

Проф. д-р инж. Зорница Попова, Асист. инж. Мария Иванова,
Докторант Диого Мартинс, Проф. Луис С.Перейра, Доц. д-р Милена
Керчева, Проф. д-р Веселин Александров, Гл. асист. д-р Катерина Донева

КЛИМАТИЧНИ ПРОМЕНИ, СЕЛСКОСТОПАНСКО ЗАСУШАВАНЕ И НЕОБХОДИМОСТ ОТ НАПОЯВАНЕ В БЪЛГАРИЯ

CLIMATE CHANGE, AGRICULTURAL DROUGHT AND IRRIGATION REQUIREMENT IN BULGARIA

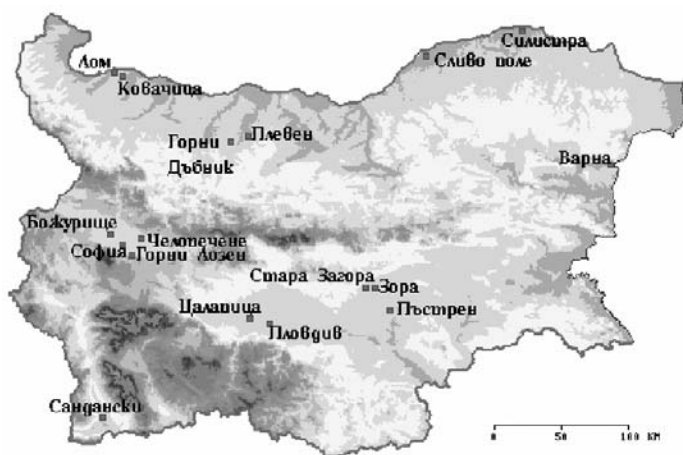
Prof. DSc Eng. Zornitsa. Popova, Asst. Eng. Maria Ivanova,
PhD student Diogo Martins, Prof.Dr. L.S.Pereira, Assoc. Prof. Milena Kercheva,
Prof. DSc Veselin Alexandrov, Asst. Prof. Katerina Doneva

***Summary:** This study assesses physical and economical aspects of climate change and agricultural drought in Bulgaria using trend analysis of climate data, simulation results of validated WINISAREG model and their relationship with the high peak seasonal SPI-index, all relative to the period 1951-2004. The analysis of data on precipitation and maximum and minimum temperature was performed by the modified Mann-Kendall trend test for eight climate stations in Bulgaria. Globally, the regions of Plovdiv and Stara Zagora with a decrease in precipitation and an increase in the temperature range may have consequences in the occurrence of drought in this country. As a result the trend of simulated net irrigation requirements (NIRs) over the studied period shows an increase by 80 and 27mm respectively for Plovdiv and Stara Zagora. Contrarily to NIRs, rainfed maize yield has decreased by 19% on the average in Plovdiv and 8% in Stara Zagora for the whole studied period. The results of the study are used for drought vulnerability mapping and identification of drought prone territories in Bulgaria and South East Europe.*

Климатичните промени и свързаните с тях неблагоприятни метеорологични явления, например засушаването, нанасят щети върху земеделието, обезпечаването му с вода за напояване и икономиката на България. Нуждата от разработване на нови методи и средства за по-добър анализ, прогнозиране и управление на риска от засушаване [6; 11; 12; 14; 9], е явна след изключително сухите 2000, 2007 и 2012 г., когато среднестатистическият добив от царевица за страната достигна рекордно ниските 180-146 kg/дка. За целта са анализирани физически и икономически аспекти на селскостопанското засушаване за осем представителни климатични райони на страната (Фиг.1).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИ

Използвани са данни за метеорологичните елементи, като месечни стойности на валежите и на максимална и минимална температура на въздуха, и резултати от приложението на модела WinISAREG [20; 8] за симулиране на поливния режим, водния баланс и добивите за периода 1951-2004 г. При наши изследвания моделът е валидиран с данни от дългосрочни експерименти с различни варианти на напояване на ранни и късни хибриди царевица [13; 2; 15; 16; 1], проведени в опитните полета в системата на Селскостопанска академия (Фиг. 1).



Фиг. 1. Местоположение на изследваните опитните полета на Института по почвознание, агротехнологии и защита на растенията “Н. Пушкиров” и на Метеорологичните станции в България.

ПОЛУЧЕНИ РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИИ

Физически аспекти на селскостопанското засушаване

На основата на дългосрочните метеорологични данни са осъществени анализи по модифицирания тест на Ман-Кендъл за тенденция на валежите и максималните и минимални температури при умерено континентален (Плевен, Силистра, Лом и София), преходно-континентален (Пловдив, Стара Загора),

преходно-средиземноморски (Сандански) и Северно-черноморски (Варна) климат. Резултатите са систематизирани в **таблицы 1, 2 и 3**, в които е даден наклонът (ъгловият коефициент), характеризиращ величината на тенденцията 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.

Таблица 1. Резултати от анализите за тенденция на валежите

| | Лом | Плевен | Пловдив | Сандански | Силистра | София | Стара Загора | Варна |
|----------------|--------------|--------|--------------|-------------|-------------|-------|--------------|--------------|
| Януари | -0,17 | 0,25 | -0,25 | 0,02 | -0,19 | -0,20 | -0,39 | 0,03 |
| Февруари | -0,56 | 0,74 | -0,09 | 0,03 | -0,04 | 0,05 | -0,32 | 0,04 |
| Март | -0,23 | 0,39 | -0,14 | 0,05 | 0,46 | 0,11 | 0,00 | 0,06 |
| Април | -0,05 | 0,94 | -0,20 | 0,01 | 0,27 | 0,02 | -0,39 | 0,02 |
| Май | -0,09 | 0,67 | -0,55 | 0,04 | -0,21 | 0,16 | -0,58 | 0,03 |
| Юни | -0,48 | 0,25 | -0,92 | 0,06 | 0,05 | -0,52 | -0,39 | 0,02 |
| Юли | 0,30 | 0,36 | -0,31 | 0,12 | -0,08 | -0,51 | -0,44 | 0,21 |
| Август | -0,05 | 0,15 | 0,06 | 0,02 | 0,18 | 0,27 | 0,11 | 0,04 |
| Септември | 0,50 | 0,49 | -0,20 | 0,01 | 0,44 | 0,17 | 0,27 | 0,02 |
| Октомври | -0,11 | 0,71 | -0,43 | 0,01 | 0,14 | -0,05 | -0,29 | 0,03 |
| Ноември | -0,40 | 0,23 | -0,45 | 0,00 | 0,09 | -0,23 | -0,43 | -0,01 |
| Декември | -0,02 | 0,83 | 0,10 | -0,02 | 0,12 | -0,01 | -0,09 | -0,02 |
| Годишни средни | -1,27 | 0,35 | -3,52 | 0,03 | 1,14 | -0,95 | -3,30 | 0,02 |

По отношение на валежите, **таблица 1** показва, че през януари липсва значителна тенденция. През

юни обаче тенденцията е налице в три от станциите, в резултат на което годишната сума на валежите е

намаляла за Пловдив (с $-3.52 \text{ mm год}^{-1}$) и Стара Загора (с $-3.30 \text{ mm год}^{-1}$). Въпреки, че във Варна е установена тенденция за шест от месеците, това

води до незначително увеличение на валежите с 0.02 mm год^{-1} . За Сандански увеличението е също несъществено - с 0.03 mm год^{-1} .

Таблица 2. Резултати от анализите за тенденция на максималната температура

| | Лом | Плевен | Пловдив | Сандански | Силистра | София | Стара Загора | Варна |
|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|
| Януари | 0,04 | -0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,05 | 0,05 | 0,02 |
| Февруари | 0,06 | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,05 | 0,04 | 0,08 | 0,03 |
| Март | <u>0,07</u> | 0,03 | <u>0,05</u> | 0,05 | <u>0,06</u> | 0,05 | <u>0,09</u> | 0,05 |
| Април | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,02 | 0,00 | 0,02 | 0,02 |
| Май | 0,03 | 0,02 | 0,03 | <u>0,04</u> | 0,04 | 0,03 | <u>0,04</u> | <u>0,04</u> |
| Юни | 0,03 | <u>0,03</u> | <u>0,04</u> | <u>0,06</u> | <u>0,03</u> | <u>0,05</u> | <u>0,05</u> | <u>0,04</u> |
| Юли | 0,02 | 0,02 | 0,03 | <u>0,04</u> | <u>0,03</u> | <u>0,05</u> | <u>0,04</u> | 0,03 |
| Август | 0,01 | -0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,04 | 0,05 | 0,03 |
| Септември | -0,02 | -0,02 | 0,00 | 0,01 | -0,01 | <u>0,01</u> | 0,00 | 0,01 |
| Октомври | 0,00 | -0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,00 |
| Ноември | 0,00 | -0,03 | 0,00 | 0,00 | -0,01 | -0,04 | 0,00 | -0,01 |
| Декември | -0,01 | -0,03 | -0,01 | -0,02 | <u>0,02</u> | -0,01 | 0,00 | -0,01 |
| Годишни средни | <u>0,02</u> | 0,00 | <u>0,02</u> | <u>0,03</u> | <u>0,02</u> | <u>0,02</u> | <u>0,04</u> | <u>0,02</u> |

Таблица 3. Резултати от анализите за тенденция на минималната температура

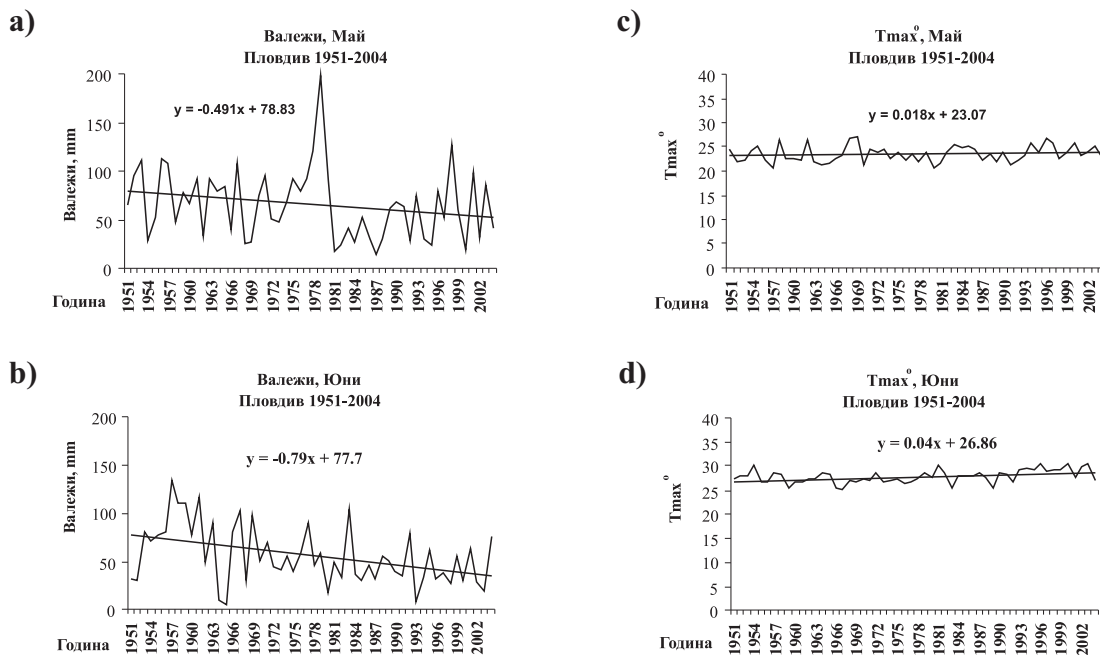
| | Лом | Плевен | Пловдив | Сандански | Силистра | София | Стара Загора | Варна |
|----------------|--------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| Януари | 0,00 | -0,01 | -0,01 | 0,00 | 0,02 | 0,04 | 0,03 | -0,01 |
| Февруари | 0,02 | 0,01 | -0,01 | 0,00 | 0,03 | 0,02 | 0,04 | -0,02 |
| Март | 0,04 | 0,04 | 0,03 | 0,02 | <u>0,05</u> | <u>0,05</u> | <u>0,06</u> | 0,02 |
| Април | 0,00 | 0,03 | 0,01 | 0,00 | 0,02 | <u>0,03</u> | 0,02 | 0,00 |
| Май | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,00 | <u>0,03</u> | <u>0,03</u> | -0,02 |
| Юни | 0,00 | 0,02 | <u>0,02</u> | <u>0,02</u> | 0,02 | <u>0,04</u> | <u>0,02</u> | -0,01 |
| Юли | 0,02 | 0,02 | 0,03 | <u>0,04</u> | <u>0,03</u> | <u>0,05</u> | <u>0,04</u> | 0,03 |
| Август | 0,01 | 0,02 | <u>0,02</u> | 0,02 | 0,00 | 0,04 | <u>0,04</u> | -0,01 |
| Септември | 0,00 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | <u>0,02</u> | <u>-0,02</u> |
| Октомври | 0,00 | <u>0,03</u> | 0,01 | <u>0,02</u> | 0,01 | 0,02 | <u>0,03</u> | -0,02 |
| Ноември | <u>-0,04</u> | -0,02 | <u>-0,04</u> | -0,02 | -0,03 | -0,01 | -0,01 | -0,04 |
| Декември | <u>-0,04</u> | -0,02 | -0,02 | -0,02 | -0,01 | 0,00 | <u>-0,02</u> | <u>-0,04</u> |
| Годишни средни | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | <u>0,03</u> | <u>0,02</u> | <u>-0,01</u> |

Таблица 2 илюстрира резултатите от анализите за тенденция на максималната температура (T_{\max}) по месеци и за година. Юни е месецът с най-голям брой на статистически значими тенденции (7 станции). Стара Загора и Силистра показват нарастване на T_{\max} през четири месеца. Установява се, че с изключение на Плевен, всички станции имат положителна тенденция за максималната температура съсредно увеличение на T_{\max} от $0.024 \text{ }^\circ\text{C/год}$.

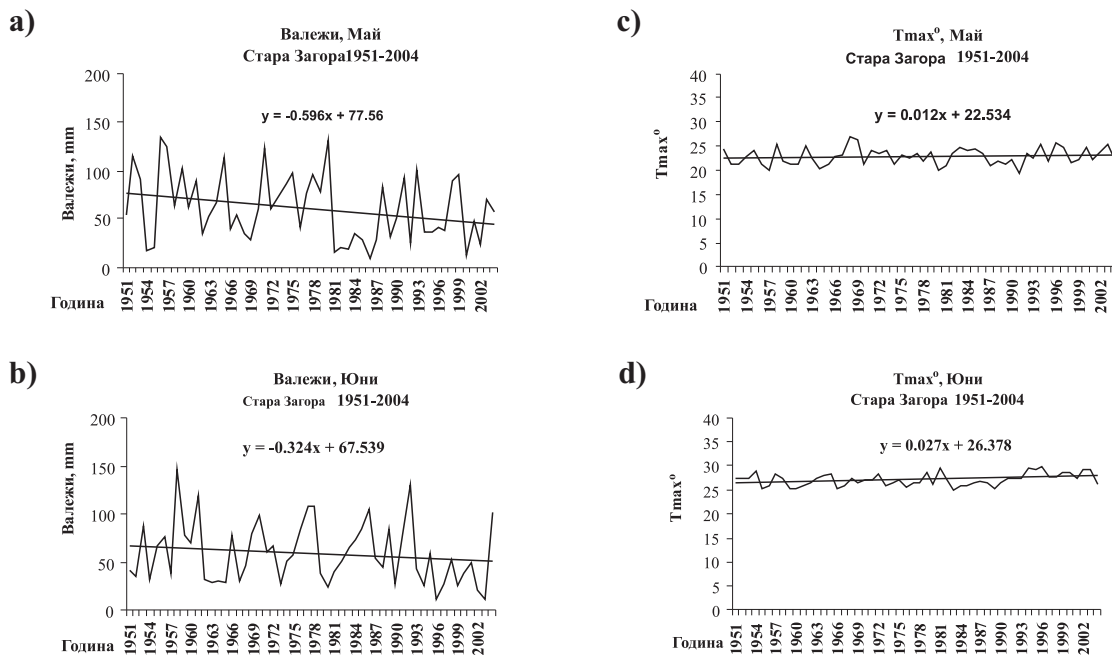
Минималната температура (T_{\min}) не показва значителна тенденция на изменение през януари и февруари (Таблица 3). Юни и Юли обаче имат доказана тенденция на нарастване на T_{\min} за половината от станциите, като в София и Стара Загора измененията са най-съществени (от $0.02-0,05^\circ\text{C год}^{-1}$). Само станцията във Варна е с тенденция към слабо намаляване на T_{\min} през изследвания период.

В заключение районите на Пловдив и Стара Загора, с намаление на валежите и нарастване на диапазона на температурата на въздуха, са застраше-

ни в най-голяма степен от засушаване в България. Резултатите показват, че за това най-много допринасят месеците май, юни и юли. Следващите **фигури**



Фиг. 2. Тенденция на намаляване на валежите, съчетана с увеличаване на максималните температури на въздуха T_{max} през май и юни, Пловдив, 1951-2004.



Фиг. 3. Тенденция на намаляване на валежите, съчетана с увеличаване на максималните температури на въздуха T_{max} през май и юни, Стара Загора, 1951-2004.

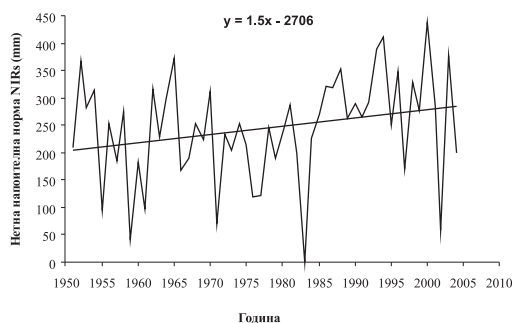
2а, 2б и 3а, 3б илюстрират колебанията и тенденцията на намаляване на валежите през месеците май и юни в

станциите на Пловдив и Стара Загора. Вижда се, че в Тракийската низина за целия изследван 54 – годишен

период месечните суми на валежите за май и юни намаляват с 16-48 mm (фигури 2a, 2b и 3a, 3b). Към тази отрицателна тенденция се добавя съответното увеличение на температурите T_{max} с 1.1 до 2.2°C (фигури 2c, 2d и 3c, 3d).

Икономически аспекти на селскостопанското засушаване

Отчитайки тенденцията за напоителните норми $NIRs$, mm, в района на Пловдив е установено нарастване на нуждите от напояване с 80 mm за целия изследван период (1951-2004 г.) (Фиг.4);

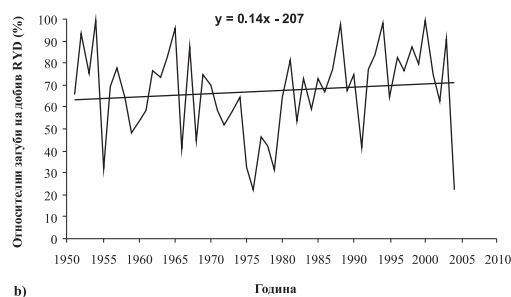
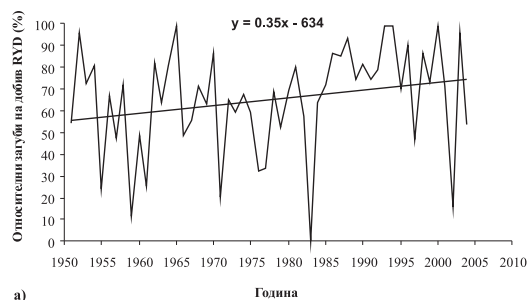


Фиг. 4. Колебания и тенденция на нетната напоителна норма при царевица в района на Пловдив за периода 1951-2004 г, почви с нисък използваем воден запас (116 mm m⁻¹).

Противоположно на нарасналите напоителни норми, производството на зърно от неполивна царевица (късен хибрид Н708) е намаляло средно с $RYD=0.35\%$ год⁻¹ (Фиг. 5 а) или с 19% за периода 1951-2004 г. С увеличаване на относителното намаление на добивите RYD с 0.35% год⁻¹, добивите от неполивна царевица намаляват средно с около 4 kg дка⁻¹ год⁻¹. В абсолютни единици това означава, че загубите на добив от 1 мил. дка неполивна царевица са средно 4 хил.т годишно или 216 хил. т. за периода 1951-2004 г.

Напоителните норми в Старозагорско са нараснали с 27 mm за изследвания период, докато добивът на зърно от неполивна царевица е намалял средно с 0.14 % год⁻¹ или с 8% за целия период (Фиг. 5 б).

Тенденции към нарастване на напоителните норми и намаление на добивите от неполивна царевица не са установени



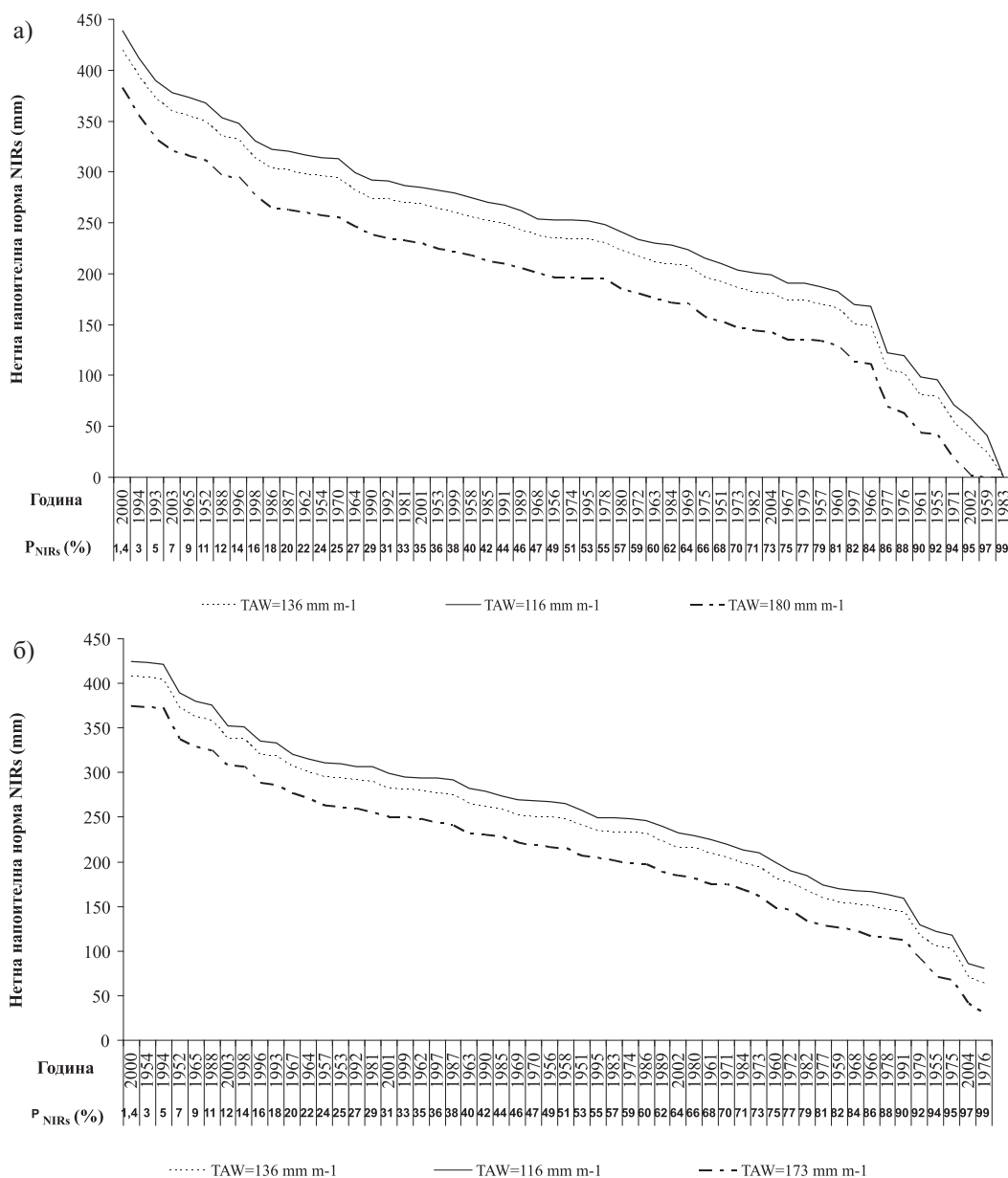
Фиг. 5. Относително намаление на добивите RYD , %, от неполивна царевица (късни хибриди) за почви с нисък използваем воден запас 116 mm m⁻¹ в районите на: а) Пловдив и б) Стара Загора, 1951-2004 г.

или са практически незначителни за останалите разглеждани климатични райони.

Напоителни норми при променящ се климат

На основата на резултати от симулации с валидирания модел WINISAREG за периода 1951-2004 г. [3; 17; 4] са построени криви на обезпеченост на нетните напоителни норми на царевица за изследваните райони при почви с нисък (116 mm m⁻¹), среден (136 mm m⁻¹) и висок (173-180 mm m⁻¹) използваем воден запас TAW (Фиг. 6).

Резултатите за района на Пловдив показват, че при влагоемките почви ($TAW=180$ mm) нетните напоителни норми ($NIRs$) се колебаят от 0-40 mm през влажните години с обезпеченост $P_{NIRs} > 95\%$ до 140-220 mm през годините със средна нужда от напояване ($40\% < P_{NIRs} < 75\%$) и достигат 350-380 mm в екстремно сухите 2000, 1994, 1993 и 2003 г ($P_{NIRs} < 5\%$) (Фиг. 6 а). През тези години сезонното засушаване в района води до пълна загуба на добив от неполивната царевица, отглеждана на почвите с нисък използваем воден запас (116 mm) [3]. При почви с ниска



Фиг. 6. Криви на обезпеченост на напоителните норми (NIRs) за почви с нисък, среден и висок използваем воден запас (TAW) в районите на: а) Пловдив и б) Стара Загора, 1951-2004 г.

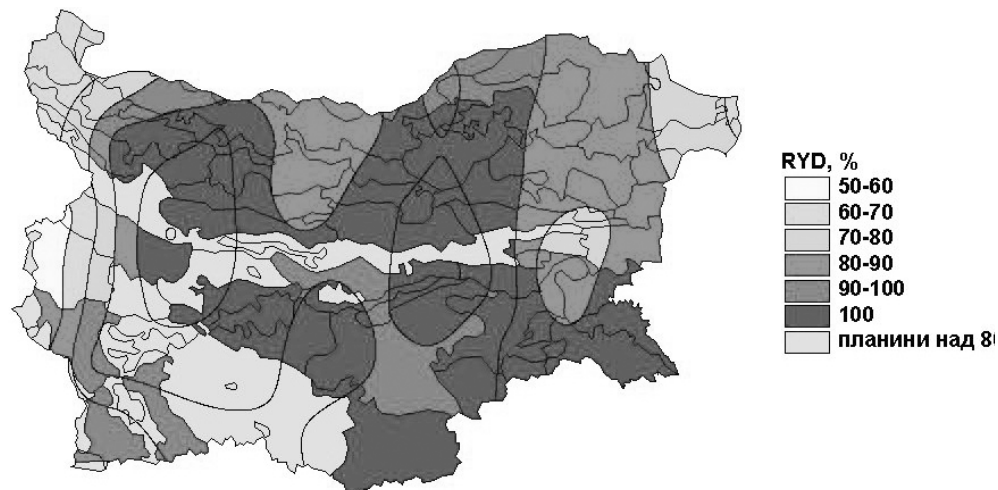
влажност напоителната норма достига 440 mm през най-сухата 2000 г.

Получените резултати от анализа на редиците от стойности на напоителната норма за Стара Загора, с изключение на влажните години с обезпеченост $P_{NIRs} > 85\%$, са много близки до тези за Пловдив (Фиг. 6 б).

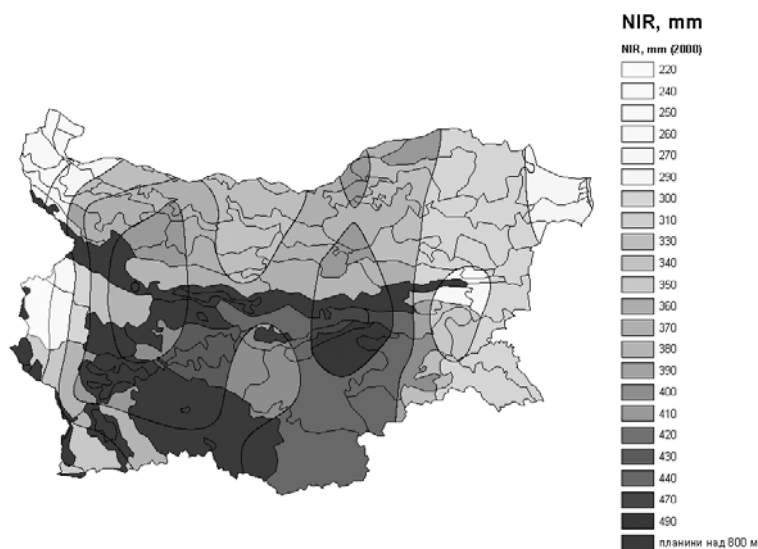
Логично напоителните норми в Софийско поле и Силистра са с около 100 mm по-ниски от тези за Пловдив. В сравнение с Пловдив, нормите в Сандански са до 110 mm по-високи [18; 19; 4].

Карти на уязвимост на неполивно и поливното земеделие към суша

Обхватът на въздействие на засушаванията върху земеделието през различни климатични години е определен за територията на цялата страна чрез карти, свързващи метеорологичните условия с агрономически показатели, като добивът без напояване и напоителната норма [4; 5] (Фигури 7 и 8). Такива карти са изработени за оценка на уязвимостта към засушаване при царевица за екстремно сухата (2000), средната (1970) и умерено сухата (1981) година. Картира-



Фиг. 7. Пространствено разпределение на относителното намаление на добивите (RYD, %) от неполивна царевица за екстремно сухата година (2000 г.)



Фиг. 8. Пространствено разпределение на нетната напоителна норма на царевица (NIR, mm) през екстремно сухата година (2000 г.)

ни са относителното намаляване на добивите от неполивна царевица (RYD, %) и нетната напоителна норма на царевица (NIR, mm) при почви със среден използваем воден запас ($135-157 \text{ mm.m}^{-1}$). За целта са използвани карти на сезонния стандартизиран валежен индекс SPI [7; 10], характеризиращ засушаването през най-чувствителния за културата период – месеците юли и август, картата на агроекологичните райони и установените за всеки район зависимости между сезонния индекс SPI2 “юли-август” и резултатите на въздействие на водния стрес върху добивите без напояване и напоителната норма на царевицата.

Както се вижда от **Фиг. 7**, при отглеждане на царевица без напояване през екстремно суха година, каквато е 2000 г., последствията са били катастрофални за цялата страна. Загубите на добив от неполивна царевица RYD в преобладаващата част от Дунавската равнина са 80-100 % от потенциалния добив, и само в отделни райони достигат 60-70%. Нетните напоителни норми в преобладаващата част на Северна България са в граници 300-330 mm. В Горнотракийската низина и по поречието на Струма, Места и източнородопските реки, загубите на добив са 90-100%, като нуждите от напояване са достигали 440- 490 mm (**Фиг. 8**).

През умерено сухата 1981 г. в преобладаващата част на Централна и Западна Северна България при неполивно земеделие се губят 50-60% от потенциалните добиви на царевица, като напоителните норми са в граници 190-210 mm. В районите на Русе, Видин и Шабла загубите нарастват на 60-70%, а напоителните норми на 250 mm. В Горнотракийската низина и по поречието на Струма, Места и източнородопските реки напоителните норми са в граници 280-310 mm и достигат 350 mm само в района на Хасково. Преобладаващите загуби на добив от неполивно земеделие са в граници 70-80%, като достигат 100% за района на Хасково.

През годините със средна необходимост от напояване, каквато е 1970 г. (виж Фиг. 6 б), загубите на добив на зърно от неполивна царевица са само 20-40% в по-голямата част от Дунавската равнина, като достигат 50-60% от потенциалния добив само в района на Силистра. Необходимата напоителна норма през 1970 г. е 110-120 mm в северозападната част на Дунавската равнина, докато в североизточната преобладават нормите в диапазон 140-190 mm. В Горнотракийската низина и по поречието на Струма, Места и източнородопските реки, преобладават загубите на добив от 60-80%, а нуждите от напояване нарастват на 250-310 mm за година.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получените резултати от анализа за обхвата и интензивността на селскостопанското засушаване в България от колектива по проект Център за управление на засушаванията в Югоизточна Европа от ИПАЗР „Н.Пушкарров“ могат да се използват за идентифициране на застрашени територии и оценка на икономическия риск от отглеждане на определена култура без напояване. Проведените изследвания предоставят и необходимата основа за разработването на система за ранно предупреждение, както и на система за мониторинг и управление на риска от селскостопанското суша чрез прецизно напояване.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторите благодарят за финансовата подкрепа на Проекта 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.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванова, М. и З. Попова, (2011). Валидация на модел и коефициенти на културата чрез експерименти с царевица в Софийско поле. Научни доклади Международна конференция „100години почвена наука в България“ София, част 2: 542-548.
2. Попова, З., (2008). Оптимизиране на поливния режим, добивите и влиянието им върху околната среда чрез симулационни модели. Дисертационен труд за даване на научната степен Доктор на селскостопанските науки (автореферат), ИП “Н. Пушкарров”, София, стр. 326
3. Попова З., М. Иванова, Л. С. Перейра, В. Александров, К. Донева, П. Александрова, М. Керчева, (2011) Оценка на уязвимостта на земеделието към суша чрез симулационни модели, Селскостопанска наука, 44 (№ 6), 3-21
4. Попова З. (Ред) (2012) Оценка на риска от засушаване в земеделието и управление на напояването чрез стимулационни модели. Издател ИПАЗР Н.Пушкарров, 244 стр. ISBN 978-954-394-080-6
5. Попова З. (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, стр:39-55, Издател ИПАЗР Н.Пушкарров, ISBN 978-954-394-102-5
6. Alexandrov, V., Georgiev, G., N. Slavov. (1993). CERES-maize model as an approach for simulation of maize growth, development and yield.

- Bulgarian Journal of Meteorology and Hydrology, 4 (3): 164-169.
7. McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. Preprints, 8th Conference on Applied Climatology, 17-22 January, Anaheim, CA, pp.179-184.
 8. Pereira L. S., P. R. Teodoro, P. N. Rodrigues and 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, pp. 161-180
 9. Pereira, LS, Cordery, I, Iacovides, I, 2009. Coping with Water Scarcity. Addressing the Challenges. Springer, Dordrecht, 382 p.
 10. Pereira L. S., J. T. Mexia, and C. A. L. Pires (Eds.) (2010) Gestao do Risco em Secas. Metodos, tecnologias e desafios (Drought Risk Management. Methods, Technologies and Challenges). Ed. Colibri and CEER, Lisbon, p. 344.
 11. Popova Z., Kercheva M. (2002) Optimization of strategies to mitigate biological droughts consequences under wheat and maize in Bulgaria. Journal of Balkan ecology. Vol.5, № 1, pp.48-58.
 12. Popova Z., Kercheva M. (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 Vol. 30 (1-3):117-124. Elsevier Science Publisher. DOI: 10.1016/j.pce.2004.08.025
 13. Popova Z., S. Eneva and L. S. Pereira (2006) "Model validation, crop coefficients and yield response factors for irrigation scheduling based on long-term experiments", Journal of Biosystems Engineering, vol. 95, no. 1, pp. 139-149 ISSN: 15375110 DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2006.05.013 SW-Soil and Water
 14. Popova Z., and L. S. Pereira (2008) "Irrigation scheduling for furrow irrigated maize under climate uncertainties in the Thrace plain, Bulgaria", Journal of Biosystem engineering, vol. 99, no. 4, pp. 587-597. ISSN: 1537 5110 DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2007.12.005 SW-Soil and Water
 15. Popova Z. and L.S.Pereira (2010). Model validation for maize irrigation scheduling in Plovdiv region. BALWOIS Conference 2010 "Water observation and information system for decision making", CD-ROM paper 648, Ohrid, FYROM.
 16. Popova Z., and L. S. Pereira (2011) "Modelling for maize irrigation scheduling using long term experimental data from Plovdiv region, Bulgaria", Agricultural Water Management, vol. 98, no. 4, pp. 675-683. doi:10.1016/j.agwat.2010.11.009
 17. 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, Vol.1, pp.394-399
 18. Popova Z., Ivanova M., Pereira L.S., Doneva K., Alexandrov V., Alexandrova P. and Kercheva M. (2012) Assessing drought vulnerability of Bulgarian agriculture through model simulations. BALWOIS Conference 28 May-02 June, Ohrid, Republic of Macedonia
 19. Popova Z., Ivanova M., Pereira L.S., Alexandrov V., Doneva K., Alexandrova P. and Kercheva M. (2012) Assessing drought vulnerability of Bulgarian agriculture through model simulations. Journal of environmental Science and engineering B, 1 /8, pp.1017-1036 ISSN 1934-8932
 20. Teixeira, J.L., Pereira, L.S. (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.