

Статистички значајно на нивоу 99.9 % (a), 99 % (b), 95 % (c) и 90 % (d)
Statistical significance at the 99.9 % (a), 99 % (b), 95 % (c) and 90 % (d) level

Таб. 5. Декадни трендови мјесечног хидротермичког коефицијента (HTC) и индекса суше (I_{DM}) у Бијељини у периоду 1961–2017. године

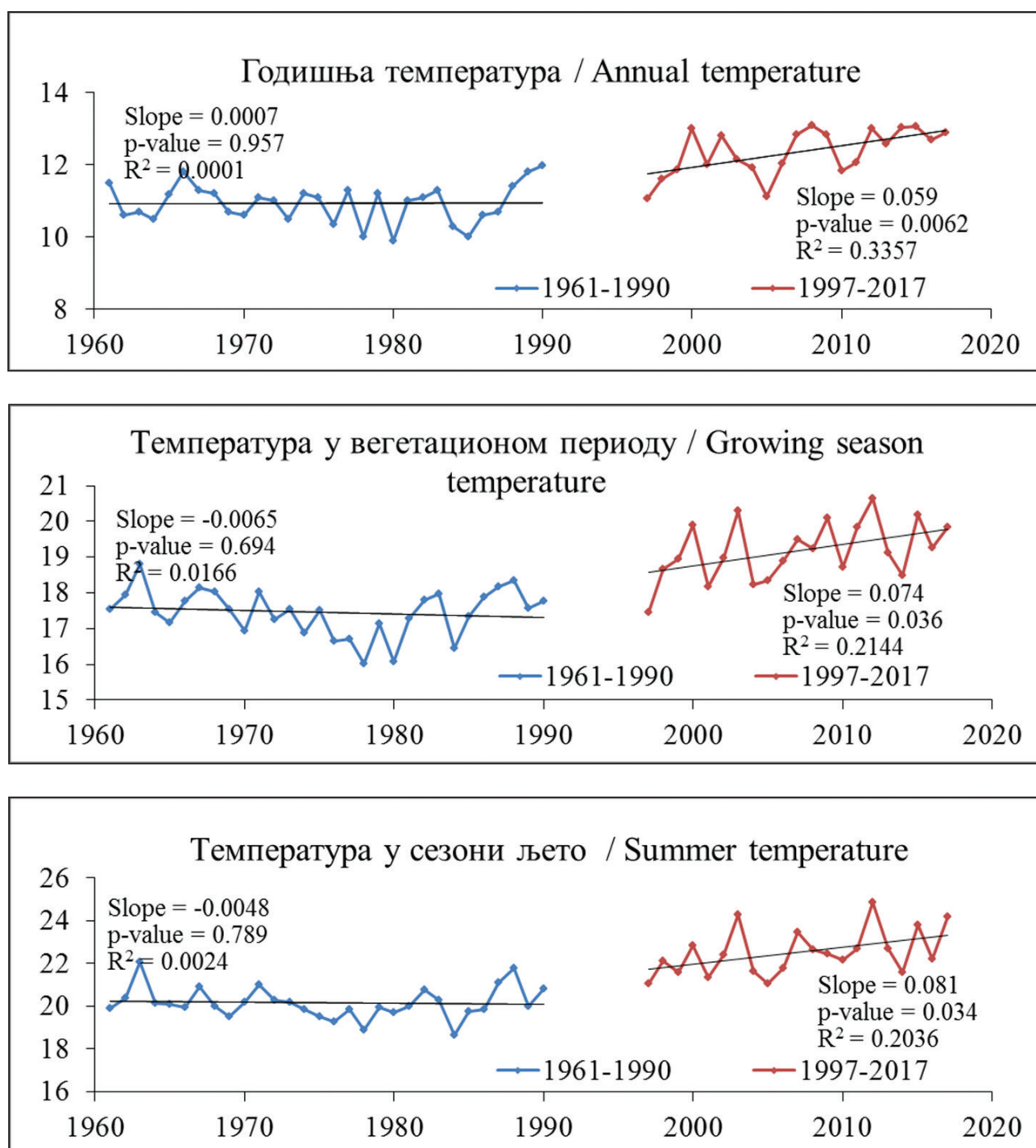
Tab. 5. Decadal trends in monthly hydrothermal coefficient (HTC) and drought index (I_{DM}) in Bijeljina in the period 1961–2017

Мјесец / Month	HTC	I _{DM}	Мјесец / Month	HTC	I _{DM}	Мјесец / Month	HTC	I _{DM}
I		0.42	V	0.078	1.92	IX	0.017	0.22
II		1.48	VI	-0.097 ^d	-2.09	X	0.152 ^d	3.33 ^c
III		1.47	VII	-0.05	-0.99	XI		-2.19
IV	0.012	0.86	VIII	-0.03	-0.59	XII		-5.05 ^d

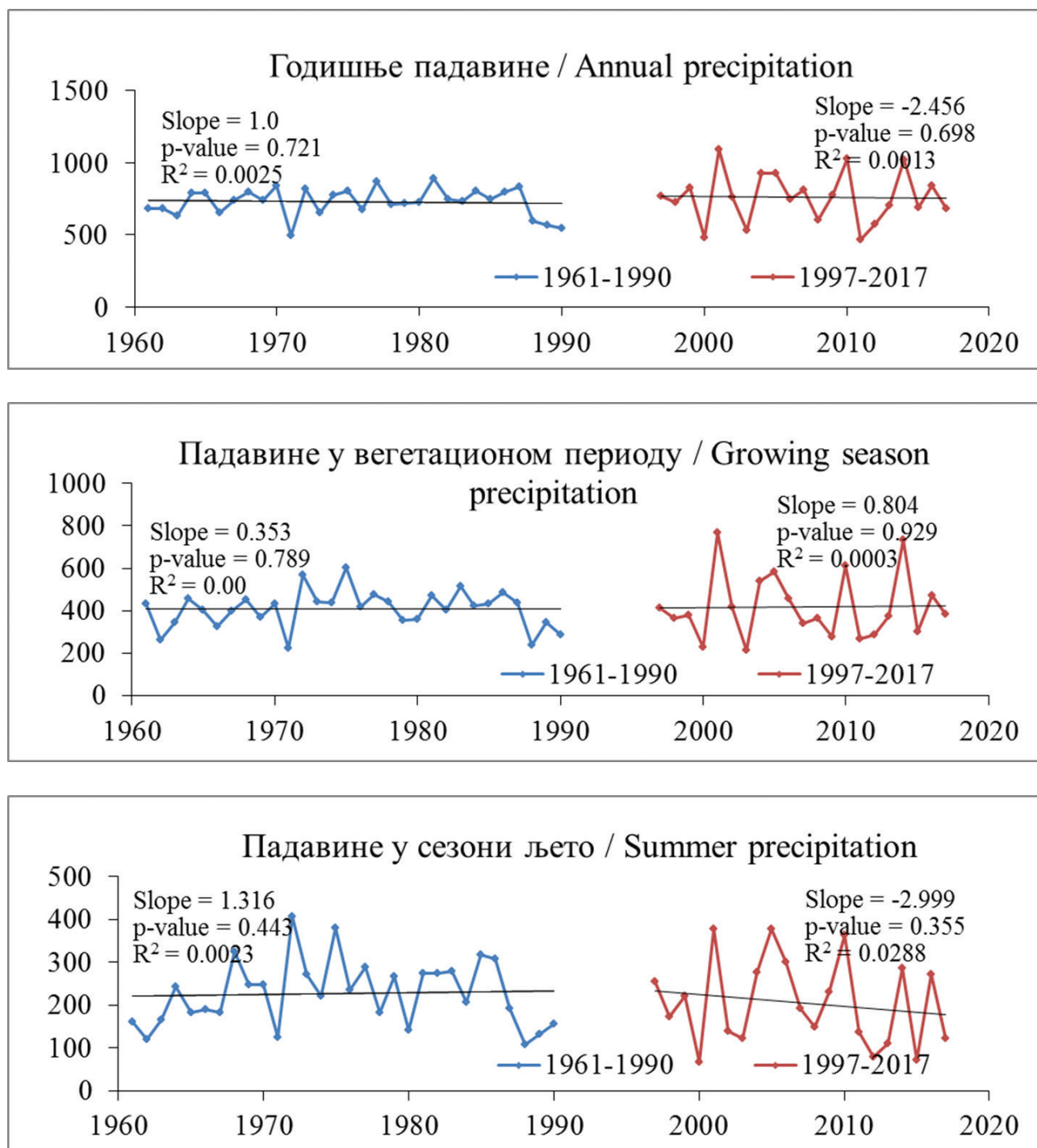
Статистички значајно на нивоу 99.9 % (a), 99 % (b), 95 % (c) и 90 % (d)
Statistical significance at the 99.9 % (a), 99 % (b), 95 % (c) and 90 % (d) level

Трендови температуре ваздуха и падавина на годишњем нивоу, у вегетационом периоду и у сезони лјето (када су најважнији за оптимални развој пољопривредних култура) у Бијељини у периоду 1961–1990. и 1997–2017. године приказани су на Сл. 1 и Сл. 2. Приказан је нагиб тренда (Slope), његова статистичка значајност (p-value) и коефицијент детерминације (R²).

Trends in annual, growing season and summer season temperature and precipitation (when they are crucial for the optimal development of agricultural crops) in Bijeljina in the periods 1961–1990 and 1997–2017 are shown in Fig. 1 and Fig. 2. Trend estimate (Slope), its statistical significance (p-value) and determination coefficient (R²) are displayed.



Сл. 1. Трендови температуре у Бијељини у периоду 1961–1990. и 1997–2017. године
Fig. 1. Temperature trends in Bijeljina in the 1961–1990 and 1997–2017 periods



Сл. 2. Трендови падавина у Бијељини у периоду 1961–1990. и 1997–2017. године

Fig. 2. Precipitation trends in Bijeljina in the 1961–1990 and 1997–2017 periods

Резултати показују да је у периоду 1961–1990. године температура само незнатно расла, а у неким дијеловима године чак је био присутан опадајући тренд. С друге стране, у периоду 1997–2017. године присутан је веома изражен и статистички значајан позитиван тренд. У наведеном периоду, температура ваздуха у сезони љето порасла је

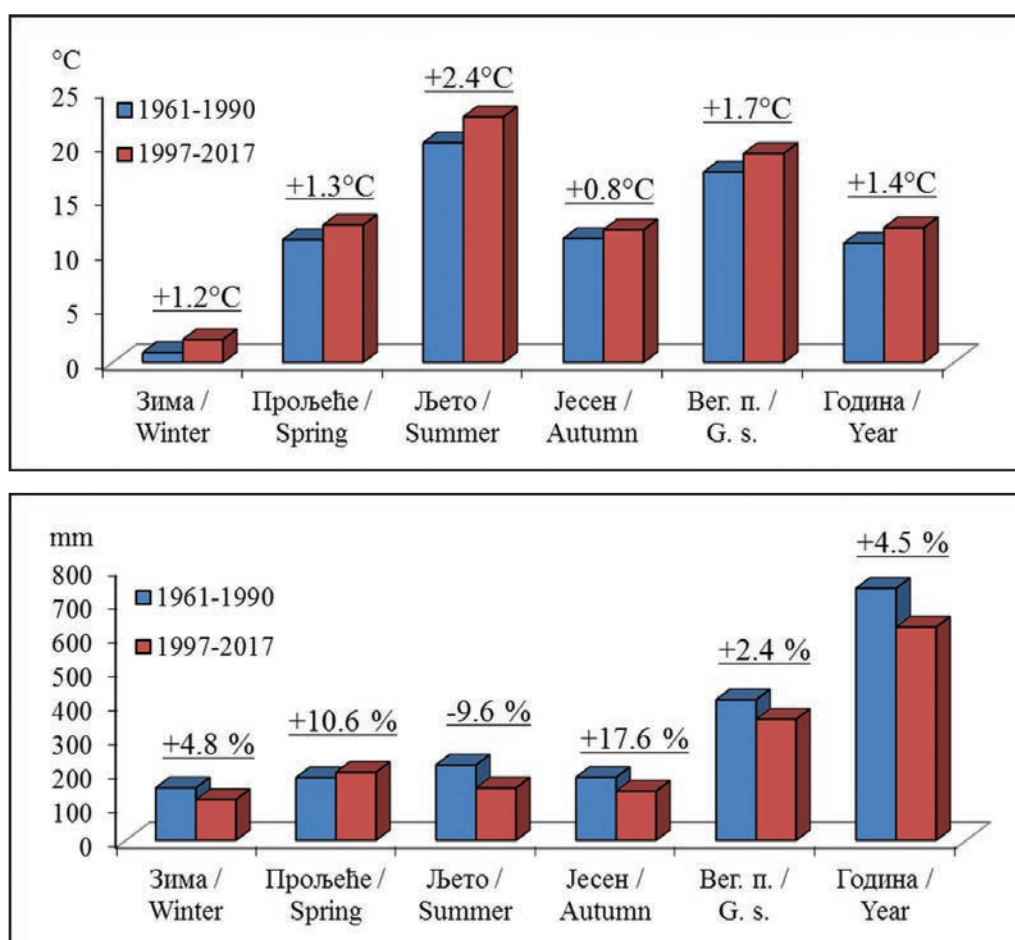
The results show that in the period 1961–1990 temperature only slightly increased, and in some parts of the year there was even a downward trend. On the other hand, in the period 1997–2017, very prominent and statistically significant positive trends were found. During this period, temperature in the summer season increased by even 0.8°C per

за чак 0.8°C по деценији. Просјечна годишња температура између два периода порасла је за 1.4°C (Сл. 3). У периоду 1997–2017. године, повећане су просјечне температуре ваздуха у свим сезонама (у сезони лјето за чак 2.4°C).

У наведена два периода утврђени су трендови падавина различитог знака. За разлику од референтног периода, у периоду 1997–2017. године присутни су негативни трендови годишњих падавина и падавина у сезони лјето, од 24.6 mm и 30.0 mm по деценији, респективно. Просјечна количина падавина у сезони лјето смањена је између два периода за готово 10% .

decade. The average annual temperature between the two periods increased by 1.4°C (Fig. 3). In the period 1997–2017, average temperatures increased in all seasons (in the summer season by even 2.4°C).

In these two periods, trends of different sign were determined for precipitation. In contrast to the reference period, during the period 1997–2017 negative trends in annual and summer precipitation, in the range of 24.6 mm and 30.0 mm per decade, respectively, were determined. The average precipitation in the summer season had been reduced between two periods by almost 10% .



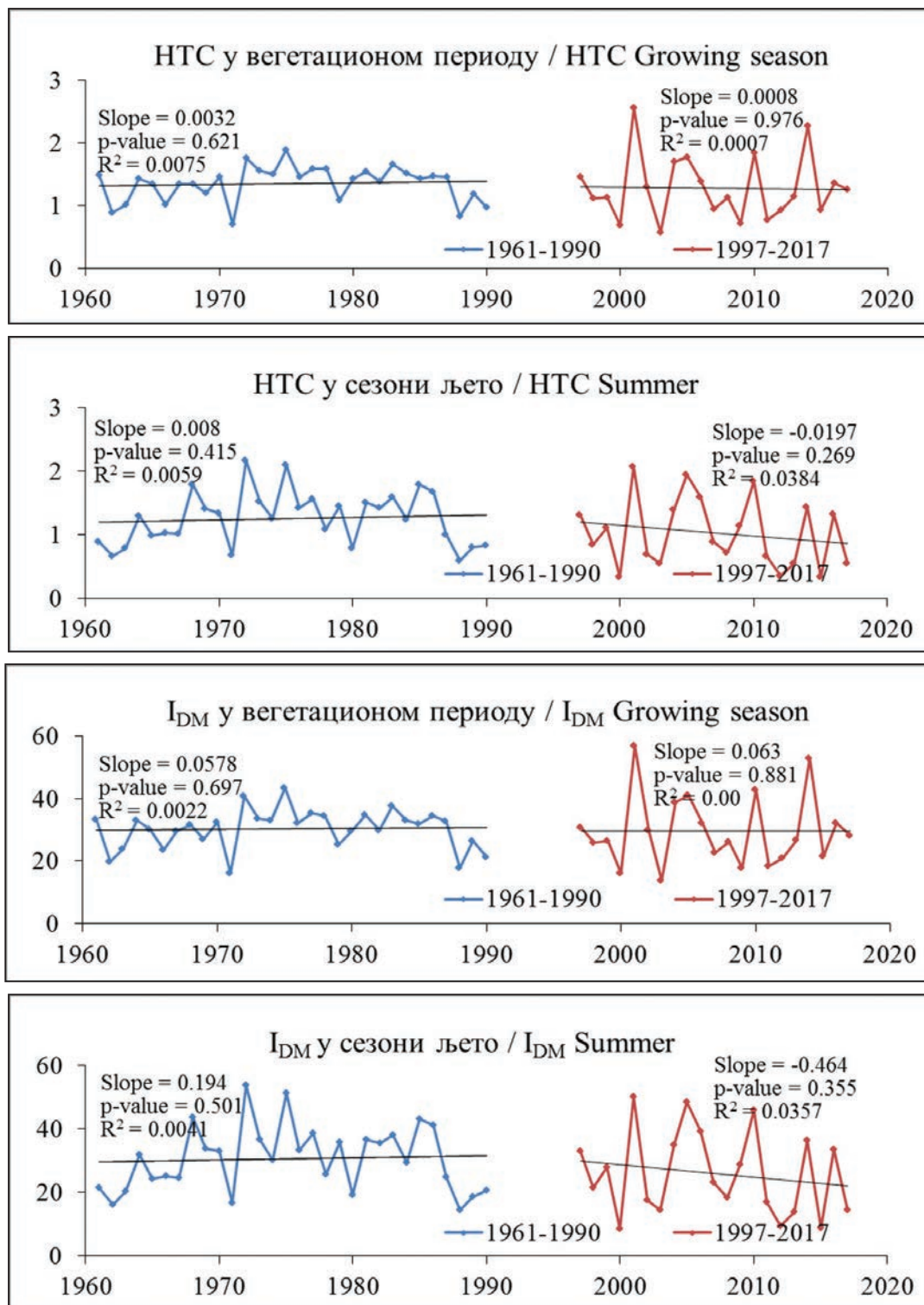
Сл. 3. Разлика између просјечних вриједности сезонских и годишњих температура и падавина у Бијељини у периоду 1997–2017. године у односу на период 1961–1990. године
Fig. 3. The difference between the average values of seasonal and annual temperatures and precipitation in Bijeljina in the period 1997–2017 in relation to the period 1961–1990

Трендови HTC и I_{DM} у Бијељини у периоду 1961–1990. и 1997–2017. године приказани су на Сл. 4. За оба индекса у наведеним периодима утврђени су незнатни позитивни трендови у вегетационом периоду (као последица

Trends in HTC and I_{DM} in Bijeljina during the periods 1961–1990 and 1997–2017 are shown in Fig. 4. During these two periods, slight positive trends in the growing season (as a consequence of trends of different signs in spring and summer

трендова различитог знака у прољеће и лјето). Посебно је забрињавајући негативни тренд и HTC и I_{DM} у сезони лјето присутан у периоду 1997–2017. године.

seasons) were determined for both indices. Particularly worrying is the negative trend in the summer season in both HTC and I_{DM} determined in the period 1997–2017.



Сл. 4. Трендови HTC и I_{DM} у Бијелјини у периоду 1961–1990. и 1997–2017. године
Fig. 4. Trends in HTC and I_{DM} in Bijeljina in the 1961–1990 and 1997–2017 periods

С обзиром на то да клима има директан утицај на биљни свијет, најосјетљивији сектор привреде на климатска колебања управо је пољопривредна производња. Семберија као важно аграрно подручје у Републици Српској и Босни и Херцеговини нарочито је изложено савременим и пројектованим климатским промјенама.

Укупна пољопривредна површина у Семберији износи 818,907,279 ха – од тога обрадиве површине заузимају 96.9 %, а пашњаци свега 3.1 %.

У структури обрадивих површина доминирају оранице и баште (90 %), док знатно мање површине заузимају воћњаци (9 %) и ливаде (1 %). Од ратарских култура највише се узгајају кукуруз (103,096 t), пшеница (78,968 t) и јечам (14,421 t), а од повртларских кромпир (20,057 t).

Најзаступљенија житарица на подручју Бијељине је кукуруз. Знатно мање узгајају се пшеница, јечам, овас, раж и др. Просјечна производња кукуруза у периоду 1997–2017. године износила је 114,950.7 t годишње. Годишње се просјечно произведе 47,187.4 t пшеница и 6,721.1 t јечма. Нешто бољи приноси са једног хектара засијане површине остварују се у производњи кукуруза (4.48 t/ha) у односу на пшеницу (3.81 t/ha) и јечам (4.03 t/ha).

Од повртларских култура највише се узгаја и производи кромпир – годишње се просјечно произведе 23,953.0 t, што представља просјечан принос од 21.23 t/ha. Знатно мање површине заузимају паприка, парадајз, краставац, купус и др.

У анализираном периоду 1997–2017. године у Бијељини присутан је тренд смањења производње кукуруза (за 1,148.3 t годишње), као и благи несигнификантни тренд смањења приноса кукуруза за 17.2 kg/ha годишње (Сл. 5).

Given that climate has a direct impact on the plants, the most sensitive economy sector to climate change is precisely agricultural production. Semberija as an important agrarian region of the Republic of Srpska and Bosnia and Herzegovina is particularly vulnerable to the recent and projected climate change.

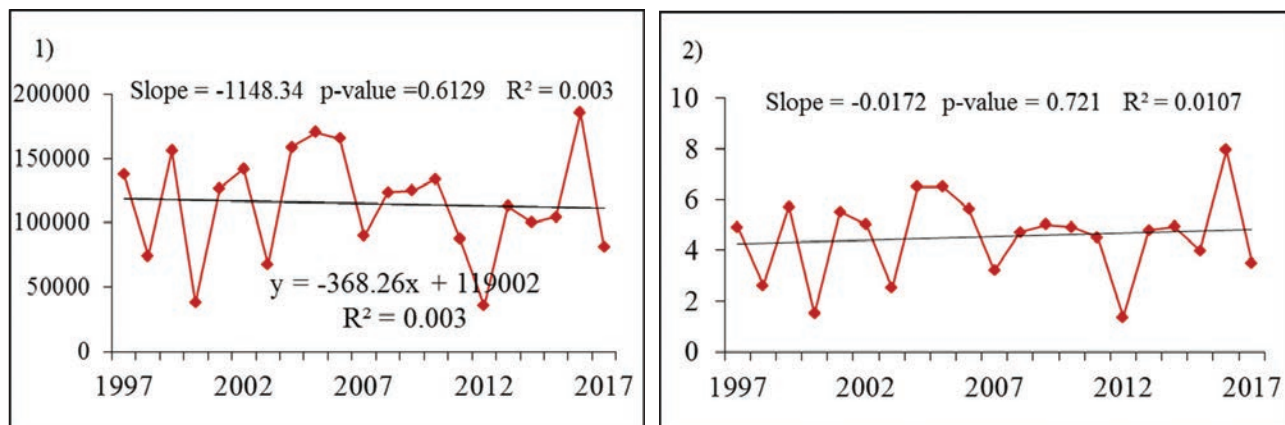
The total agricultural area in Semberija covers 818,907,279 ha – out of which arable land covers 96.9 %, and pastures only 3.1 %.

The arable land is dominated by arable land and gardens (90 %), whereas orchards and meadows cover considerably smaller areas (9 % and 1 %, respectively). Of the field crops, most are grown corn (103,096 t), wheat (78,968 t) and barley (14,421 t), and of the vegetables potatoes (20,057 t).

The most common cereal in the Bijeljina area is corn. Considerably less are grown wheat, barley, oats, rye, etc. In the period 1997–2017, average annual corn production was 114,950.7 t. Annually, an average 47,187.4 t of wheat and 6,721.1 t of barley was produced. Somewhat higher yields from one hectare of sown area are obtained for corn (4.48 t/ha) compared to the wheat (3.81 t/ha) and barley (4.03 t/ha).

Of the vegetable crops, most produced and grown are potatoes – annually 23,953.0 t was produced on average, with an average yields of 21.23 t/ha. Peppers, tomatoes, cucumbers, cabbage, etc. are grown on considerably smaller areas.

In the analyzed period 1997–2017, a decreasing trend in corn production (1,148.3 t per year), as well as a low insignificant negative trend in corn yields (17.2 kg/ha per year) were determined in Bijeljina (Fig. 5).



Сл. 5. Тренд производње у т (1) и приноса кукуруза у т/ха (2) у Бијелјини у периоду 1997–2017. године

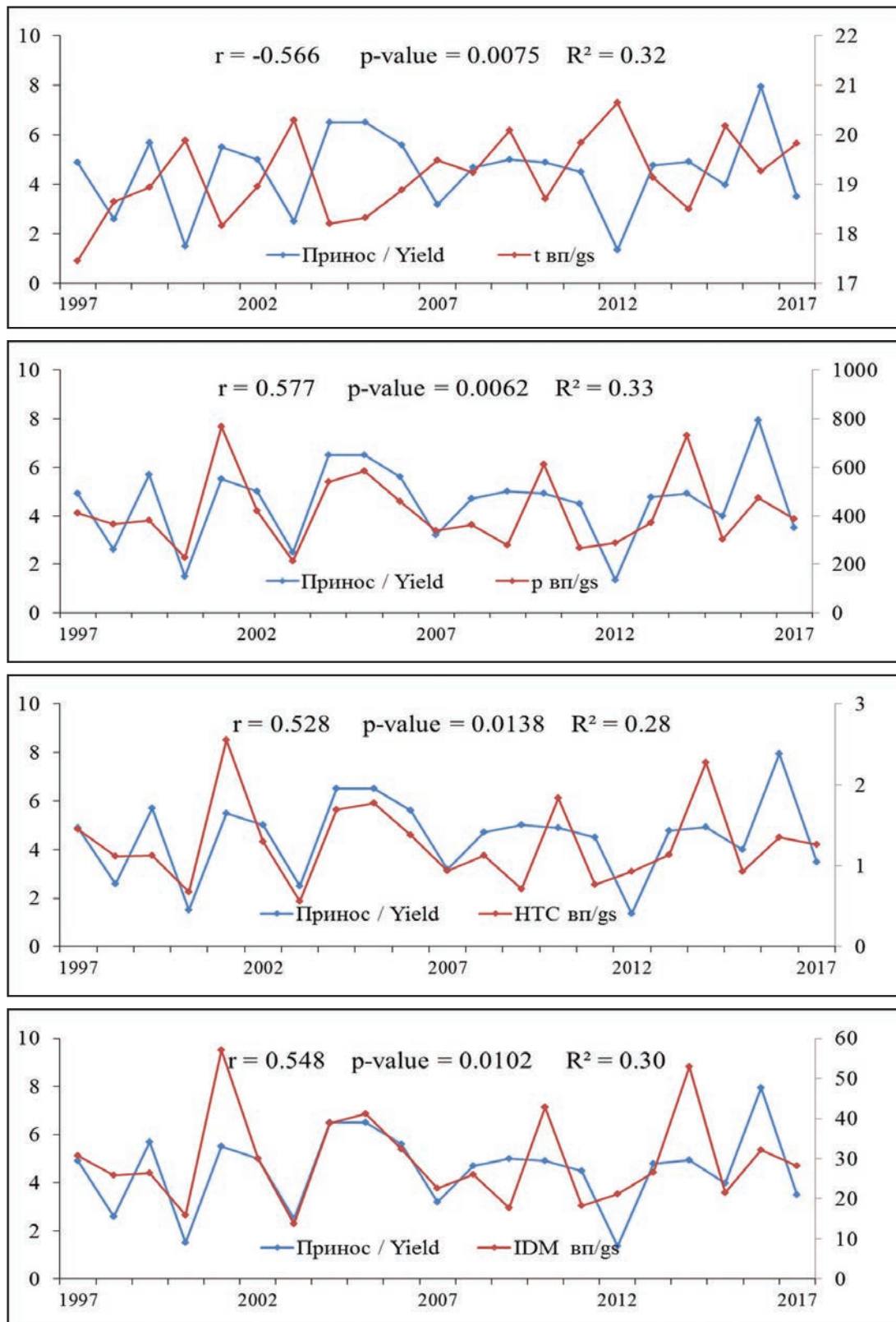
Fig. 5. Trend in corn production in t (1) and corn yield in t/ha (2) in Bijeljina in the period 1997–2017

Наведени трендови приноса и производње кукуруза снажно су условљени температуром и доступном количином влаге у критичним фазама његовог развоја. Принос кукуруза углавном зависи од временских услова у периоду од 90 до 110 дана након сјетве, што се подудара са периодом метличења и свилања (Ceglar & Kajfež-Bogataj, 2012). Високе температуре, ниска релативна влажност и мала количина падавина у овом периоду негативно утичу на раст кукуруза (Ceglar & Kajfež-Bogataj, 2012). Падавине у вегетационом периоду (а нарочито у љетним мјесецима) имају одлучујући утицај на међугодишњу варијабилност приноса (Ceglar & Kajfež-Bogataj, 2012; Milošević, Savić, Stojanović, & Popov-Raljić, 2015). Неповољне временске услове за развој кукуруза представљају температуре ваздуха преко 30°C (и релативна влажност ваздуха испод 60 %) (Ceglar & Kajfež-Bogataj, 2012; Milošević et al., 2015).

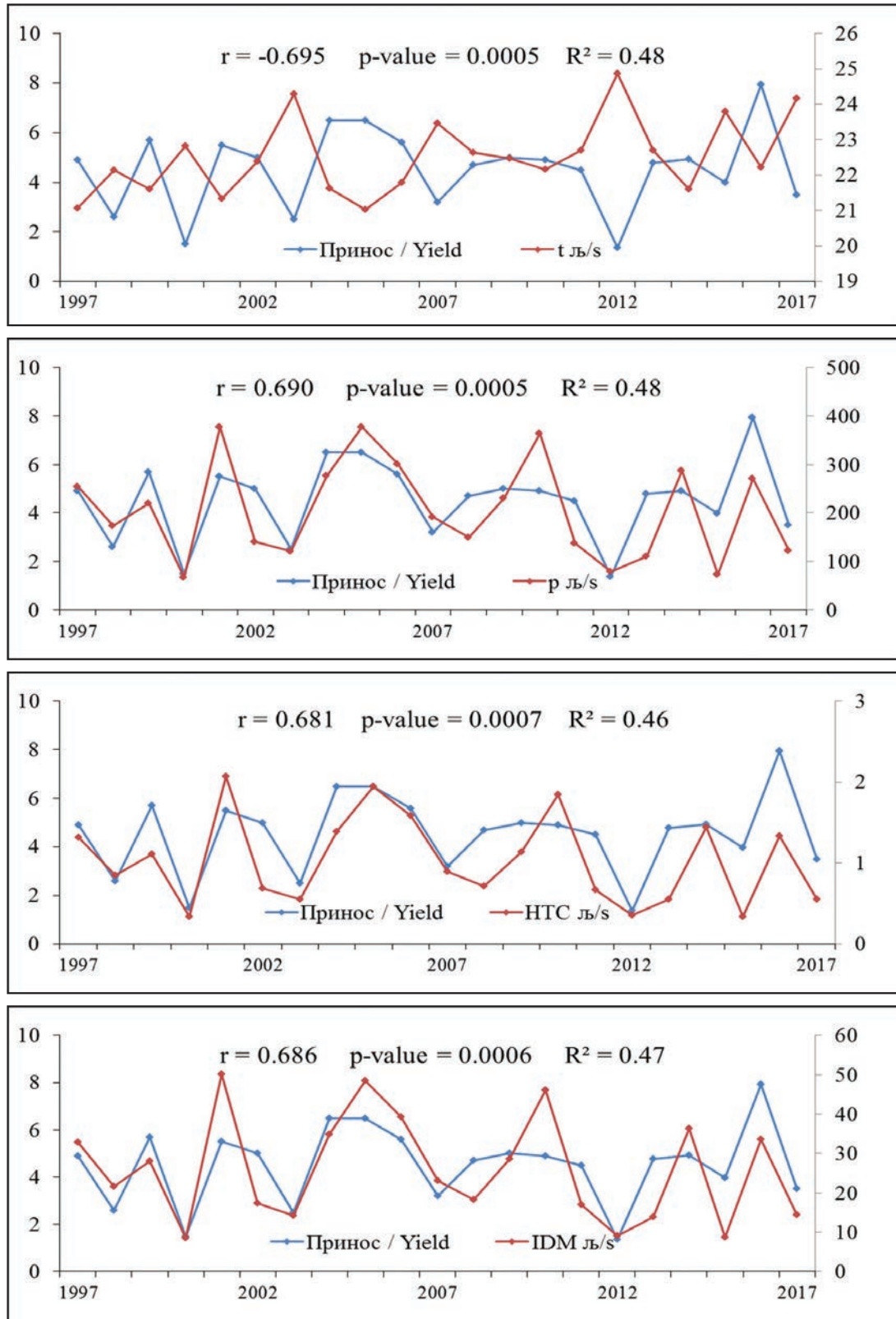
Пирсонов коефицијент корелације (r), његова статистичка значајност (p -value) и коефицијент детерминације (R^2) између просјечних приноса кукуруза у Бијелјини и температуре ваздуха и падавина у периоду 1997–2017. године приказани су на Сл. 6 и Сл. 7. Значајна негативна корелација постоји између приноса кукуруза и температуре ваздуха у вегетационом периоду ($r = -0.566$), као и температуре у сезони љето ($r = -0.695$). С друге стране, приноси кукуруза директно зависе од доступне количине падавина у овим периодима критичним за развој кукуруза (статистички значајни коефицијенти корелације износе $r = 0.577$ и $r = 0.690$, респективно).

These trends in corn yield and production are strongly influenced by the temperature and available moisture in the critical stages of its development. Corn yields mainly depend on weather conditions during the period from 90 to 110 days after sowing, which coincides with the silking and tasseling period (Ceglar & Kajfež-Bogataj, 2012). High temperatures, low relative humidity and low precipitation during this period negatively affect the corn growth (Ceglar & Kajfež-Bogataj, 2012). Precipitation during the growing season (and particularly during the summer months) have a crucial impact on the interannual variability of corn yields (Ceglar & Kajfež-Bogataj, 2012; Milošević, Savić, Stojanović, & Popov-Raljić, 2015). Temperatures above 30°C (and relative humidity below 60 %) represent the unfavorable weather conditions for the corn development (Ceglar & Kajfež-Bogataj, 2012; Milošević et al., 2015).

The Pearson correlation coefficient (r), its statistical significance (p -value) and the coefficient of determination (R^2) between the average corn yields in Bijeljina and temperature and precipitation in the period 1997–2017 are shown in Fig. 6 and Fig. 7. A significant negative correlation was determined between corn yield and temperature in growing season ($r = -0.566$), as well as in summer ($r = -0.695$). On the other hand, corn yields are directly dependent on the available precipitation during these for corn development critical periods. Statistically significant correlation coefficients in the range of $r = 0.577$ and $r = 0.690$, respectively, were determined.



Сл. 6. Корелација између просјечних годишњих приноса кукуруза и температуре, падавина, HTC и I_{DM} у вегетационом периоду у Бијeljини у периоду 1997–2017. године
Fig. 6. Correlation between the average annual corn yields and temperature, precipitation, HTC and I_{DM} in the growing season in Bijeljina in the period 1997–2017



Сл. 7. Корелација између просјечних годишњих приноса кукуруза и температуре, падавина, HTC и I_{DM} у сезони љето у Бијeljини у периоду 1997–2017. године
 Fig. 7. Correlation between the average annual corn yields and temperature, precipitation, HTC and I_{DM} in the summer season in Bijeljina in the period 1997–2017

У анализираном периоду 1997–2017. године максимални приноси кукуруза у Бијељини забиљежени су у 2016. години, која се налази међу највлажнијим и најтоплијим годинама у посматраном периоду. Најнижи приноси забиљежени су у годинама са највишим температурама и најнижим падавинама у сезони љето – 2017, 2015, 2012, 2011, 2007, 2003, 2000. и 1998. године. У наведеним годинама дуготрајни топли таласи са температурама знатно вишим од просјечних и изузетно малим количинама падавина и појавом суше негативно су се одразили на приносе кукуруза. Минимални приноси (1.36 t/ha – 70 % нижи од просјечних у анализираном периоду) остварени су у 2012. години, години са највишом температуром у сезони љето (за 4.7°C топлијој од просјека у периоду 1961–1990. године) и години терцијарног минимума падавина у овом периоду године (свега 80 mm). Усљед екстремних временских догађаја који су у том периоду захватили Европу, ниски приноси култура забиљежени су и у другим дијеловима Босне и Херцеговине (Trbić, Bajić, Popov, & Oprašić, 2013) и региона (Kovačević, Kovačević, Pepo, & Marković, 2013). Приноси кукуруза показују већу зависност од неопходног минимума падавина у критичним фазама развоја него од максималних падавина. Секундарни минимум приноса (1.5 t/ha – 67 % нижи од просјека) остварен је у години примарног минимума падавина у сезони љето и секундарног минимума у вегетационом периоду (у 2000. години). С друге стране, секундарни и терцијарни максимуми приноса кукуруза забиљежени су у четвртој и петој највлажнијој години (у 2004. и 2005. години). Хидротермички коефицијент и индекс суше, с обзиром на то да се израчунавају на основу температуре ваздуха и количине падавина, на добар начин одражавају њихов комбиновани утицај на приносе култура. Статистички значајна позитивна корелација утврђена је између приноса кукуруза и вриједности оба индекса у вегетационом периоду и у сезони љето. Примарни и секундарни минимум приноса забиљежени су у годинама терцијарног

During the analyzed period 1997–2017, the highest corn yields in Bijeljina was recorded in 2016, which is among the wettest and hottest years in the observed period. The lowest yields were recorded during the years with the highest temperatures and the lowest precipitation in summer season – 2017, 2015, 2012, 2011, 2007, 2003, 2000 and 1998. During these years, long-lasting heat waves with temperatures significantly higher than average and with the extremely low precipitation and drought occurrence had a negative impact on corn yields. The lowest yield (1.36 t/ha – 70 % lower than averaged in the analyzed period) was recorded in 2012, the year with the highest temperature in the summer season (by 4.7°C warmer than the period 1961–1990 average) and the year of tertiary precipitation minimum in this part of the year (only 80 mm). Due to extreme weather conditions that affected Europe in that period, low crop yields were also recorded in other parts of Bosnia and Herzegovina (Trbić, Bajić, Popov, & Oprašić, 2013) and the region (Kovačević, Kovačević, Pepo, & Marković, 2013). Corn yields show greater dependence on the necessary precipitation minimum during the critical development stages than on maximum precipitation. The secondary yield minimum (1.5 t/ha – 67 % lower than the average) was recorded during the year of the primary precipitation minimum in the summer season and the secondary precipitation minimum during the growing season (in 2000). On the other hand, the secondary and tertiary corn yields maximums were recorded in the fourth and fifth wettest years (in 2004 and 2005). Hydrothermal coefficient and drought index, given that they are calculated based on temperature and precipitation, in a good way reflect their combined impact on crop yields. A statistically significant positive correlation was determined between the corn yield and both indices in the growing season and in the summer season. The primary and secondary yields minimums were recorded in the years of tertiary and secondary (primary)

и секундарног (примарног) минимума HTC и I_{DM} у сезони љето. Терцијарни максимум приноса остварен је у години секундарног максимума HTC и I_{DM} у сезони љето (и у години примарног максимума остварени су изнадпросјечни приноси).

Имајући у виду утврђену зависност приноса кукуруза од варијабилности климатских варијабли, нарочито је забрињавајућ тренд загријавања (посебно изражен у љето) и негативни тренд падавина у сезони љето. Осим тога, неповљну околност представљају значајни трендови повећања годишњег броја љетних дана (3.8 дана по деценији) и тропских дана (5.2 дана по деценији) (Поров, Gnјato, & Trbić, 2018b), као и позитивни тренд дужине трајања топлих таласа (око 5 дана по деценији) (Поров et al., 2019b). Бијелјина спада у подручја која су највише погођена несташицом воде у земљишту (Radusin et al., 2013). Осим тога, повећање температура узрокује ширење инвазивних термофилних корова као што су *Amorpha fruticosa*, *Ambrosia artemisiifolia*, *Helianthus tuberosus* и др. (Radusin et al., 2016).

Са повећањем температуре и промјенљивим падавинама, доступност воде и производња усјева у будућности ће се смањити (Kang et al., 2009; Rosenzweig et al., 2014). Очекује се да ће пројектоване промјене учесталости и интензитета екстремних климатских догађаја (нпр. топли таласи, суше, интензивне и дуготрајне падавине, прекомјерне хладноће и врућине, олује са градом, итд.) негативно утицати на принос усјева и глобалну производњу хране (Deryng et al., 2016). Пројекције показују да ће, услед климатских промјена, приноси кукуруза до краја вијека бити смањени и у свим најважнијим областима узгајања – у кукурузном појасу Сједињених Америчких Држава и Канаде (Cai et al., 2009; He et al., 2018; Ummenhofer et al., 2015), Европи (Knox et al., 2016; Olesen et al., 2011) и Кини (Zhang et al., 2015).

Будуће промјене температуре, падавина и влажности земљишта могу да угрозе могућности коришћења пољопривредног земљишта и продуктивност усјева у Европи,

minimum of HTC and I_{DM} in the summer season. The tertiary yield maximum was achieved in the year of secondary maximum of HTC and I_{DM} in the summer season (in the year of primary maximum, the above-average yields were also recorded).

Given the determined corn yield dependence on climate variability, a warming trend (particularly during summer) and a downward precipitation trend in the summer season are concerning. The unfavorable circumstances also represent the significant upward trends in the annual number of summer days (3.8 days per decade) and tropical days (5.2 days per decade) (Popov, Gnјato, & Trbić, 2018b), as well as a positive trend in the warm spell duration (about 5 days per decade) (Popov et al., 2019b). Moreover, Bijeljina area is most affected by the soil water shortage (Radusin et al., 2013). In addition, the increase in temperature causes the spread of invasive thermophilic weeds such as *Amorpha fruticosa*, *Ambrosia artemisiifolia*, *Helianthus tuberosus* and others (Radusin et al., 2016).

With increasing temperature and variable precipitation, water availability and crop production will be reduced in the future (Kang et al., 2009; Rosenzweig et al., 2014). Projected changes in the frequency and intensity of extreme climate events (e.g. warm spells, droughts, intense and long-term precipitation, excessive cold and heat, hail storms, etc.) are expected to negatively affect the crop yields and global food production (Deryng et al., 2016). Projections show that, due to climate change, corn yields will be reduced in all major growing areas – in the corn belt of the United States of America and Canada (Cai et al., 2009; He et al., 2018; Ummenhofer et al., 2015), Europe (Knox et al., 2016; Olesen et al., 2011) and China (Zhang et al., 2015).

Future changes in temperature, precipitation and soil moisture may endanger the use of agricultural lands and the crop productivity in Europe, with significant

са значајним посљедицама по безбједност снабдијевања храном (Knox et al., 2016). Повећање приноса усјева повезано са климатским промјенама очекује се једино у сјеверној Европи, док се највеће смањење приноса очекује у региону Медитерана и на југозападном Балкану, те на југу европског дијела Русије (Olesen et al., 2011). У јужној Европи, нарочито велика смањења приноса очекују се за прољећне усјеве (нпр. кукуруз, сунцокрет и соју) (Olesen et al., 2011).

Пројекције показују да ће климатске промјене додатно погоршати услове за производњу кукуруза, много више него пшенице, како у свијету (Deryng et al. 2014) тако и у Босни и Херцеговини (Radusin et al., 2016). Области узгајања кукуруза крајем 21. вијека карактерисаће мања учесталост појаве прољећних и јесењих мразева, брже стопе акумулације сума активних температура уз смањење времена потребног за постизање зрелости, већа фреквенција дана са високим температурама (преко 35°C) током кључних фаза раста (као што су као свилање-цвјетање) и већи дефицит воде током репродуктивних фаза (Prasad et al., 2018). Смањење просјечног приноса кукуруза пројектовано за средњу Европу износи 9 % до 2020. године и 15 % до 2080-их; за јужну Европу такође се пројектује нагли пад приноса кукуруза, посебно до 2080-их година (за 28 %) (Knox et al., 2016). Према пројекцијама, у Мађарској ће у наредне три деценије бити присутан тренд благог смањења приноса кукуруза (Fogarasi et al., 2016). У Словенији се очекује да ће се приноси смањити у просјеку 10–16 % до 2050-их година и 27–34 % до 2090-их година; такође очекује се да ће се међугодишња варијабилност приноса повећати у односу на референтни период (1961–1990) (Ceglar & Kajfež-Bogataj, 2012). Резултати симулација показују да у Босни и Херцеговини до 2020. године неће бити значајних промјена потреба за наводњавањем и промјена приноса због ранијег датума сјетве и укупног помјерања вегетације у рано прољеће; нешто већи негативни утицај климатских промјена догодиће се до 2050-их година, а знатан до 2080-

consequences for the safety of food supplies (Knox et al., 2016). The increase in crop yields associated with climate change is expected only in the northern Europe, whereas the highest yield reductions are expected to occur over the Mediterranean region, the southwestern Balkans and the southern European part of Russia (Olesen et al., 2011). In the southern Europe, particularly high yield reductions are expected for spring crops (e.g. corn, sunflower and soy) (Olesen et al., 2011).

Projections show that climate change will further exacerbate the conditions for the corn production, much more than for wheat, globally (Deryng et al., 2014) and in Bosnia and Herzegovina (Radusin et al., 2016). Corn growing regions near the end of the 21st century will experience fewer spring and fall freezes, faster rate of growing degree day accumulation with a reduction in time required to reach maturity, greater frequencies of daily high temperature (above 35°C) during key growth stages such as silking-anthesis and greater water deficit during reproductive stages (Prasad et al., 2018). Projections for Central Europe show that the average corn yields would decrease 9 % by 2020 and 15 % by 2080; for southern Europe, a sharp decline in corn yields is also projected, particularly by the 2080s (by 28 %) (Knox et al., 2016). According to projections, a mild decreasing trend in the corn yields will be present in Hungary in the next three decades (Fogarasi et al., 2016). In Slovenia, yields are expected to decrease by an average of 10–16 % by the 2050s and 27–34 % by the 2090s; it is also expected that interannual yield variability will increase in relation to the reference period 1961–1990 (Ceglar & Kajfež-Bogataj, 2012). The simulation results show that in Bosnia and Herzegovina until 2020 there will be no significant changes in the corn irrigation needs as well as in corn yields due to earlier sowing date and the overall shifting of the growing season early in spring; a slightly larger negative impact of climate change will occur by the 2050s, and larger by the

их због смањења падавина у лјетним мјесецима (Stricevic, Stojakovic, Vujadinovic-Mandic, & Todorovic, 2018). У поређењу са референтним периодом, до 2080-их, очекује се повећање потреба за наводњавањем за скоро 100 % (Stricevic et al., 2018). Пројекције Свјетске банке указују да би се принос кукуруза наводњаваног само кишом у најважнијим регионима у којима се узгаја (у сјеверном дијелу територије гдје се налази и Семберија) до 2025. и 2050. године могли смањити за 10–25 % (Radusin et al., 2016). Сви наведени процеси директно ће се одразити на цијену кукуруза, али и цијену стоке у чијој исхрани кукуруз има велики удио.

ЗАКЉУЧАК

Будуће тенденције приноса и производње кукуруза, најзаступљеније житарице у Семберији, у измијењеним климатским условима негативно ће се одразити на укупан развој овог подручја. Сектор пољопривреде има велики удио (око 30 %) у укупном броју запосленог становништва Семберије. Прерађивачка индустрија, уско повезана са пољопривредном производњом, обухвата око 11 % запослених. Дакле, пољопривредна производња представља базну дјелатност у Семберији. Од ефикасности подузетих мјера адаптације и митигације зависиће будућност овог пољопривредног подручја, важног за укупну пољопривредну производњу Републике Српске и Босне и Херцеговине.

Постоји широк спектар могућности прилагођавања како би се ублажили негативни ефекти климатских промјена на производњу усјева као што су: промјене у времену узгоја (укључујући сјетву и жетву); промјене у начинима обраде земљишта, углавном усмјереним на очување воде у земљишту и заштиту од ерозије; промјене пракси фертилизације; увођење нових усјева у плодореду (увођење нових и погоднијих сорти садашњих култура); заштита биљака и мониторинг штеточина и болести; сезонска прогноза времена (промијењени климатски услови и већа вјероватноћа појаве неубичајених

2080s due to reduced precipitation during the summer months (Stricevic, Stojakovic, Vujadinovic-Mandic, & Todorovic, 2018). Compared to the reference period, by the 2080s, an increase in irrigation requirements is expected to be almost 100 % (Stricevic et al., 2018). The World Bank's projections suggest that the rainfed corn yields in the most important growing regions (in the northern part of the territory where Semberija is located) could decrease by 10–25 % by 2025 and 2050 (Radusin et al., 2016). All of these processes will directly affect the corn price, but also the price of corn-fed livestock.

CONCLUSION

Future tendencies in yield and production of corn, most prevalent cereal in the Semberija region, in changed climate conditions will negatively affect the overall development of this area. The agriculture sector has a large share (about 30 %) in the total number of employed people of Semberija. Manufacturing industry, closely linked to agricultural production, accounts for about 11 % of employees. Therefore, agricultural production is the core activity in Semberija. The future of this agrarian area, one of the most important for the overall agricultural production of the Republic of Srpska and Bosnia and Herzegovina, will depend on the efficiency of implementation of adaptation and mitigation measures.

There is a wide range of adaptation options to mitigate the negative effects of climate change on crop production, such as: changes in timing of cultivation (including sowing and harvesting); changes in soil cultivation methods, mainly aimed at soil water conservation and erosion protection; changes in fertilization practices; introduction of new crops to the crop rotation (introduction of new and more favorable cultivars of current crops); crop protection and pest and disease monitoring; seasonal weather forecasting (changed climatic conditions and higher

временских прилика истичу њихов значај као алата за адаптацију); осигурање усјева и др. (Olesen et al., 2011). Главне мјере адаптације сектора пољопривреде у Босни и Херцеговини треба да обухвате: промјене времена пољопривредних операција; другачији избор сорти и врста; употребу вјештачких система за побољшавање коришћења воде или доступности воде (изградња или проширивање система за наводњавање); повећање производње у пластеницима; промјене пољопривредних система и пракси (плодоред, промјене у мјешавини уroda и др.); промјене у примјени фекртилизације; другачије методе и нови приступи у обради земљишта и друге мјере на терену; нове моделе агроклиматског зонирања; истраживање нових технологија; подизање свијести јавности и доносилаца одлука у процесу креирања развојних политика за адаптацију и ублажавање климатских промјена у сектору пољопривреде и производње хране и др. (Попов, 2017; Radusin et al., 2013).

probability of unusual weather patterns highlight their importance as an adaptation tool); crop insurance, etc. (Olesen et al., 2011). The main adaptation measures for the agriculture sector in Bosnia and Herzegovina should include: changes in timing of agricultural operations; a different selection of cultivars and species; use of artificial systems to improve water use or water availability (irrigation systems construction or expansion); increase in greenhouses production; changes in agricultural systems and practices (seedlings, changes in the plant rotations, etc.); changes in fertilization practices; different methods and new approaches in soil cultivation and other measures in the field; new models of agro-climatic zoning; research on new technologies; raising awareness of the public and decision-makers in creating policies on adaptation and mitigation of climate change on agriculture and food production, etc. (Попов, 2017; Radusin et al., 2013).

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Alexander, L. V., Zhang, X., Peterson, T. C., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A. M. G., ... Vazquez-Aguirre, J. L. (2006). Global Observed Changes in Daily Climate Extremes of Temperature and Precipitation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 111(D5). doi:10.1029/2005JD006290
- Cai, X., Wang, D., & Laurent, R. (2009). Impact of Climate Change on Crop Yield: A Case Study of Rainfed Corn in Central Illinois. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 48, 1868–1881. doi:10.1175/2009JAMC1880.1
- Ceglar, A., & Kajfež-Bogataj, L. (2012). Simulation of Maize Yield in Current and Changed Climatic Conditions: Addressing Modelling Uncertainties and the Importance of Bias Correction in Climate Model Simulations. *European Journal of Agronomy*, 37(1), 83–95. doi:10.1016/j.eja.2011.11.005
- De Martonne, E. (1926). Une nouvelle fonction climatologique: L'indice d'aridité. *La Meteorologie*, 2, 449–458.
- Deryng, D., Conway, D., Ramankutty, N., Price, J., & Warren, R. (2014). Global Crop Yield Response to Extreme Heat Stress under Multiple Climate Change Futures. *Environmental Research Letters*, 9(3). doi:10.1088/1748-9326/9/3/034011
- Fogarasi, J., Kemény, G., Molnár, A., Keményné Horváth, Z., Zubor-Nemes, A., & Kiss, A. (2016). Modelling Climate Effects on Hungarian Winter Wheat and Maize Yields. *Studies in Agricultural Economics*, 118(2), 85–90. doi:10.7896/j.1614
- He, W., Yang, J. Y., Qian, B., Drury, C. F., Hoogenboom, G., He, P., Lapen, D., & Zhou, W. (2018). Climate Change Impacts on Crop Yield, Soil Water Balance and Nitrate Leaching in the Semiarid and Humid Regions of Canada. *PLoS ONE*, 13(11). doi:10.1371/journal.pone.0207370

- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). Summary for policymakers. In C. B., Field, V. R., Barros, D. J., Dokken, K. J., Mach, M. D., Mastrandrea, T. E., Bilir, M., Chatterjee, K. L., Ebi, Y. O., Estrada, R. C., Genova, B., Girma, E. S., Kissel, A. N., Levy, S., MacCracken, P. R. Mastrandrea, & L. L. White (Eds.), *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Part A: Global and Sectoral Aspects, Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 1–32). Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.
- Kang, Y., Khan, S., & Ma, X. (2009). Climate Change Impacts on Crop Yield, Crop Water Productivity and Food Security – A Review. *Progress in Natural Science*, 19, 1665–1674. doi:10.1016/j.pnsc.2009.08.001
- Knox, J., Daccache, A., Hess, T., & Haro, D. (2016). Meta-Analysis of Climate Impacts and Uncertainty on Crop Yields in Europe. *Environmental Research Letters*, 11. doi:10.1088/1748-9326/11/11/113004
- Kovačević, V., Kovačević, D., Pepo, P., & Marković, M. (2013). Climate Change in Croatia, Serbia, Hungary and Bosnia and Herzegovina: Comparison the 2010 and 2012 Maize Growing Seasons. *Poljoprivreda*, 19(2), 16–22.
- Kukal, M. S., & Irmak, S. (2018). Climate-Driven Crop Yield and Yield Variability and Climate Change Impacts on the U.S. Great Plains Agricultural Production. *Scientific Reports*, 8. doi:10.1038/s41598-018-21848-2
- Lesk, C., Rowhani, P., & Ramankutty, N. (2016). Influence of Extreme Weather Disasters on Global Crop Production. *Nature*, 529, 84–87. doi:10.1038/nature16467
- Lobell, D. B., & Gourdji, S. M. (2012). The Influence of Climate Change on Global Crop Productivity. *Plant Physiology*, 160, 1686–1697. doi:10.1104/pp.112.208298
- Matiu, M., Ankerst, D. P., & Menzel, A. (2017). Interactions between Temperature and Drought in Global and Regional Crop Yield Variability during 1961–2014. *PLoS ONE*, 12(5). doi:10.1371/journal.pone.0178339
- Milošević, D. D., Savić, S. M., Stojanović, V., & Popov-Raljić, J. (2015). Effects of Precipitation and Temperatures on Crop Yield Variability in Vojvodina (Serbia). *Italian Journal of Agrometeorology*, 12(18), 35–46.
- Olesen, J. E., Trnka, M., Kersebaum, K. C., Skjelvåg, A. O., Seguin, B., Peltonen-Sainio, P., ... Micale F. (2011). Impacts and Adaptation of European Crop Production Systems to Climate Change. *European Journal of Agronomy*, 34(2), 96–112. doi:10.1016/j.eja.2010.11.003
- Otorepec, S. (1991). *Agrometeorologija*. Beograd, Srbija: Naučna knjiga.
- Попов, Т. (2017). *Утицај савремених климатских колебања и потенцијалних промена климе на фитогеографска обиљежја Републике Српске* (Необјављена докторска дисертација). Географски факултет Универзитета у Београду, Београд.
- Popov, T., Gnjato, S., & Trbić, G. (2018a). Analysis of Extreme Precipitation over the Peripannonian Region of Bosnia Hercegovina. *IDÓJÁRÁS – Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*, 122(4), 433–452. doi:10.28974/idojaras.2018.4.5
- Popov, T., Gnjato, S., & Trbić, G. (2018b). Changes in Temperature Extremes in Bosnia And Herzegovina: A Fixed Thresholds-Based Index Analysis. *Journal of the Geographical Institute "Jovan Cvijić" SASA*, 68(1), 17–33. doi:10.2298/IJGI1801017P
- Popov, T., Gnjato, S., & Trbić, G. (2019a). Effects of Changes in Extreme Climate Events on Key Sectors in Bosnia and Herzegovina and Adaptation Options. In W. Leal Filho, G. Trbic, & D. Filipovic (Eds.), *Climate Change Adaptation in Eastern Europe, Managing Risks and Building Resilience to Climate Change* (pp. 213–228). Cham, Switzerland: Springer Nature.
- Popov, T., Gnjato, S., & Trbić, G. (2019b). Changes in Extreme Temperature Indices over the Peripannonian Region of Bosnia and Herzegovina. *Geografije*, 124(1), 19–40.

- Popov, T., Gnjato, S., Trbić, G., & Ivanišević, M. (2018c). Recent Trends in Extreme Temperature Indices in Bosnia and Herzegovina. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 13(1), 211–224. doi:10.26471/cjees/2018/013/019
- Prasad, R., Gunn, S. K., Rotz, C. A., Karsten, H., Roth, G., Buda, A., & Stone, A. M. K. (2018). Projected Climate and Agronomic Implications for Corn Production in the Northeastern United States. *PLoS ONE*, 13(6). doi:10.1371/journal.pone.0198623
- Radusin, S., Oprašić, S., Cero, M., Abdurahmanović, I., Vukmir, G., Knežević, A., ... Cupać, R. (2013). *Climate Change Adaptation and Low Emission Development Strategy for Bosnia and Herzegovina*. Sarajevo, Bosnia and Herzegovina: United Nations Development Programme.
- Radusin, S., Medić, V., Cero, M., Abdurahmanović, I., Avdić, S., Oprašić, S., ... Vujković, Z. (2016). *Third National Communication and Second Biennial Update Report on Greenhouse Gas Emissions of Bosnia and Herzegovina under the United Nations Framework Convention on Climate Change*. Sarajevo, Bosnia and Herzegovina: United Nations Development Programme.
- Rosenzweig, C., Elliott, J., Deryng, D., Ruane, A. C., Müller, C., Arneth, A., ... Jones, J. W. (2014). Assessing Agricultural Risks of Climate Change in the 21st Century in a Global Gridded Crop Model Intercomparison. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(9), 3268–3273. doi:10.1073/pnas.1222463110
- Stricevic, R. J., Stojakovic, N., Vujadinovic-Mandic, M., & Todorovic, M. (2018). Impact of Climate Change on Yield, Irrigation Requirements and Water Productivity of Maize Cultivated under the Moderate Continental Climate of Bosnia and Herzegovina. *Journal of Agricultural Science*, 156(5), 618–627. doi:10.1017/S0021859617000557
- Trbić, G., Bajić, D., Popov, T., & Oprašić, S. (2013). Drought Issues in Bosnia and Herzegovina. *Herald*, 17, 103–120. doi:10.7251/HER1714103T
- Trbić, G., Popov, T., & Gnjato, S. (2017). Analysis of Air Temperature Trends in Bosnia and Herzegovina. *Geographica Pannonica*, 21(2), 68–84. doi:10.18421/GP21.02-01
- Ummenhofer, C. C., Xu, H., Twine, T. E., Girvetz, E. H., McCarthy, H. R., Chhetri, N., & Nicholas, K. A. (2015). How Climate Change Affects Extremes in Maize and Wheat Yield in Two Cropping Regions. *Journal of Climate*, 28, 4653–4687. doi:10.1175/JCLI-D-13-00326.1
- Vidić, D., & Delić, D. (2019). Analysis of the Climate Change in the Doboj Municipality and Adaptation Options. In W. Leal Filho, G. Trbic, & D. Filipovic (Eds.), *Climate Change Adaptation in Eastern Europe, Managing Risks and Building Resilience to Climate Change* (pp. 43–59). Cham, Switzerland: Springer Nature.
- Zhang, Y., Zhao, Y., Chen, S., Guo, J., & Wang, E. (2015). Prediction of Maize Yield Response to Climate Change with Climate and Crop Model Uncertainties. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 54, 785–794. doi:10.1175/JAMC-D-14-0147.1
- Zimmermann, A., Webber, H., Zhao, G., Ewert, F., Kros, J., Wolf, J., Britz, W., & de Vries, W. (2017). Climate Change Impacts on Crop Yields, Land Use and Environment in Response to Crop Sowing Dates and Thermal Time Requirements. *Agricultural Systems*, 157, 81–92. doi:10.1016/j.agsy.2017.07.007