

З. ПОПОВА\*, М. ИВАНОВА\*, Л. С. ПЕРЕЙРА\*\*, К. БОНЕВА\*, К. ДОНЕВА\*,  
В. АЛЕКСАНДРОВ\*\*\*, М. КЕРЧЕВА\*, П. АЛЕКСАНДРОВА\*

\*Институт по почвознание, агротехнологии и защита на растенията „Н. Пушкаргов“, София

\*\*Технически университет, Агронимически институт, Лисабон, Португалия

\*\*\*Национален институт по метеорология и хидрология, София

## Оценка на риска от промени на климата и уязвимост към суша в зоната на Черноземите, Северна България

### *Risk Assessment of Climate Change and Droughts in the Zone of Chernozems, North Bulgaria*

Z. Popova\*, M. Ivanova\*, L. S. Pereira\*\*, K. Boneva\*, K. Doneva\*, V. Alexandrov\*\*\*,  
M. Kercheva\*, P. Alexandrova\*

\*N. Poushkarov Institute of Soil Science, Agrotechnologies and Plant Protection, Sofia, Bulgaria

\*\*CEER-Biosystems Engineering, Institute of Agronomy, Technical University of Lisbon, Portugal

\*\*\*National Institute of Meteorology and Hydrology, Sofia, Bulgaria

#### Abstract

This study aims at assessing drought and related climate change trends as well as their impacts on agriculture in North Bulgaria. Trend tests were applied to climate data, mainly precipitation, temperature and reference evapotranspiration (ET<sub>0</sub>) relative to selected weather stations.

Results of the Mann-Kendall trend test show significant positive trends for maximum temperature in May, June, July and particularly an increase trend in annual T<sub>max</sub> by 0.02 mm yr<sup>-1</sup> at Varna, Lom and Silistra. Relative to ET<sub>0</sub> for the maize crop season “May-Sept”, a significant trend was observed for the period 1970 – 2004. The detected increase of seasonal ET<sub>0</sub> is 1.0 mm yr<sup>-1</sup> at Silistra, up to 2.3 mm yr<sup>-1</sup> at Pleven and Lom, reaching a maximum of 2.6 mm yr<sup>-1</sup> at Varna. The magnitude of this trend is about half if one considers the whole 1951 – 2004 period instead of 1970 – 2004, which indicates that the aggravation of climate conditions is higher in recent times.

The WINISAREG simulation model was previously calibrated and validated using independent field data from long-term irrigation experiments with late and semi-early maize hybrids for various locations and soils with small, medium and large total available water (TAW). Thus the model could be applied with appropriate accuracy to compute yield impacts of water stress and irrigation requirements for the 1951 – 2004 period. Rainfed maize in the Danube Plain is associated with some yield variability (33% < Cv < 54%) that is in fact smaller than in the Thracian Lowland (40% < Cv < 70%). Nevertheless that drought impact is mitigated in North Bulgaria it is a key factor in some regions (Lom and Varna). Basing upon economic considerations, relative yield decreases (RYD) were computed with the threshold of 67, 55 and 60% of the potential maize productivity in Pleven, Lom and Silistra. Maize production is risky in 22% of years in Lom when TAW is large, which is the double of risk in Pleven and Silistra. If TAW is medium the risky years double and reach 50% of years in Varna.

The application of the trend analyses to net irrigation requirements NIR over the 1970 – 2004 period shows a significant increase of NIR by 120 (Pleven), 90 – 80 mm (Lom, Silistra) that is half than in Varna. Contrarily, water stress increase related to the raifed maize led to yield decrease on drylands by 32% of potential yield on the average in Pleven, by 20% in Lom and Silistra and by 10% in Varna thus indicating that innovative risk approaches are required.

**Key words:** risk assessment of climate change, Chernozems, North Bulgaria, maize crop season

Сушата е метеорологично явление, засягащо все по-често селското стопанство и икономиката на страната (Славов и кол., 2003; Koleva and Alexandrov, 2008; Popova and Kercheva, 2002; 2005; Popova and Pereira, 2008). Установено е, че поради намаление на валежите и нарастване на диапазона на температурата на въздуха в най-голяма степен от сезонно засушаване в страната са застрашени районите на Пловдив и Стара Загора (Попова, 2012; Попова и кол., 2013b). Лятото в Дунавската равнина е по-влажно в сравнение с Горнотракийската низина. Повечето земеделски райони обаче също показват тенденция към нарастване на максималната температура със средно годишно увеличение от 0.024 °C/yr (Попова и кол., 2013a; 2013b). Областите около Плевен (La 43°25', Lg 24°36', Alt 134 m), Силистра (La 44°07', Lg 27°16', Alt 16 m), Лом (La 43°49', Lg 23°13', Alt 36 m) и Варна (La 43°12', Lg 27°55', Alt 39 m) се определят като засушливи по отношение на годишните валежни суми (Александров, 2011).

Традиционни почви в Северна България са Черноземите със среден ( $TAW = 157 \text{ mm m}^{-1}$ ) до висок използваем воден запас ( $TAW = 180 \text{ mm m}^{-1}$ ) при различните им разновидности, а също и Смолниците ( $TAW \geq 180 \text{ mm m}^{-1}$ ) от Северозападна България (Бонева, 2012).

Царевицата е избрана като типична поливна полска култура. Ходът на развитието, евапотранспирацията, чувствителността ѝ към воден стрес през отделните фази на развитие, както и нуждите от напояване са аналогични на тези за останалите пролетни култури (Върлев, 2011). Независимо че продължителността на периода с максимална евапотранспирация ( $ET_{max}$ ) е различна, стойността на  $ET_{max}$  при всички пролетни култури е много близка. Поради това резултатите, получени от царевицата могат да се разглеждат като представителни за тази група култури.

Целта на настоящото изследване беше да се анализират колебанията и промените на климата, включително тенденциите към засушаване, както и тяхното въздействие по отношение на агросистемата на царевицата за предста-

вителни групи почви и климатични райони на Северна България. Обхванати са периодите 1951 – 2004 и 1970 – 2004 година, като вторият е представителен за условията на съвременния климат.

### Материал и методи

Изследването е осъществено за райони, представителни за умереноконтиненталния (Плевен, Силистра, Лом) и Северно-черноморския (Варна) климат (фиг. 1). Използвани са месечни данни за валежи, температура и еталонна евапотранспирация  $ET_o - PM$  (Allen et al., 1998), стандартизиран валежен индекс SPI, изчислен със стъпка от 3 и 12 месеца, SPI3 и SPI12, (McKee et al., 1993), както и резултати от приложението на модела WINISAREG (Teixeira and Pereira, 1992; Pereira et al., 2003) за симулиране на поливния режим, водния баланс и въздействието им върху добивите за периода 1951 – 2004 г. (Попова, 2012).

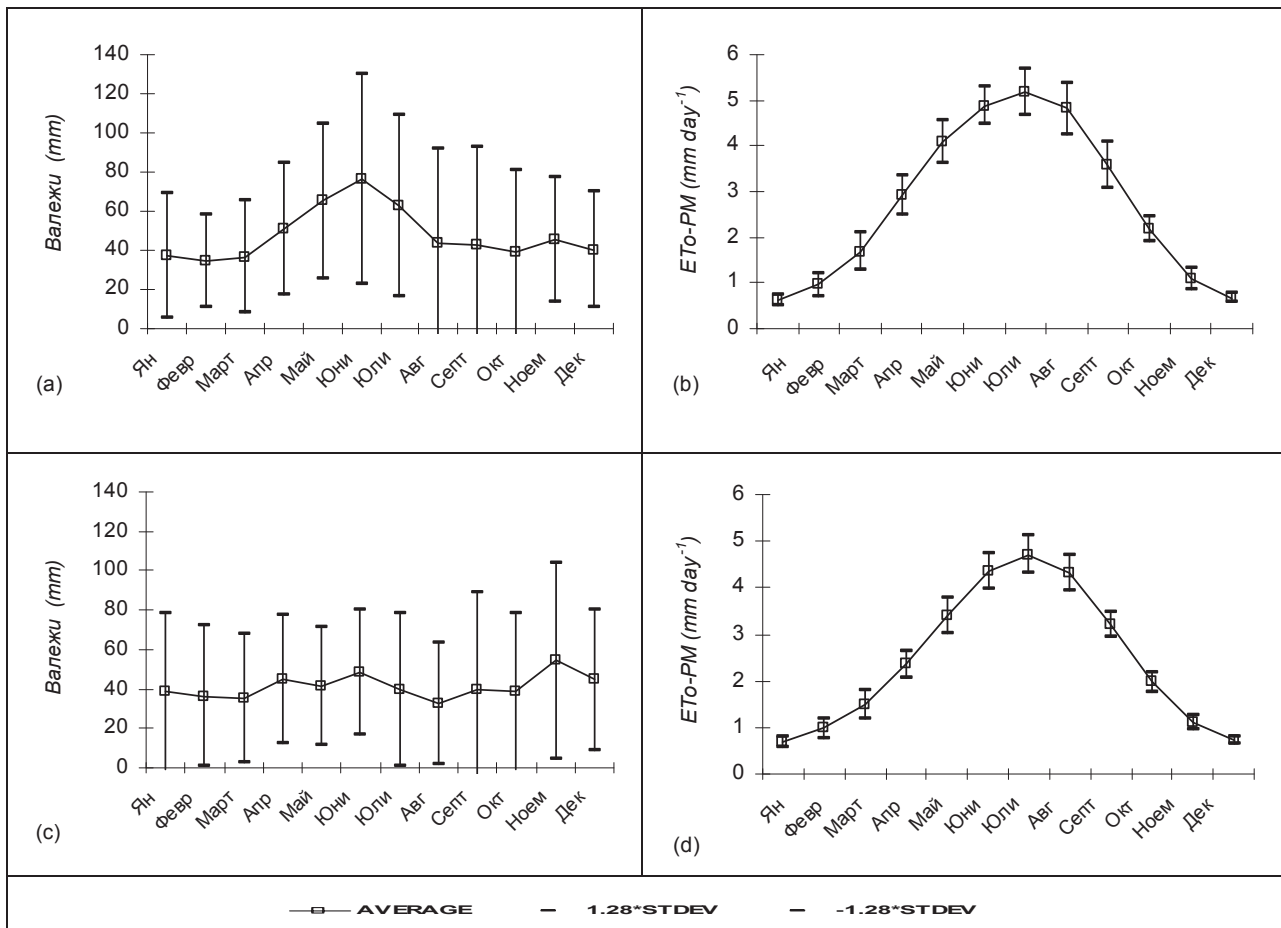
### Параметри на климата

Еталонната евапотранспирация е изчислена по уравнението на Penman-Monteith  $ET_o - PM$  за изследваните райони (Allen et al., 1998; Попова, 2012). Приложена е методологията на FAO 56 при ограничени данни за метеорологичните елементи (Порова et al., 2006; Иванова и Попова, 2011a). Установени са месечните и средномногогодишните месечни стойности за валежите и  $ET_o - PM$ , както и 80-процентният им доверителен интервал (фиг. 2).

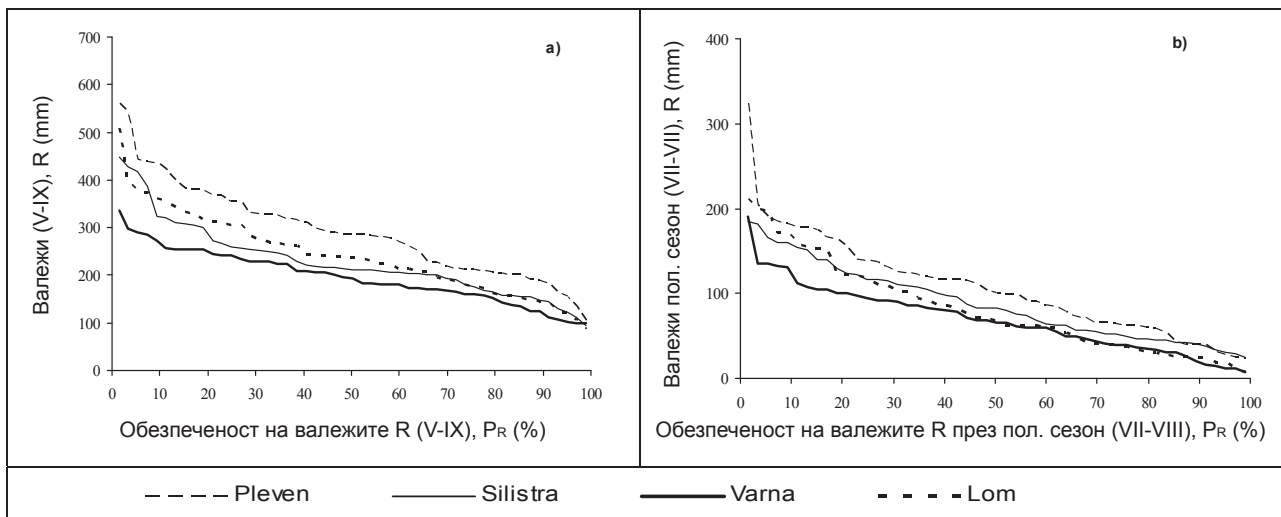


Фиг. 1. Местоположение на изследваните опитни полета на ИПАЗР „Н. Пушкиarov“ и метеорологични станции на НИМХ в България

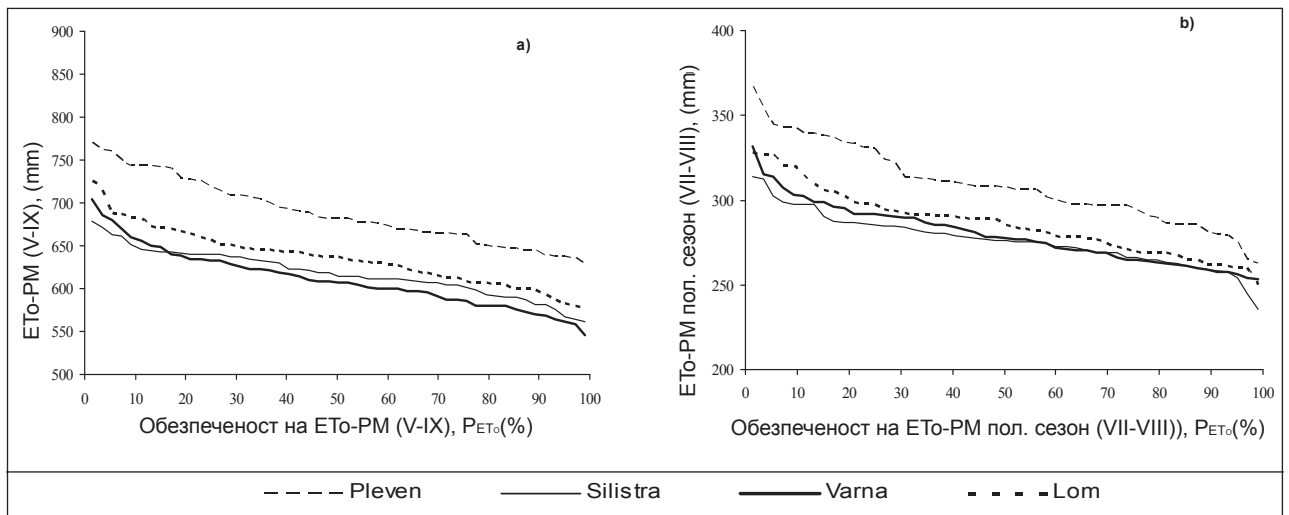
Fig. 1. Experimental fields of ISSAPPNP and meteorological stations of NIMH in Bulgaria



Фиг. 2. Средногодишни месечни валежи (mm) и еталонна евапотранспирация ET<sub>0-PM</sub> (mm day<sup>-1</sup>) (□) за периода 1951 – 2004 г. Ограничителните черти показват 1,28 пъти стандартното отклонение  $\sigma$  (80% доверителен интервал); (a) и (b) - Плевен; (c) и (d) - Варна  
 Fig. 2. Average monthly precipitation totals (mm) and reference evapotranspiration ET<sub>0-PM</sub> (mm day<sup>-1</sup>) (□); bars represent the 80% confidence interval, 1951 – 2004; (a) and (b) - Pleven; (c) and (d) - Varna

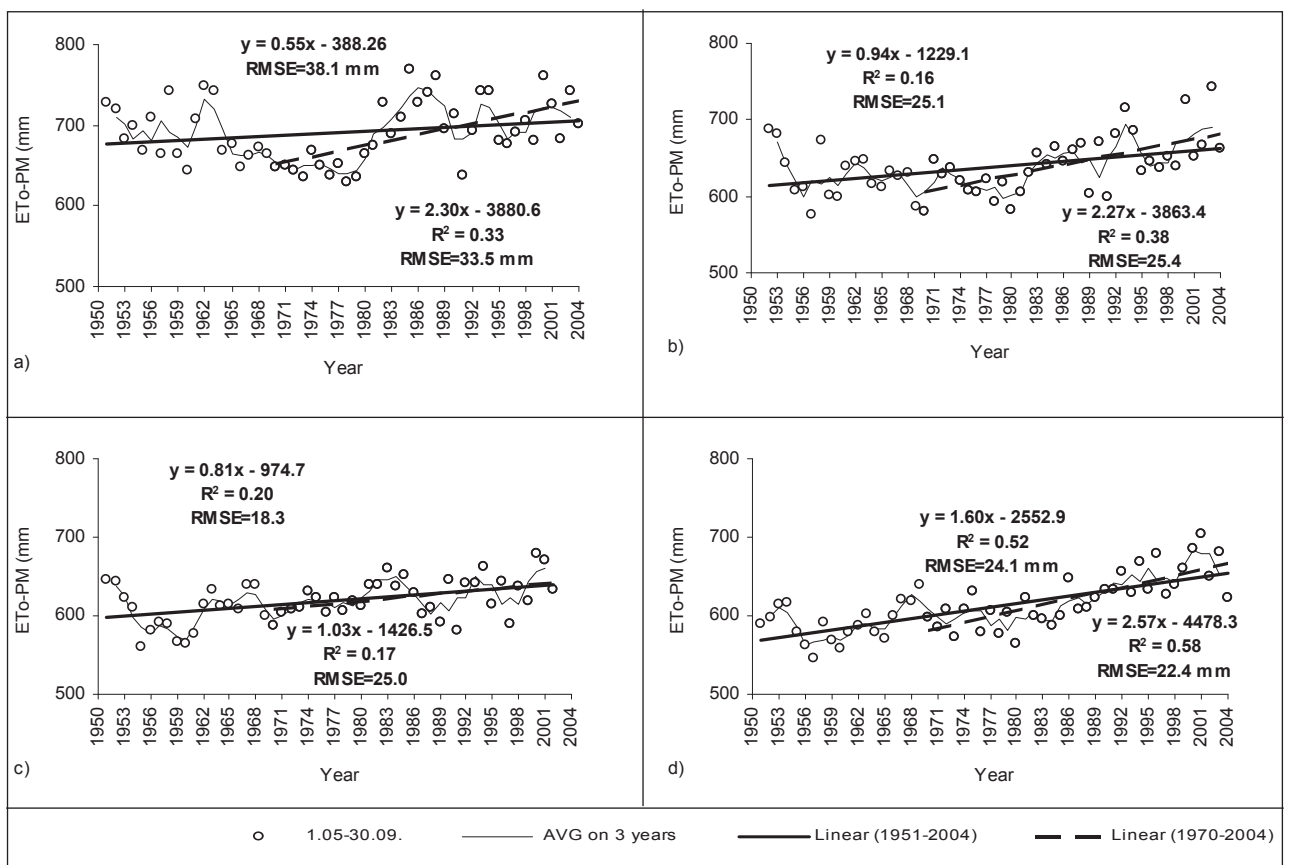


Фиг. 3. Сравняване на кривите на обезпеченост на валежните суми за четири представителни климатични района за: а) вегетационния (V – IX) и б) поливния (VII – VIII) период, 1951 – 2004 г.  
 Fig. 3. Comparison of precipitation (mm) probability of exceedance curves for four climate regions relative to: a) cropping season (V – IX) and b) high peak season (VII – VIII), 1951 – 2004



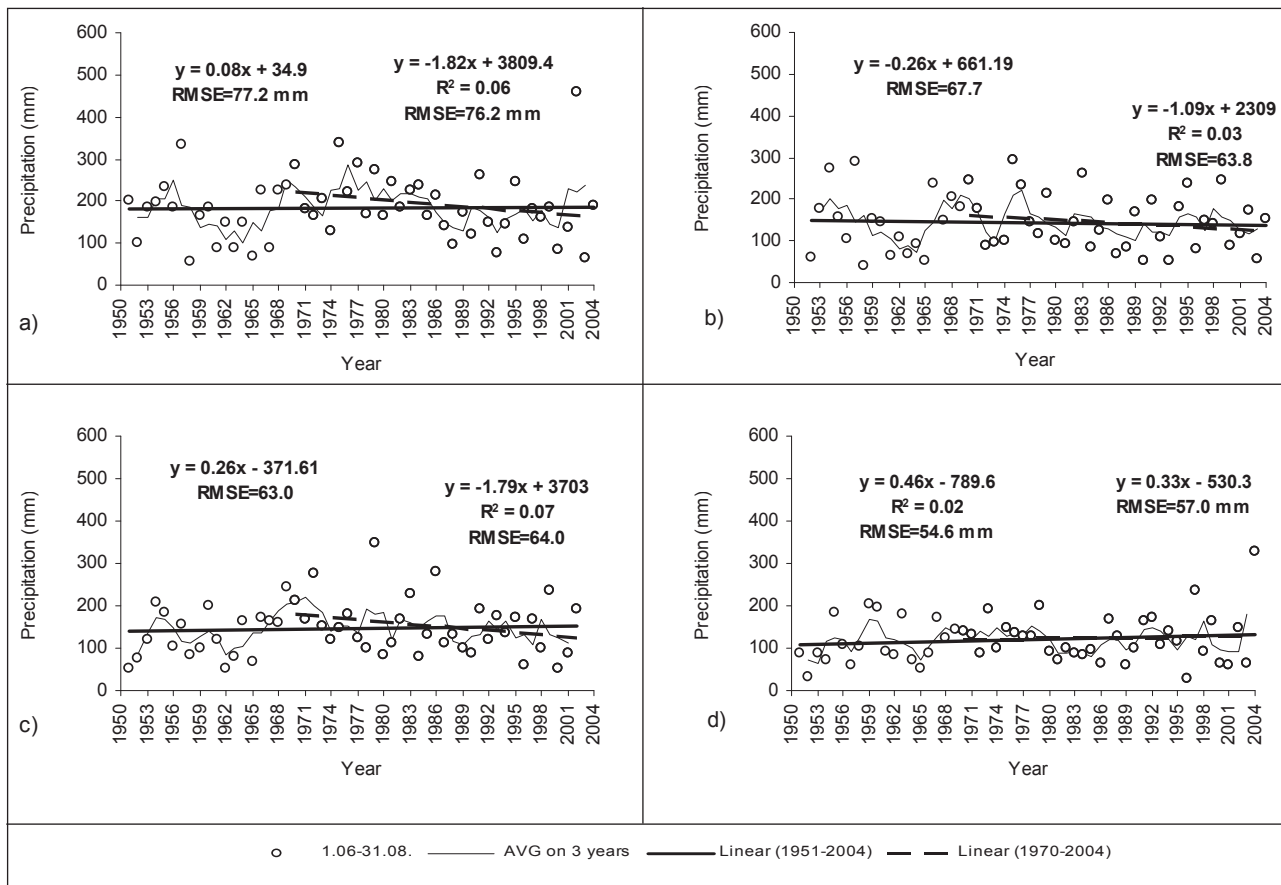
Фиг. 4. Сравняване на кривите на обезпеченост на сезонната еталонна евапотранспирация **ETo-PM** за четири представителни климатични района за: а) вегетационния (V – IX) и б) полевния (VII – VIII) период, 1951 – 2004 г.

Fig. 4. Comparison of reference evapotranspiration **ETo-PM** (mm day<sup>-1</sup>) probability of exceedance curves at four climate regions relative to: a) cropping season (V – IX) and b) high peak season (VII – VIII), 1951 – 2004



Фиг. 5. Сезонна еталонна евапотранспирация **ETo-PM** (mm day<sup>-1</sup>) за периода „май-септември“ (○) за: а) Плевен, б) Лом с) Силистра и д) Варна; колебания и тенденции за периода 1970 – 2004 г., сравнени с тези за целия изследван период

Fig. 5. Seasonal Reference evapotranspiration **ETo-PM** (mm day<sup>-1</sup>) “May-September” (○) at: a) Pleven, b) Lom, c) Silistra and d) Varna; comparison of trendlines relative to the periods 1951 – 2004 and 1970 – 2004



Фиг. 6. Сума на валежите  $R$  (mm) за периода „юни-август“ (○) за: а) Плевен, б) Лом в) Силистра и д) Варна; колебания и тенденции за периода 1970 – 2004 г., сравнени с тези за целия изследван период Fig. 6. Sum of precipitation  $R$  (mm) relative to the period “June-August” (○) at a) Pleven, b) Lom, c) Silistra and d) Varna; comparison of trendlines for 1951 – 2004 and 1970 – 2004

Средномесечните стойности на **ЕТо – РМ** ( $\text{mm day}^{-1}$ ) следват сезонен ход на изменение с максимални стойности през юли и август (фиг. 2b и 2d), когато валежите варират значително и стандартното отклонение  $1.28 \sigma$  е 40 – 70 mm (фиг. 2a и 2c). Обратно на валежите, **ЕТо** се колебае в тесни граници, което следва от съответния доверителен интервал с ниво на вероятност 80% в граници 0,1 – 0,7  $\text{mm day}^{-1}$ . Най-ниска е изпарителната способност на атмосферата през периода от ноември до февруари.

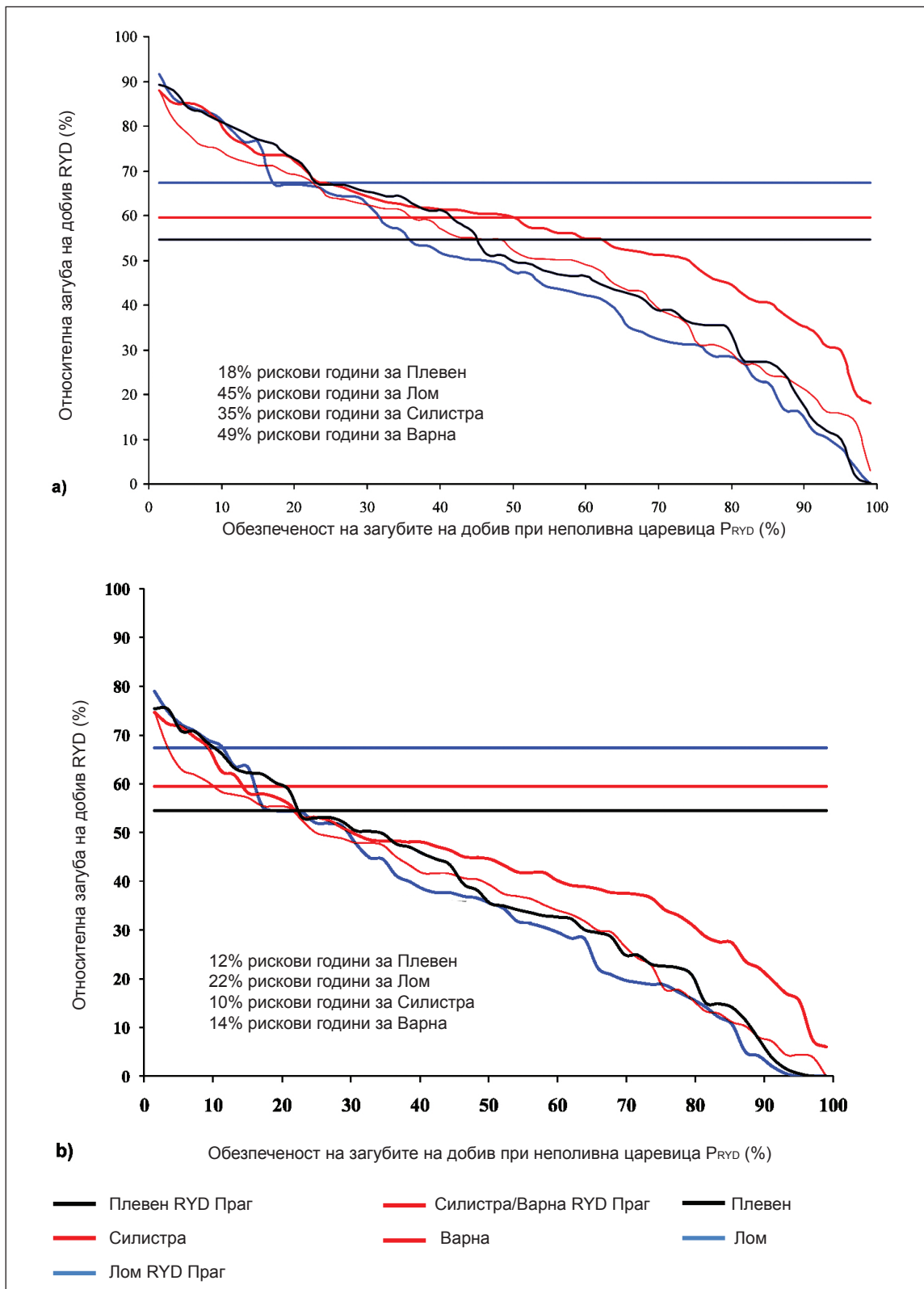
Най-високите максимални стойности на **ЕТо** са установени за Плевен – 5.2 и 4.9  $\text{mm day}^{-1}$  (фиг. 2b), а най-ниските за Варна – 4.7 и 4.4  $\text{mm day}^{-1}$  (фиг. 2d). От резултатите на фиг. 2 следва, че през периода с висок дефицит на вода „юли – август“ могат да се очакват рискови ситуации от засушаване при пролетниците в Северна България.

На фиг. 3 са представени кривите на обез-

печеност на валежните суми за вегетационния (V – IX) и поливния (VII – VIII) период.

Резултатите показват, че сумите на валежите са най-високи за **Плевен**, като за периода „май – септември“ се колебаят в граници от **120** до **570** mm (фиг. 3a). Най-ниски са вегетационните валежи във Варна, като през годините се изменят от **100** до **320** mm. През средните години вегетационните валежите в **Лом** и **Силистра** са по-ниски с **60 – 80** mm от тези в Плевен. По отношение на поливния сезон (VII – VIII) разликите между валежните суми за разглежданите станции намаляват наполовина, а през най-сухите ( $P_R > 85\%$ ) тези разлики са незначителни (фиг. 3b).

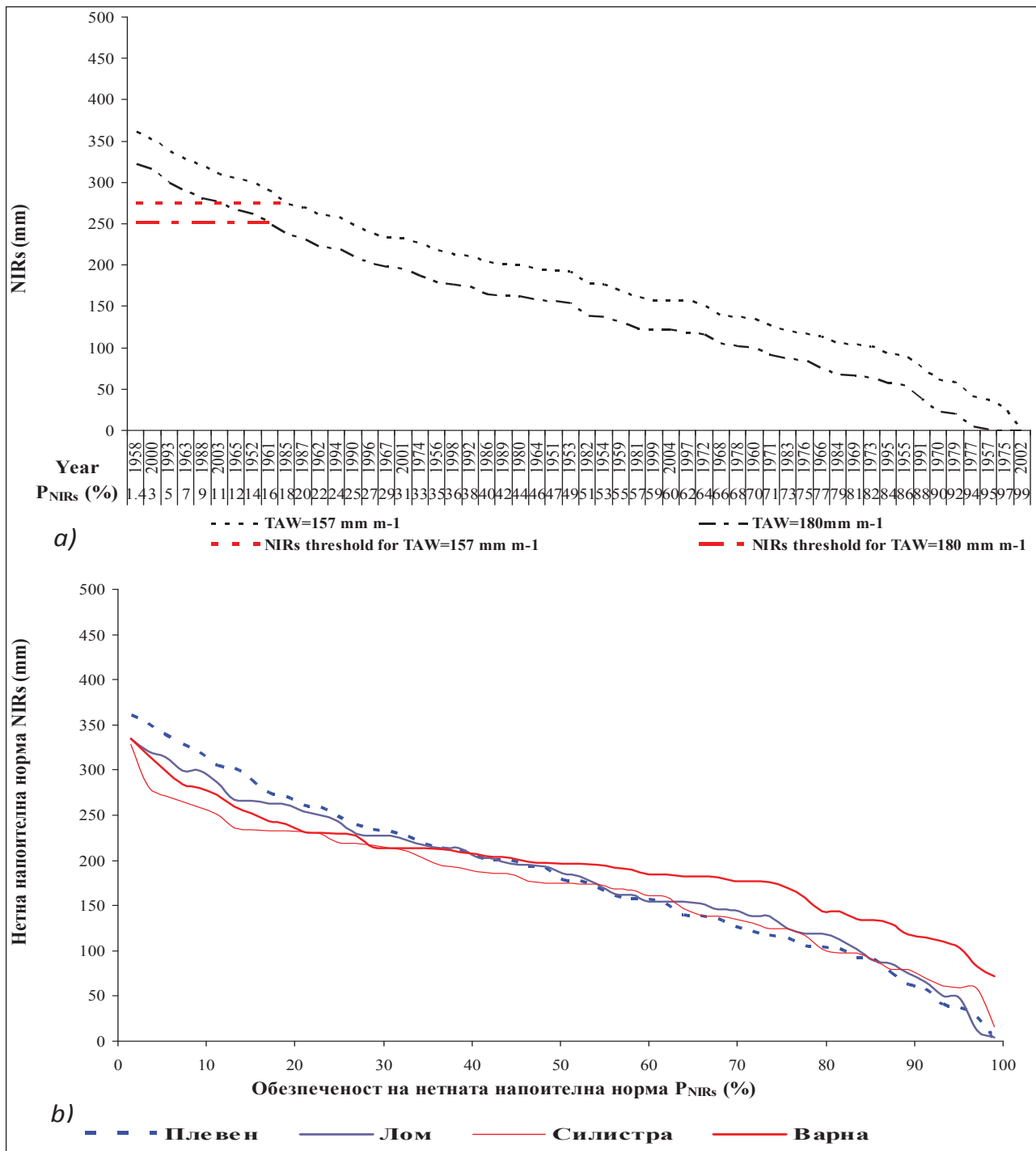
На фиг. 4a и 4b съответно са сравнени кривите на обезпеченост на сезонната еталонна евапотранспирация за изследваните райони. Вижда се, че през чувствителните на воден стрес периоди от развитието на царевицата изпарителната способност на атмосферата



Фиг. 7. Сравнение на кривите на обезпеченост на относителните загуби на добив (RYD, %) за четири района и две групи почви: а) със среден ( $157 \text{ mm m}^{-1}$ ) и б) с висок ( $180 \text{ mm m}^{-1}$ ) използваем запас TAW, неполивна царевица, 1951 – 2004 г.

Fig. 7. Comparison of relative yield decrease (RYD, %) probability of exceedance curves, relative to four climate regions and two soil groups of: a) medium TAW ( $157 \text{ mm m}^{-1}$ ) and b) large TAW ( $180 \text{ mm m}^{-1}$ ), rainfed maize, 1951 – 2004





Фиг. 8. Криви на обезпеченост на нетните напоителни норми (NIRs, mm): а) за района на Плевен в зависимост от използвания воден запас на почвата TAW; б) за климатичните райони и почви със среден TAW (157 mm m<sup>-1</sup>), 1951 – 2004 г.

Fig. 8. Probability curves for net irrigation requirements (NIRs, mm): a) at Plevna region as influenced by soil total available water TAW; b) for climate regions and Calcareous Chernozems of medium TAW (157 mm m<sup>-1</sup>), 1951 – 2004

надвишава от 2 до 5 пъти сезонните валежи през 90% от изследваните години. Докато валежните суми (VII – VIII) се изменят през периода 1951 – 2004 г. в съотношение 1: 20

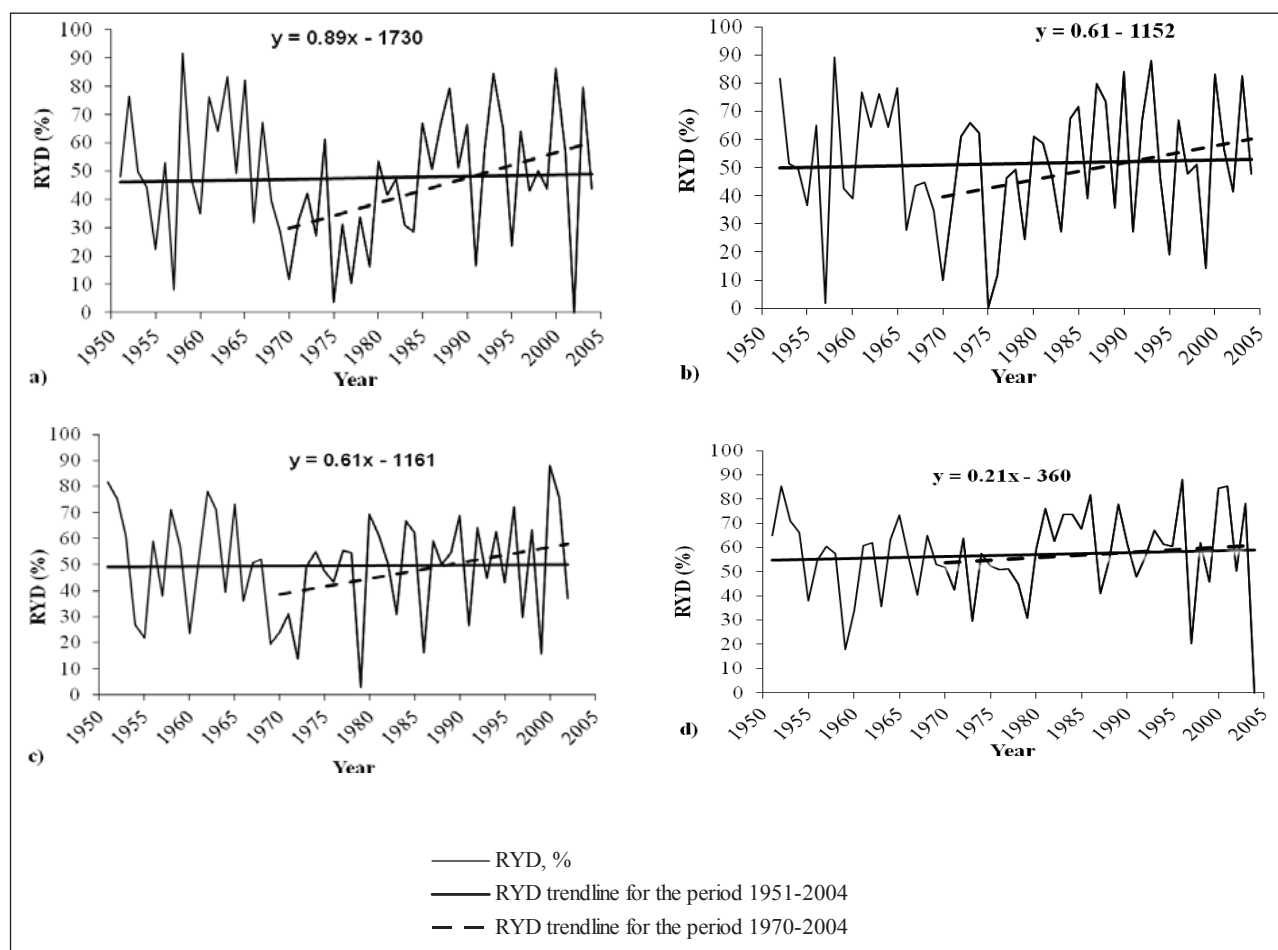
(Варна) и 1: 10 (Силистра), еталонната евапотранспирация се изменя в съотношение 1: 1.22 (Варна) и 1: 1.33 (Силистра) (фиг. 3б и 4б).

### Характеристики на почвата

В Северна България най-широко разпространени почви са Черноземите с използваем воден запас в граници  $157 \leq TAW \leq 180 \text{ mm m}^{-1}$ . Черноземите са почви от типа МИ (монтморилонитови-илитови) с преобладаване на монтморилонитови минерали от 10 до 20% от почвата. Този процент се променя в посока от р. Дунав на юг от Карбонатните към Излужените и Деградираните Черноземи. За последните е характерно и по-високо участие на вермикулит, който в комбинация с монтморилонита определя по-високите стойности на TAW за тези Черноземи в Средната Крайдунавска и Лудогорско-Добруджанската провинция. Влагоемките Смолници ( $TAW \geq 180 \text{ mm m}^{-1}$ ) са разпространени в Северозападната част

на страната – около Видин. Малки петна от т. нар. „карасулуци“ с  $TAW > 180 \text{ mm m}^{-1}$ , които са подобни на Смолниците по воден запас са специфични за Лудогорско-Добруджанския район, Североизточна България. Групата почви с нисък използваем воден запас ( $TAW \leq 116 \text{ mm m}^{-1}$ ) се състои основно от Алувиално-ливадните почви, които се срещат по речните тераси в Дунавската равнина (Койнов и др., 1998; Попова, 2012).

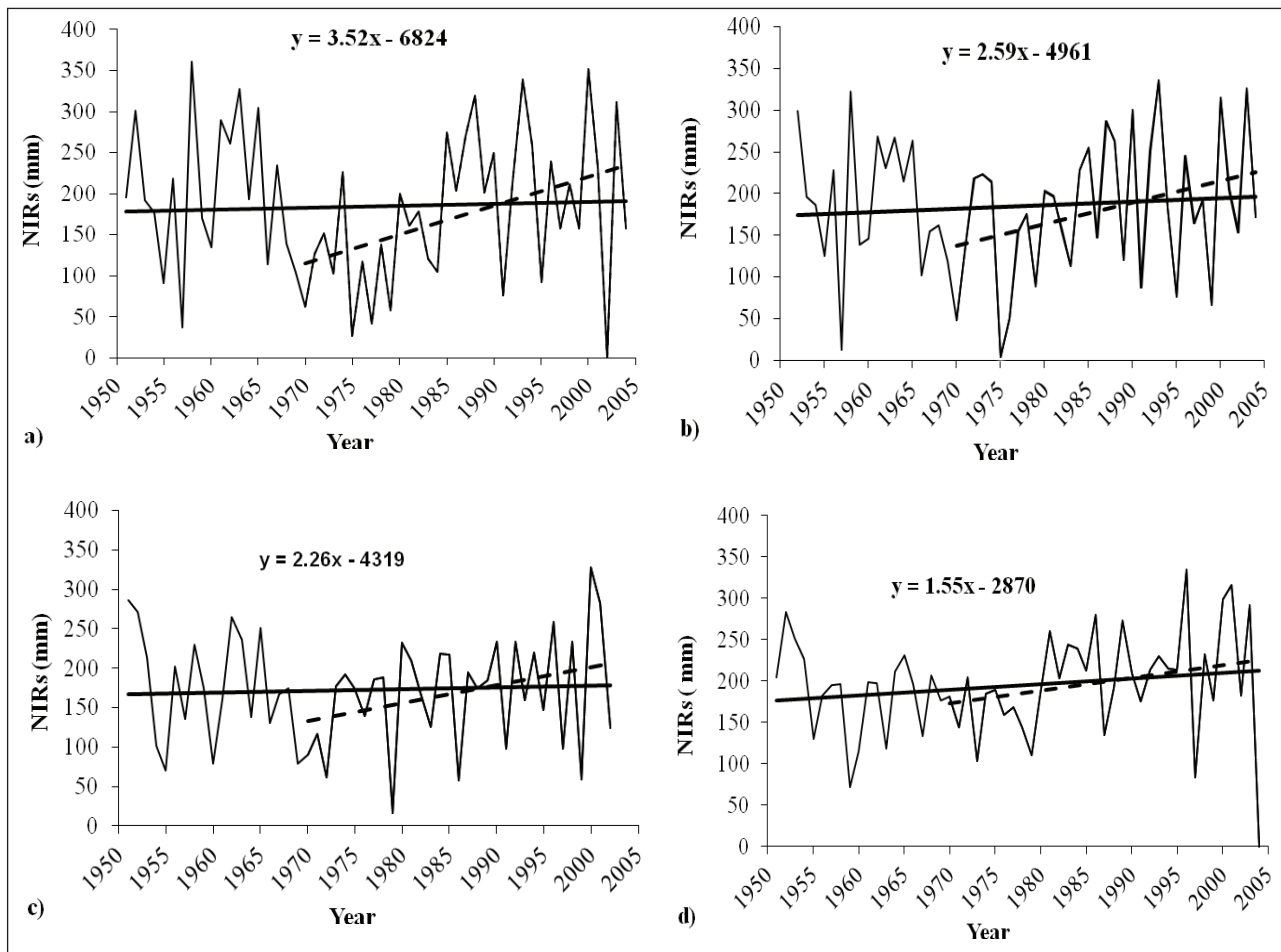
Разработката се основава на предишни изследвания на воднофизичните и други свойства на почвата в опитните полета в с. Ковачица, Горни Дъбник и Сливо поле (фиг. 1) (Донева, 1976; Стоянов, 2008; Попова, 2012). За определяне на достъпния (използваем) воден запас TAW (mm m<sup>-1</sup>) са използвани детайлни



Фиг. 9. Колебания и тенденции на относителните загуби на добив (RYD, %) при неполивна царевица за районите на: а) Плевен, б) Лом, в) Силистра и д) Варна, Черноземи със среден използваем воден запас ( $TAW = 157 \text{ mm m}^{-1}$ ), късни хибриди (H 708), 1951 – 2004 г. vs. 1970 – 2004 г.

Fig. 9. Trendline of relative yield decrease (RYD, %) for rainfed maize at: a) Plevan, b) Lom, c) Silistra and d) Varna, late hybrids (H708), Chernozems of medium water holding capacity ( $TAW = 157 \text{ mm m}^{-1}$ ), 1951 – 2004 vs. 1970 – 2004





Фиг. 10. Колебания и тенденции на нетните напоителни норми **NYRs** (mm) при царевица за районите на: а) Плевен, б) Лом, с) Силистра и д) Варна, Черноземи със среден използваем воден запас ( $TAW = 157 \text{ mm m}^{-1}$ ) 1951 – 2004 г. vs. 1970 – 2004 г.

Fig. 10. Trendline of net irrigation requirements **NYRs** (mm) of maize at: a) Plevan, b) Lom, c) Silistra and d) Varna, late hybrids (H 708), Chernozems of medium water holding capacity ( $TAW = 157 \text{ mm m}^{-1}$ ) 1951 – 2004 vs. 1970 – 2004

данни за механичния състав, пределната полска влагоемност (ППВ), влажността на завяхване (ВЗ) и обемната плътност от редица почвени профили. Като са използвани съществуващи и новополучени данни, вкл. и за минерологичния състав на глинестата фракция на почвата и някои генетични особености, е проведено и допълнително изследване с оглед на групиране на почвите и мултиплициране на резултатите от симулациите с модела WINISAREG (Бонева, 2012). На основа на обобщените резултати настоящото изследване е осъществено за три групи почви за Северна България, а именно с нисък ( $TAW = 116 \text{ mm m}^{-1}$ ), среден ( $TAW = 157 \text{ mm m}^{-1}$ ) и висок ( $TAW = 180 \text{ mm m}^{-1}$ ) достъпен воден запас.

### Симулационен модел

Симулационният модел ISAREG (Teixeira and Pereira, 1992; Pereira et al., 2003) се основава на подхода на водния баланс на Doorenbos and Pruitt (1977), като последната му версия прилага обновената методология на ФАО за изчисление на евапотранспирацията на културата и необходимостта от напояване, предложена от Allen et al. (1998). Въздействието на водния стрес върху добива се оценява чрез еднофазовия модел на Stewart (Stewart et al., 1977; Doorenbos & Kassam, 1979). При наши предишни изследвания моделът е валидиран с данни от дългосрочни експерименти с различни варианти на напояване на ранни и късни хибриди царевица (Popova, Eneva

and Pereira, 2006; Попова, 2008; Popova and Pereira, 2011; Иванова и Попова, 2011; Попова и Иванова, 2012), проведени на почви с нисък, среден и висок използваем воден запас **TAW** в опитните полета от системата на Селскостопанска академия (фиг. 1). По този начин моделът може да бъде приложен с достатъчна точност за изчисляване на нетните напоителни норми (**NIRs**, mm) и относителните загуби на добив от неполивна царевица (**RYD**, %) за периода 1951 – 2004 г., за разглежданите климатични райони и групи почви.

На основата на дългосрочните метеорологични данни и индекси, резултати от моделните симулации за **NIRs** и **RYD** са осъществени анализи за тенденция, вкл. и по модифицирания тест на Mann-Kendall, и е оценен рискът от засушаване при неполивната царевица и напоителните норми, необходими за предотвратяване на последствията от колебанията и промените на климата.

### Резултати и обсъждане

#### Тенденции на промени на климата през периода 1951 – 2004 година

Резултатите от теста за анализ на тенденция на максималната и минималната температура на въздуха и валежите са систематизирани в табл. 1, 2 и 3, в които е даден наклонът (ъгловият коефициент **b**) по месеци и

Таблица 1. Резултати от анализите за тенденция на максималната температура, 1951 – 2004 г.

Table 1. Maximum temperature trend analysis, 1951 – 2004

Months	Lom	Pleven	Silistra	Varna
January	0.04	-0.01	0.02	0.02
February	0.06	0.02	0.05	0.03
March	<b>0.07</b>	0.03	<b>0.06</b>	0.05
April	0.01	0.00	0.02	0.02
May	0.03	0.02	0.04	<b>0.04</b>
June	0.03	<b>0.03</b>	<b>0.03</b>	<b>0.04</b>
July	0.02	0.02	<b>0.03</b>	0.03
August	0.01	-0.01	0.02	0.03
September	-0.02	-0.02	-0.01	0.01
October	0.00	-0.01	0.00	0.00
November	0.00	-0.03	-0.01	-0.01
December	-0.01	-0.03	<b>0.02</b>	-0.01
Annual mean	<b>0.02</b>	0.00	<b>0.02</b>	<b>0.02</b>

средно годишно, характеризиращ величината на тенденция и показващ дали тенденцията е нарастваща или намаляваща (положителна или отрицателна). Подчертаните цифри идентифицират случаите, в които съществува значителна тенденция с вероятност на грешката „p” < 0,025 и 95% доверителен интервал.

Когато тестът е приложен за целия изследван период е установено, че с изключение на Плевен, станциите имат положителна тенденция за максимална температура (Tmax) с уве-

Таблица 2. Резултати от анализите за тенденция на Tmin, 1951 – 2004 г.

Table 2. Minimum temperature trend analysis, 1951 – 2004

Months	Lom	Pleven	Silistra	Varna
January	0.00	-0.01	0.02	-0.01
February	0.02	0.01	0.03	-0.02
March	0.04	0.04	<b>0.05</b>	0.02
April	0.00	0.03	0.02	0.00
May	0.01	0.01	0.00	-0.02
June	0.00	0.02	0.02	-0.01
July	0.02	0.02	<b>0.03</b>	0.03
August	0.01	0.02	0.00	-0.01
September	0.00	0.02	0.00	<b>-0.02</b>
October	0.00	<b>0.03</b>	0.01	-0.02
November	<b>-0.04</b>	-0.02	-0.03	-0.04
December	<b>-0.04</b>	-0.02	-0.01	<b>-0.04</b>
Annual mean	0.00	0.01	0.01	<b>-0.01</b>

Таблица 3. Резултати от анализите за тенденция на валежите, 1951 – 2004 г.

Table 3. Precipitation trend analysis, 1951 – 2004

Months	Lom	Pleven	Silistra	Varna
January	-0.17	0.25	-0.19	0.03
February	<b>-0.56</b>	0.74	-0.04	0.04
March	-0.23	0.39	<b>0.46</b>	<b>0.06</b>
April	-0.05	0.94	0.27	0.02
May	-0.09	0.67	-0.21	<b>0.03</b>
June	-0.48	0.25	0.05	<b>0.02</b>
July	0.30	0.36	-0.08	0.21
August	-0.05	0.15	0.18	<b>0.04</b>
September	0.50	0.49	0.44	<b>0.02</b>
October	-0.11	0.71	0.14	0.03
November	-0.40	0.23	0.09	-0.01
December	-0.02	0.83	0.12	<b>-0.02</b>
Annual mean	-1.27	0.35	1.14	<b>0.02</b>

Таблица 4. Резултати от анализите за тенденция на сумарната ETo за вегетационния, пиковия и поливния период, 1970 – 2004 г.

Table 4. ETo trend analysis, 1970 – 2004

Периоди	Seasonal ET <sub>0</sub> (V – IX)		Peak Season ET <sub>0</sub> (VI – VIII)		High Peak Season (VII – VIII)	
	Станции	b, mm yr <sup>-1</sup>	Σ ET <sub>0</sub> , mm	b, mm yr <sup>-1</sup>	Σ ET <sub>0</sub> , mm	b, mm yr <sup>-1</sup>
<b>Плевен</b>	<b>2.30</b>	81	<b>1.83</b>	64	1.43	<b>65</b>
<b>Варна</b>	<b>2.57</b>	90	<b>1.78</b>	62	1.31	<b>60</b>
<b>Лом</b>	<b>2.27</b>	80	<b>1.67</b>	59	1.24	<b>56</b>
<b>Силистра</b>	1.03	36	0.85	30	0.74	34

Таблица 5. Резултати от анализите за тенденция на валежните суми R за вегетационния, пиковия и поливния период, 1970 – 2004 г.

Table 5. Precipitation Trend Analysis, 1970 – 2004

Периоди	Seasonal ET <sub>0</sub> (V – IX)		Peak Season ET <sub>0</sub> (VI – VIII)		High Peak Season (VII – VIII)	
	Станции	b, mm yr <sup>-1</sup>	Σ R, mm	b, mm yr <sup>-1</sup>	Σ R, mm	b, mm yr <sup>-1</sup>
<b>Плевен</b>	<b>-2.14</b>	-75	<b>-1.82</b>	<b>-64</b>	-0.72	-25
<b>Варна</b>	1.70	60	0.33	12	0.52	18
<b>Лом</b>	-1.06	-37	-1.09	-38	0.09	3
<b>Силистра</b>	<b>-2.29</b>	-80	<b>-1.79</b>	<b>-63</b>	-1.29	-45

Таблица 6. Вариабилност на добива на зърно от неполивна царевица, характеризирана със средния добив и коефициента на вариация Cv за представителни климатични райони и групи почва, 1970 – 2004 г.

Table 6. Variability of grain yield characterized by the average value and the coefficients of variation Cv + for representative climate regions and soil groups, rainfed maize, 1970 – 2004

Климатичен район Climate region		Умереноконтинентален Moderate Continental						Черноморски Black Sea	
		Плевен Pleven		Лом Lom		Силистра Silistra		Варна Varna	
Хибрид царевица Maize hybrid		късен/late							
Използваем воден запас Total available soil water TAW		average yield, kg ha <sup>-1</sup>	Cv, %	average yield, kg ha <sup>-1</sup>	Cv, %	average yield, kg ha <sup>-1</sup>	Cv, %	average yield, kg ha <sup>-1</sup>	Cv, %
Нисък Small	TAW = 116 mm m <sup>-1</sup>	6809	47	4322	<u>54</u>	5032	45	4300	<u>54</u>
Среден Medium	TAW = <b>157</b> mm m <sup>-1</sup>	7612	42	4954	47	5766	39	5082	45
Висок Large	TAW = 180 mm m <sup>-1</sup>	9200	<u>33</u>	6203	35	7229	29	6692	32

личение  $0.02 \text{ }^\circ\text{C yr}^{-1}$ . Юни е месецът с най-голям брой статистически значими тенденции. За Силистра през четири от месеците  $T_{\max}$  показва нарастване, което се дължи основно на нарастването ѝ през март, юни и юли (табл. 1).

Минималната температура ( $T_{\min}$ ) не показва тенденция на увеличение в Северна България (табл. 2). Само за март и юли  $T_{\min}$  показва значително увеличение за Силистра (с  $0.03$  и  $0.05 \text{ }^\circ\text{C yr}^{-1}$ ). Варна е с тенденция към слабо намаляване на  $T_{\min}$  през изследвания период.

По отношение на валежите в Дунавската равнина, за разлика от Горнотракийската низина, не са установени статистически значими отрицателни тенденции (табл. 3). За Лом обаче е налице отрицателна тенденция практически за всички месеци и за годината.

Във Варна, въпреки че е установена тенденция за шест от месеците, това води до незначително увеличаване на валежите с  $0.02 \text{ mm yr}^{-1}$  годишно.

#### **Тенденции към влошаване на съвременния климат 1970 – 2004 година**

Резултатите от статистическия анализ за тенденция на сезонната **ЕТо – РМ** за периода 1970 – 2004 г. са онагледени с фиг. 5 и обобщени в табл. 4.

По отношение на сезонната **ЕТо – РМ** (V – IX) измененията са минимални в Силистра ( $1 \text{ mm yr}^{-1}$ , фиг. 5c) и достигат  $2.3 \text{ mm yr}^{-1}$  за Плевен и Лом (фиг. 5a и 5b) и  $2.6 \text{ mm yr}^{-1}$  за Варна, където коефициентът на детерминация е  $R^2 = 0.58$  (фиг. 5d).

Ако тестът за тенденция се приложи за целия разглеждан период 1951 – 2004 г., ъгловият коефициент  $b$  намалява наполовина за Лом и Варна (фиг. 5b и 5d) и на  $\frac{1}{4}$  за Плевен (фиг. 5a), което показва интензивно влошаване на климатичните условия в равнините на Северна България през последните 35 години (табл. 4). За всички станции месеците юни, юли и август, които в общи линии съвпадат с най-интензивното развитие на царевичата, допринасят в най-голяма степен за нарастването на сезонната **ЕТо – РМ** (V – IX).

По отношение вегетационните валежи (V – IX), резултатите показват значителни колебания, маркирани от цикличност на „влажни” и „сухи” периоди през последните

80 години (Попова, 2008; 2011). Анализите за последните 35 години показват, че валежите (V – IX) намаляват значително в Силистра ( $-2.3 \text{ mm yr}^{-1}$ ) и Плевен ( $-2.1 \text{ mm yr}^{-1}$ ) и най-малко (с  $-1.0 \text{ mm yr}^{-1}$ ) – в Лом (табл. 5).

Това се дължи основно на измененията отново през месеците юни, юли и август (фиг. 6).

През пиковия сезон „юни – август”, когато евапотранспирацията достига максималните си стойности (фиг. 2), най-значителни промени към засушаване са установени за Силистра и Плевен, където валежните суми намаляват с около  $65 \text{ mm}$  (фиг. 6, табл. 5). Такава „тенденция” към намаляване на валежите, макар и натоварена с голяма грешка на прогнозата ( $64 < \text{RMSE} < 76 \text{ mm}$ ) (фиг. 6a и 6c), може да се приеме за представителна за колебанията и промените на съвременния климат в низините на България и е използвана за оценка на последствията от климатичните промени за поливните режими, напоителните норми и добивите в Горнотракийската низина (Попова, 2008; 2011; Popova and Pereira, 2008).

Когато анализите са осъществени за целия изследван период (1951 – 2004 г.) в сравнение със съвременния климат (1970 – 2004 г.), валежите (VI – VIII) не показват тенденция към промени за Плевен и нарастват слабо за Варна и Силистра (фиг. 6a, 6c и 6d; табл. 3).

#### **Въздействие на колебанията и промените на климата върху добива от неполивна царевица**

На фиг. 7a и 7b са сравнени кривите на обезпеченост на относителните загуби на добив от неполивна царевица **RYD** (%), изчислени с наличната редица от климатични данни за разглежданите райони в Северна България при групите почви със среден ( $157 \text{ mm m}^{-1}$ ) и висок ( $180 \text{ mm m}^{-1}$ ) водозадържащ капацитет.

На фигурата с прави хоризонтални линии са дадени икономическите прагове, под които производството на неполивна царевица понася икономически загуби. В случая икономическият праг на относителните загуби на добив **RYD** (%) е определен при изкупна цена на продукцията  $200 \text{ lv/t}$  и разходи за производство  $800 \text{ lv/ha}$ , валидни за периода 1995 – 2005 година. Тези прагови стойности се изменят в Северна България от 55% (Лом) до 67% (Плевен)

и се отнасят за царевица късни хибриди (Н 708, 2Л-602 и ВС 622), за които е валидиран и моделът ISAREG.

Прагът **RYD** = 67% отговаря на средномногогодишния потенциален добив **Ymax** = 13 790 kg ha<sup>-1</sup> за 19-годишен период, измерен в опитно поле (ОП) Горни Дъбник (фиг. 1) (Стоянов, 2008). Икономическият праг **RYD** = 55% се отнася за средномногогодишния потенциален добив **Ymax** = 9 910 kg ha<sup>-1</sup>, установен при експериментите в ОП Ковачица, докато прагът **RYD** = 60% съответства на средния **Ymax** = 11 130 kg ha<sup>-1</sup>, наблюдаван за същия период в ОП Сливо поле, Силистренско (Стоянов, 2008).

Като са използвани дефинираните икономически прагови стойности за **RYD** са определени рисковите години, през които производството на неполивна царевица е губещо при условията на почви с различен използваем воден запас. На почвите със среден използваем воден запас (**TAW** = 157 mm m<sup>-1</sup>), каквито са някои Карбонатни и Типични Черноземи, годините с икономически риск са най-много в района на Варна (50%) и най-малко (18%) в района на Плевен (фиг. 7а). От фиг. 7а се вижда, че през средните климатични години (с обезпеченост  $40 < P_{RYD} < 75\%$ ) най-големи загуби на добив се получават за Варна, където загубите са в граници от 50% до 65% от потенциалния добив. Сравнително най-ниски са загубите на добив от суша за района на Плевен, които са от 30% до 50%, но са също стопански значими. През сухите години с обезпеченост  $P_{RYD} < 25\%$  загубите на добив **RYD** нарастват значително, като във всички разглеждани райони надминават 70% от потенциалната продуктивност. През влажните години с обезпеченост  $P_{RYD} > 75\%$  загубите на добив са ниски (**RYD** < 30%) практически за основните земеделски райони в Северна България с изключение на района на Варна.

При почвите с **TAW** = 180 mm m<sup>-1</sup> в районите на Плевен и Силистра, каквито са Излужените Черноземи в ОП в Горни Дъбник и Сливо поле, загубите на добив намаляват до незначителни (на около 10%), което е половината от загубите установени за Лом (фиг. 7б).

Колебанията на добивите от неполивна царевица късни хибриди в Северна България се характеризират чрез Cv и средния добив (табл. 6).

Cv се изменя в граници от 33% на Излужените Черноземи с висок водозадържащ капацитет (**TAW** = 180 mm m<sup>-1</sup>) в района на Плевен до 54% при леките по механичен състав Алувиално-ливадни почви (**TAW** = 116 mm m<sup>-1</sup>) в районите на Лом и Варна. Вариабилността на добивите на зърно от неполивната царевица в Дунавската равнина е значително по-ниска от тази в Горнотракийската низина ( $40 < Cv < 70\%$ ) (Popova et al., 2012; Попова, 2012).

Резултатите показват, че независимо от факта, че въздействията на сушата са смекчени в Северна България, тя е ключов фактор за вариация на добива при неполивни условия в районите на Лом и Варна ( $35 < Cv < 54\%$ ).

Средно многогодишните добиви (kg ha<sup>-1</sup>) в таблицата отговарят на продуктивността на царевицата при експериментални условия в парцелки. Реалният добив на зърно в производствената практика може да бъде установен чрез умножаване на данните в таблицата с редукиционен коефициент 0.75 (Върлев и Попова, 1999, Varlev, 2008).

#### **Напояване за справяне със сушата в зависимост от характеристиките на почвата**

Чрез резултатите от симулации с валидирания модел WINISAREG за периода 1951 – 2004 г. (Popova et al., 2012; Попова, 2012) са построени криви на обезпеченост на нетните напоителни норми (**NIRs**) на царевица за изследваните райони при групите почви с нисък (116 mm m<sup>-1</sup>), среден (157 mm m<sup>-1</sup>) и висок (180 mm m<sup>-1</sup>) използваем воден запас **TAW**.

По отношение на района на Плевен кривите показват, че при някои Излужени Черноземи с по-тежък механичен състав (**TAW** = 180 mm m<sup>-1</sup>), каквито са почвите в ОП Горни Дъбник, нетните напоителни норми се колебаят от 0 mm в екстремно влажните сезони ( $P_{NIRs} > 95\%$ ) до 100 – 170 mm през средните ( $40 < P_{NIRs} < 75\%$ ) и достигат до 300 – 320mm през екстремно сухите години **1958**, **2000** и **1993** ( $P_{NIRs} < 5\%$ ) (фиг. 8а). На почвите с ниска водозадържаща способност (116 mm m<sup>-1</sup>) напоителната норма достига 380 mm през най-сухите години. Установени са и съответните прагови стойности на напоителната норма **NIRs** за управление на напояването в Средната Крайдунавска провинция през годините с икономически риск от



неполивно земеделие. За групата на Излужените и Деградирани Черноземи с  $TAW = 180 \text{ mm m}^{-1}$  нормата  $NIRs$ , гарантираща възвращаемостта на вложените средства за производство е  $250 \text{ mm}$ , а за Карбонатните Черноземи с по-нисък  $TAW$  ( $157 \text{ mm m}^{-1}$ ) напоителната норма нараства на  $275 \text{ mm}$ .

На фиг. 8b са сравнени кривите на обезпеченост на  $NIRs$  за разглежданите климатични райони при групата черноземи със среден използваем воден запас ( $TAW = 157 \text{ mm m}^{-1}$ ). От фигурата следва, че през сухите години с обезпеченост  $P_{NIRs} < 15\%$  нормите са най-високи в Плевен ( $300 - 350 \text{ mm}$ ) и са с  $50 \text{ mm}$  по-ниски в земеделските райони около Силистра.

Напоителни норми са практически идентични за Плевен, Лом и Силистра през останалите средно сухи, средни и влажни години (с  $P_{NIRs} > 15\%$ ). От фигурата се вижда, че през средните и влажни години (с обезпеченост  $P_{NIRs} < 50\%$ ) нуждите от напояване са най-високи в Черноморската климатична област (Варна).

За сравнение, напоителните норми  $NIRs$  в Дунавската равнина (Силистра, Плевен и Лом) са с около  $100 \text{ mm}$  по-ниски от тези в Горнотракийската низина (Пловдив и Стара Загора) (Попова и Иванова, 2012а).

### **Тенденции към промени на добивите и напоителните норми**

Резултатите за добивите от неполивна царевица и необходимите напоителни норми са подложени на анализ на тенденция за целия изследван период (1951 – 2004 г.) и за последните 35 години. Промени във валежите и изпарителната способност на атмосферата през чувствителните към воден стрес периоди от развитието на царевицата логично водят до нарастване на водния стрес при неполивната царевица и намаляване на добивите. В резултат през периода 1970 – 2004 година добивите без напояване са намалели средно с  $32\%$  от потенциалния добив за Плевен, с  $20\%$  – за Лом и Силистра и с  $10\%$  – за Варна (фиг. 9).

Логично, напоителните норми, необходими за осигуряване възвращаемостта на вложените производствени разходи също са се променили. На Карбонатните Черноземи със средна влагоемкост ( $TAW = 157 \text{ mm m}^{-1}$ ) нетните напоителни норми  $NIRs$  на царевицата са нараснали през последните 35 години средно със  $130, 90$  и  $80 \text{ mm}$  за Плевен, Лом и Силистра и са се променили най-малко (с  $55 \text{ mm}$ ) за Варна (фиг. 10).

### **Заклучение**

Изследването, проведено при неполивна и поливна царевица за четири климатични района в зоната на Черноземите в Северна България за периода 1951 – 2004 и 1970 – 2004 година, позволява да се направи следното заключение.

По отношение на целия изследван период (1951 – 2004 г.) не са установени съществени тенденции при валежите. Тмах показва положителна тенденция с  $0.02 \text{ }^\circ\text{C yr}^{-1}$  в Лом, Силистра и Варна.

През периода 1970 – 2004 година при сезонната еталонна евапотранспирация  $ET_0$  „май – септември“ е установено нарастване от  $1.0 \text{ mm yr}^{-1}$  в Силистра до  $2.3 \text{ mm yr}^{-1}$  – в Плевен и Лом и  $2.6 \text{ mm yr}^{-1}$  – във Варна. Величината на тази тенденция намалява наполовина, ако се разглежда целият изследван период 1951 – 2004 година. Тенденцията към нарастване на  $ET_0$  се съчетава със значителни колебания и намаление на вегетационните валежи, съответно с  $-2.3, -2.1$  и  $-1.0 \text{ mm yr}^{-1}$  в Силистра, Плевен и Лом, което показва, че в зоната на Черноземите има влошаване на климатичните условия през последните 35 години.

Вариабилността на добивите на зърно от неполивна царевица ( $33\% < C_v < 47\%$ ) е значително по-ниска от тази в Горнотракийската низина ( $40 < C_v < 70\%$ ). Независимо от факта, че въздействията на сушата са смекчени в Северна България, тя е ключов фактор в някои райони (Лом и Варна).

Установени са криви на обезпеченост на добивите  $RYD$  от неполивна царевица и на необходимите напоителни норми  $NIR$  за предотвратяване на водния дефицит. Въз основа на икономически показатели са установени прагови стойности, определящи риска, предизвикан от този дефицит. Резултатите показват, че рискът намалява при Излужените Черноземи с по-висок



използваем воден запас ( $TAW = 180 \text{ mm m}^{-1}$ ) и че процентът на рисковите години е по-нисък в Северните централни и източни райони, отколкото в Северозападните и Крайморските. Необходими са по-нататъшни изследвания за анализиране на поливните режими, включително с воден дефицит, като адаптационна мярка за справяне със засушаването и климатичните промени.

За всеки район и воден запас на почвата  $TAW$  е дефиниран праг на метеорологичния индекс SPI, отнасящ се за периода на максималния воден дефицит „юли – август“, SPI2 “July – Aug”, при който загубите на добив от неполивна царевица водят до икономически щети.

Анализът за тенденция на нетните напоителни норми показва значително нарастване на  $NIR$  през периода 1970 – 2004 г. със 120 mm (Плевен), 90 – 80 mm (Лом, Силистра) и 55 mm (Варна). При неполивната царевица водният стрес се е увеличил, а добивите са намалели средно с 32% от потенциалния добив в Плевен и с 20% в Лом и Силистра, което показва необходимостта от нови подходи.

## Литература

- Александров, В.** (ред). 2011. Методи за мониторинг, оценка и въздействие на сушата в България. София, стр. 216
- Бонева, К.** 2012. Изследване на основните характеристики на почвата с оглед приложението им при калибровката и използването на симулационни математически модели. с. 141-165. Попова, З. (ред). 2012. Оценка на риска от засушаване в земеделието и управление на напояването чрез симулационни модели. ISBN 978-954-394-080-6
- Върлев, Ив.** 2011. Осреднени стойности на евапотранспирацията на пролетните култури в България. Научни доклади Международна конференция „100 години почвена наука в България“ София, част I, с. 488-494
- Донева, Е.** 1976. Характер и влияние на хидрофизичните свойства на почвата върху влагообмена в ненаситена почва. Дисертация. ВИСИ, София.
- Иванова, М., З. Попова.** 2011. Валидация на модел и коефициенти на културата чрез експерименти с царевица в Софийско поле. Научни доклади. Международна конференция „100 години почвена наука в България“, София, Част 2: 542-548
- Койнов, В., Ив. Кабакчиев, К. Бонева.** 1998. Атлас на почвите в България. *Земиздат*, София.
- Попова, З.** 2008. Оптимизиране на поливния режим, добивите и влиянието им върху околната среда чрез симулационни модели. Дисертация. ИП „Н. Пушкиров“, София, 326 с.
- Попова, З.** 2011. Уязвимост към засушаване и необходимост от напояване оценени на основата на моделни симулации. *Селскостопанска наука*, 44, 1, 7-21
- Попова, З.** (ред.). 2012. Оценка на уязвимостта към засушаване чрез модели на продуктивността на селскостопанските култури. Брошура Център за управление на засушаването в Югоизточна Европа ЦУЗЮЕ /DMCSEE/ Резюме от резултатите от проекта. с. 39-55; ИПАЗР „Н. Пушкиров“, ISBN 978-954-394-102-5
- Попова, З.** 2012. Оценка на риска от засушаване в земеделието и управление на напояването чрез симулационни модели. ИПАЗР „Н. Пушкиров“, 244 с.; ISBN 978-954-394-080-6
- Попова, З., М. Иванова.** 2012. Валидация на фактора на добива Ку (FAO 56) при неполивна царевица. Попова, З. (ред.). Оценка на риска от засушаване в земеделието и управление на напояването чрез стимулационни модели. ИПАЗР „Н. Пушкиров“, 244 с. ISBN 978-954-394-080-6, с. 8-14
- Попова, З., М. Иванова.** 2012а. Сравнение на загубите на добив от неполивна царевица и напоителните норми в България. *Селскостопанска техника*, XLIX, 2, 38-48
- Попова, З., М. Иванова, Д. Мартинс, Л. С. Перейра, М. Керчева, В. Александров, К. Донева.** 2013а. Климатични промени, селскостопанско засушаване и необходимост от напояване в България. *Водно Дело*, 1/2, 14-22
- Попова, З., М. Иванова, Д. Мартинс, Л. С. Перейра, М. Керчева, В. Александров и К. Донева.** 2013b. Засушаване и климатични промени в България: тенденции и въздействия върху агросистемата на царевицата. *Селскостопанска наука*, 46, 1, 19-30
- Славов, Н., Е. Колева, В. Александров.** 2003. Климатични особености на засушаването. И. Раев, Knight, С. G., М. Станева (ред.) Засушаването в България: съвременен аналог за климатични промени. Природни, икономически и социални измерения на засушаването 1982 – 1994 г. БАН, София, с. 39-52
- Стоянов, П.** 2008. Агроекологичен потенциал на царевицата, отглеждана върху типични за нейното производство почви в условията на България. Дисертация.

- Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes, M. Smith.** 1998. Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper 56, FAO, Rome.
- Doorenbos, J., W. O. Pruitt.** 1977. Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 24. FAO, Rome, Italy, p. 144
- Doorenbos, J., A. H. Kassam.** 1979. Yield Response to Water. Irrigation & Drainage Paper 33, FAO, Rome, p. 193
- Koleva, E., V. Alexandrov.** 2008. Drought in the Bulgarian low regions during the 20th century. *Theoretical and Applied Climatology*, 92, 113-120
- McKee, T. B., N. J. Doesken, J. Kleist.** 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Preprints, 8th Conference on Applied Climatology, 17-22 January, Anaheim, CA, p.179-184
- Pereira, L. S., P. R. Teodoro, P. N. Rodrigues, J. L. Teixeira.** 2003. Irrigation scheduling simulation: the model ISAREG. In: Tools for Drought Mitigation in Mediterranean Regions. G. Rossi, A. Cancelliere, L. S. Pereira, T. Oweis, M. Shatanawi, A. Zairi (Eds.) Kluwer, Dordrecht, p. 161-180
- Popova, Z., L. S. Pereira.** 2008. Irrigation scheduling for furrow irrigated maize under climate uncertainties in the Thrace plain, Bulgaria. *Journal of Biosystem Engineering*, 99, 4, 587-597
- Popova, Z., L. S. Pereira.** 2011. Modelling for maize irrigation scheduling using long term experimental data from Plovdiv region, Bulgaria. *Agricultural Water Management*, 98, 4, 675-683; doi:10.1016/j.agwat.2010.11.009
- Popova, Z., M. Ivanova, L. S. Pereira, V. Alexandrov, K. Doneva, P. Alexandrova, M. Kercheva.** 2012. Assessing drought vulnerability of Bulgarian agriculture through model simulations. *Journal of Environmental Science and Engineering*, B1 /8, p.1017-1036
- Popova, Z., M. Kercheva.** 2002. Optimization of strategies to mitigate biological droughts consequences under wheat and maize in Bulgaria. *Journal of Balkan Ecology*, 5, 1, 48-58
- Popova, Z., M. Kercheva.** 2005. Ceres model application for increasing preparedness to climate variability in agricultural planning- Risk Analyses. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 30, 1-3, 117-124. Elsevier Science Publisher. DOI: 10.1016/j.pce.2004.08.025
- Popova, Z., M. Kercheva, L. S. Pereira.** 2006. Validation of the FAO methodology for computing ETo with limited data. Application to South Bulgaria. *Irrig. and Drain.*, 55, 1, 201-215
- Popova, Z., M. Ivanova, P. Alexandrova, V. Alexandrov, K. Doneva, L. S. Pereira.** 2011. Impact of drought on maize irrigation and productivity in Plovdiv region. Transactions of National conference with international participation “100 years Soil Science in Bulgaria”, Sofia, 1, 394-399
- Popova, Z., S. Eneva, L. S. Pereira.** 2006. Model validation, crop coefficients and yield response factors for irrigation scheduling based on long-term experiments. *Journal of Biosystems Engineering*, 95, 1, 139-149
- Stewart, J. L., R. J. Hanks, R. E. Danielson, E. B. Jackson, W. O. Pruitt, W. T. Franklin, J. P. Riley, R. M. Hagan.** 1977. Optimizing crop production through control of water and salinity levels in the soil. Utah Water Res. Lab. Rep. PRWG151-1, Utah St. Univ., Logan.
- Teixeira, J. L., L. S. Pereira.** 1992. ISAREG, an irrigation scheduling simulation model. In: Pereira, L. S., Perrier, A., Ait Kadi, M. and Kabat (guest editors). *Crop Water Models*. Special issue of ICID Bulletin, 41, 2, 29-48

*Благодарности.*

Авторите благодарят за финансовата подкрепа на Проект DMCSEE, Център за управление на засушаванията в Югоизточна Европа от програмата за трансгранично сътрудничество за ЮЕ на ЕС при реализирането и разпространяването на резултатите от научните изследвания върху уязвимостта на културите от засушаване и управление на напояването в България.