

Оптимално райониране на напоителните норми при променящия се климат в България

Зорница Попова, Иван Върлев, Мария Иванова, Емил Димитров

Институт по почвознание, агротехнологии и защита на растенията “Никола Пушкарров” (ИПАЗР),
София, България

E-mail: zornitsa_popova@abv.bg

Резюме

Нетните напоителни норми (*NIR*, mm), които задоволяват напълно нуждите на селскостопанските култури, са в основа за проектирането и управлението на напоителните системи. Традиционно, в българската практика се използват поливните режими и напоителните норми на Захариев и колектив (1986), които се основават на полски експерименти, проведени през периода **1950-1980** и на евапотранспирацията на културата, изчислена по уравнението на Делибалтов. Публикуваната книга на Захариев се състои от таблици с информация за 31 култури и 97 поливни района, които са използвани за проектирането и експлоатацията на националните напоителни системи до 1990г. В случая са взети предвид годините с обезпеченост на напоителната норма $P_1=10$, $P_1=25$ и $P_1=50\%$. Установените климатични промени и тенденции към засушаване предизвикват несигурност в управлението на напояването. За справяне с проблема са осъществени симулации с модела на поливния режим WinISAREG за условията на миналия (1950-1980) и настоящия (1951-2004) климат за обединени агроклиматични АС райони. При предишни изследвания WinISAREG беше калибриран за царевица на основата на данни от дългосрочни експерименти, проведени в полета представляващи разнообразни почвени, климатични и управленчески условия при напояването. Оптималните АС райони са дефинирани на основата на осреднената сумарна еталонна евапотранспирация за юли и август $ET^0_{Jul-Aug}$ за периода **1951-2004**. По този начин средната сумарна $ET^0_{Jul-Aug}$ е приложена за обединяването на напоителни райони на “Захариев“ в пет агроклиматични (АС) райони и е използвана за индикатор на регионалната нетна напоителна норма **NIR** (табл. 1). Влиянието на свойствата на почвата върху нуждите от напояване са характеризирани чрез използваемия воден запас **TAW**, mm m⁻¹, който е “нисък” ако **TAW=116** mm m⁻¹, “среден” ако $136 < TAW < 157$ и “висок”, когато $173 < TAW < 180$ mm m⁻¹. Съответните **NIR**, mm, за периода 1951-2004 са изчислени чрез приложение на модела WinISAREG за групите почви с нисък и висок **TAW** във всеки АС район. Резултатите показват, че когато средната сумарна $ET^0_{Jul-Aug}$ нараства от **260** до **330** mm, нетната напоителна норма на царевица **NIR** за почвите с “нисък” **TAW** се увеличава от **160** на **310** mm през “средната” година ($P_1=50\%$). Това съществено нарастване отразява влиянието на климатичното разнообразие в земеделските територии на България върху напояването на царевицата. По отношение на миналия климат **1951-1980**, традиционните напоителни норми на „Захариев“ са обединени и сравнени със симулираните (табл. 2). Резултатите показват, че нуждите от напояване по “Захариев“ са в диапазона на изменение на **NIR**, установени чрез приложението на модела в повечето случаите. В заключение, симулираните **NIR** покриват по-широк диапазон на колебания отколкото съответните норми на “Захариев“, т.е. моделът отчита по-добре влиянието на климатичните промени и на разликите във водозадържащия капацитет на почвата **TAW**. Съставени са и карти на изчислените **NIR** с обозначено местоположение

на Метеорологичните станции, Поливните и Микроклиматични райони, които онагледяват резултатите от изследването. Те показват ясно настъпилите промени в очертанията на “влажните“ и “сухи“ зони, характеризирани чрез съответната нетна необходимост от напояване **NIR** на територията на страната през “средна“ (1970), “умерено-суха“ (1981) и “най-суха“ (2000) година за 54-годишен период.

Ключови думи: NIR, климат, TAW

Optimal regional irrigation requirements under changing climate in Bulgaria

Zornitsa Popova, Ivan Varlev, Maria Ivanova, Emil Dimitrov

Institute of Soil Science, Agrotechnology and Plant Protection Sofia, Bulgaria

E-mail: zornitsa_popova@abv.bg

Abstract

Net irrigation requirements (**NIR**, mm) that fully satisfy crop development and yield formation are basic in irrigation systems' design and management. Traditionally, Bulgarian practice used to adopt the irrigation scheduling and demands developed by Zahariev et al. (1986) that were based on field experiments carried out in the period **1950-1980** and crop evapotranspiration computed by Delibaltov's equation. The book consists of tables providing information on 31 crops and 97 irrigation regions (**IR**) used in design and exploitation of the national irrigation systems till 1990. Years having probability of occurrence of irrigation depth $P_i=10$, $P_i=25$ and $P_i=50\%$ were considered. Detected climate change and drought aggravation however create uncertainties for irrigation management. To cope with them, simulations were performed for past (**1950-1980**) and present (**1951-2004**) weather conditions relative to unified agroclimatic **AC** regions. In former studies the irrigation scheduling simulation model WinISAREG was calibrated for maize using data from long-term experiments carried out in fields representing diverse soil, climate and management conditions for maize irrigation. Optimal **AC** regions were defined on the grounds of the average reference evapotranspiration totals for July-August $ET_{Jul-Aug}^0$ relative to the period **1951-2004**. Thus, average total $ET_{Jul-Aug}^0$ was an indicator of regional **NIR** and used in “Zahariev” irrigation regions unification into agroclimatic (**AC**) regions (table 1). The impacts of soil properties on irrigation requirements were characterised by total available soil water **TAW**, mm m⁻¹, being “small” if **TAW**=116 mm m⁻¹, “average” if 136<**TAW**<157 and “large” when 173<**TAW**<180 mm m⁻¹. Respective **NIR**, mm, relative to the period 1951-2004 were computed by model application to soil groups of small and large **TAW** in each **AC** region. Results indicate that when average total $ET_{Jul-Aug}^0$ increase from **260 to 330 mm**, net irrigation requirements **NIR** in “average” demand year ($P_i=50\%$) increase from **160 to 310 mm** for soils of “small” **TAW**. Such substantial increase reflects the impact of climate diversity in Bulgarian plains on maize irrigation. Relative to past weather **1951-1980** (table 2), unified conventional irrigation depths were compared to those simulated. Results showed that “Zahariev” irrigation requirements were in the range of **NIR** derived by model application in most of the cases. It was concluded that simulated **NIR** covered a larger range than that of “Zahariev” estimates since the model took better into account the impact of climate change and different soil water holding capacity **TAW**. Compiled maps of computed **NIR**, Meteorological Stations, Irrigation and Macroclimatic regions illustrate the findings of the study. They make clear the position of “wet” and “dry” zones and respective irrigation requirements over the country territory during “the average demand” 1970, “the moderately dry” 1981 and “the very dry” 2000 in the 54-year period.

Keywords: NIR, climate, TAW

1. Състояние на проблема

Напоителните норми, които задоволяват напълно нуждите на селскостопанските култури, са в основата на проектирането и експлоатацията на напоителните системи. Различен е проблемът например с нормите, осигуряващи получаването на максимален икономически ефект. В книгата на Захариев и др. (1986г.) при традиционен поливен режим, са дадени необходимите норми за 31 култури при три различни по влажност години с обезпеченост 10, 25 и 50%. Преобладаващата част от книгата е във форма на таблици, които се отнасят за 97 хидромелиоративни райони (ХМР). Огромният обем на тази информация затруднява ползването ѝ, което прави целесъобразно да се преоцени броят на районите. Напоителните норми в Захариев (1986г.) се основават на експериментални данни, получените през периода **1950–1980г.** и на използването на формулата на Делибалтов (1959г.) за евапотранспирацията.

$$ET = Z \cdot \Sigma t^0 \quad (1)$$

където Z – коефициент, отчитащ влиянието на вида и фазата на развитие на културата;
 Σt^0 – сума на среднодневните температури на въздуха през една десетдневка.

През изтеклите 35г. бяха установени известни промени на климата и у нас (Александров, (Ред.) 2011; Popova et al., 2012; 2014; Попова и др.; 2013; Moteva et al., 2015). Несъмнено те оказват влияние и върху евапотранспирацията и необходимите напоителни норми на културите (Попова и др., 2014b; Popova & Ivanova, 2015; 2016). През 1998г. от ФАО (Allen et al., 1998) беше публикувана нова методология за определяне на еталонната евапотранспирация като е използвана формулата на Пенман - Монтиг. В предложената зависимост участват, както температурата на въздуха, така и множество други климатични фактори. Проведените изследвания у нас и в развитите страни показват, че тази зависимост отразява възможно най-пълно влиянието на микроклиматичните фактори върху еталонната

и реалната евапотранспирация на културите (Liu et al, 1998; Liu and Pereira, 2001; Pereira et al., 2007; Попова, 2008; Иванова и Попова, 2011a; Pereira et al., 2015).

Целта на изследването е да осъществи оптимално райониране на напоителните норми на царевича при променящия се климат в България чрез приложение на валидирания стимулационен модел на водния баланс и поливния режим WINISAREG (Pereira et al., 2003; Popova et al., 2006b; Попова, 2007; Popova & Pereira, 2011; Иванова и Попова, 2011b). Прерайонирането се основава на средномногогодишната сумарна еталонна евапотранспирация за месеците юли и август $ET^0_{\text{Юли - Август}}$

2. Разработена методология

Почвеното разнообразие в нашата страна наистина е голямо (Бонева в З. Попова (Ред.), 2012). По отношение на поливните режими и напоителни норми обаче, влиянието на почвата се отразява най-директно и достатъчно точно чрез използвания и воден запас (TAW, Total Available Soil Water, mm m⁻¹). Той представлява разликата между запасите на вода в почвата при пределната полска влагоемност (ППВ) и при влажността на завяхване (ВЗ). В книгата З. Попова (Ред.) 2012 влиянието на почвеният тип върху нетните напоителни норми (NIR, Net irrigation requirements, mm) удачно се характеризира чрез посочената разлика. Характеристиката „нисък“ използваем воден запас се отнася за групата почви, при които разликата е около 116 mm за еднометровия пласт. Със „среден“ използваем воден запас са почвите от групата, при които стойността е в диапазона 136-157 mm m⁻¹, а с „висок“ – тези, при които разликата между ППВ и ВЗ е 173-180 mm m⁻¹.

Несъмнено, основен фактор при определяне на необходимите напоителни норми са климатичните условия. За тяхното характеризиране в случая ще се използва „еталонната евапотранспирация – ET^0 “, определена по формулата на Пенман-Монтиг чрез методологията на ФАО 56 (Allen et al., 1998). През 2008г. авторите Мотева М., В. Казанджиев и В. Георгиева са определили

ET⁰ за периода **1971-2000** в 30 представителни агроклиматични станции в страната на основата на необходимите ежедневни данни за климата. Сумарните стойности на ET⁰ са дадени за три характерни периода от вегетацията: Март-Октомври, Април-Юни, Юли-Август. Разработеният тук пример се отнася до царевица за зърно. За тази и др. пролетни култури периодът, през който се извършва основната част от напояването, е Юли-Август. Ето защо тук се приема, че влиянието на микроклимата върху водния режим на почвата и развитието на царевицата се изразява достатъчно точно чрез средномногогодишната стойност на сумата на еталонната евапотранспирация – ET⁰ през периода Юли – Август. Например, за станцията в Драгоман, тази сума е **220 mm**, а за станцията Сандански - **320 mm**, т.е. разликата е от около 100 mm. Това прави целесъобразно страната да се раздели на 5 агроклиматични (АК) района. Средните многогодишни стойности на ET⁰ Юли – Авг за всеки от районите през периода 1971-2000 са съответно: 230, 250, 270, 290, и 310 mm (табл.1).

Дадените в скоби стойности на средномногогодишната ET⁰ за Юли-Август [mm] от същата табл.1: **260, 275, 285, 310** и **330** се отнасят за по-дългия период 1951-2004г и са определени при наши предишни изследвания за станциите в **София, Силистра, Лом/Варна, Плевен/Пловдив** и **Сандански** (Попова (Ред.), 2012; Попова и др., 2013; 2014а). За изчисляването на ET⁰ са приложени процедурите, препоръчани от FAO56 след съответна валидация съгласно описанието на Ророва et al. (2006а), Попова (2008) и Иванова и Попова (2011а). По този начин, всяка от изчислените стойности на сумарната еталонна евапотранспирация ще се отличава максимум до 10 mm или до 4,5% от стойностите, дадени в табл. 1. Тези неголеми отклонения са напълно допустими с оглед изискванията на поливната практика. Несъмнено, при други култури като пшеница, зеленчуци и др., периодите през които трябва да се отчита влиянието на климатичните фактори ще бъдат твърде различни. Следва да се отбележи, че при експерименталните данни, които са база за

сравнение при всеки метод за изчисляване на евапотранспирацията, неизбежно се допускат грешки, които не са по-малки от 10%.

Като е приложен валидираният математичен модел на баланса на водата и поливния режим **WINISAREG** (Pereira et al., 2003; Popova et al., 2006b; Popova & Pereira, 2011; Попова, 2007; Иванова и Попова, 2011b), са установени и съответните нетни напоителни норми **NIR (mm)** за упоменатите по-горе групи почви и метеорологични станции (Попова и др., 2012; 2013; Popova et al., 2014; 2015), представляващи основни агроклиматични райони на страната. В табл. 1, заедно със средно многогодишната сумарна еталонна евапотранспирация ET⁰ „Юли-Август“, са дадени и съответните напоителни норми **NIR** за 5 различни стойности на обезпечеността: 10, 25, 50, 75 и 90%. С тях се отчитат възможните изменения на **NIR** в над 90% от всички климатични години от периода **1951-2004г**. Горните цифри във всяка от клетките в таблицата се отнасят за групата почви с нисък използваем воден запас (116 mm m⁻¹). Долната цифра е за почви с висок запас (173-180 mm m⁻¹). При почви със среден използваем воден запас (135-157 mm m⁻¹) нормите са с около 20 mm по-ниски от тези, отнасящи се за почвите с нисък водозадържащ капацитет (116 mm m⁻¹). Във втора колона на табл. 1 са записани метеорологичните станции (Мотева и др., 2008; Попова и др., 2012), които влизат в съответния агро-климатичен район.

За **Агроклиматичните(АК) райони III и IV** със сумарна еталонна евапотранспирация **285** и **310 mm** има известна особеност (табл.1). За станциите във Варна и Плевен нормите са отделени от останалите с пунктирна линия, тъй като те се отличават до 50 mm от нормите в останалите станции на същата група.

С нарастване на сумарната еталонна евапотранспирация за м. Юли и Август от **260** на **330 mm**, при средна климатична година (**P_I=50%**), за почви с нисък използваем воден запас (**TAW=116mm m⁻¹**), нетната напоителна норма се увеличава от **160** на **310 mm**. Тази разлика е съществена и в случая тя отразява влиянието на климатичното разнообразие в

нашата страна по отношение на напояването на царевичката. При изключително влажни години ($P_1 > 90\%$), когато нетната напоителна норма е до 40mm и при почви с висок използваем воден запас, е **допустимо да не се напоява**.

3. Резултати и дискусии

3.1. Установяване на напоителните норми чрез приложението на модела WINISAREG и полски експерименти

Тук ще се сравнят нетните напоителни норми **NIR**, mm, получени чрез приложение на валидирания симулационен модел **WinISAREG** (Popova & Pereira, 2011) с тези от 9 годишни експерименти в ОП Цалапица, Пловдивско (Varlev et al., 1994). На фиг. 1 е представена кривата на обезпеченост на **NIR** (Popova et al., 2011), построена на основата на симулации с данни за климата от 54-годишен период (1951 – 2004г).

В случая наличните данни за климата в ОП Цалапица са екстраполирани на основата на изведени регресионни уравнения между измерените данни за станциите в Пловдив и Цалапица (Popova et al., 2011). На фигурата със символ (o) са нанесени и съответните нетни напоителни норми, необходими за получаването на максимален добив през всяка от експерименталните години през периода **1984-1991г** (с цифри), които отговарят на обезпеченост P_1 от 15 до 86% за периода **1951-2004г**. Вижда се, че с изключение на нормата през две от влажните години 1989 ($P_1=70$) и 1983 ($P_1=85\%$), има практическо съвпадение на резултатите от модела с тези от експериментите (фиг. 1). Поради това, следва че изчислените напоителни норми през посочения период са достатъчно точни и могат да се използват в практиката. Отбелязаното отклонение при обезпеченост $P_1=70$ и $P_1=85\%$ (около 40 mm) е логично. Периодът на моделиране с продължителност 54г. е значително по-представителен от този (9г.) на експерименталните данни (фиг. 1). Ето защо, през по-продължителния период са регистрирани екстремни стойности, които не са се случили през периода на проведените

експерименти.

На фиг. 2 са дадени кривите на обезпеченост на напоителните норми за Пловдив, получени при използване на симулационния модел при отчитане на влиянието на 3 групи почви с различен използваем воден запас **TAW** (Popova et al., 2011; 2012). Най-високата крива се отнася за почва с „нисък“ запас (116 mm), каквато е почвата край с. Цалапица. Периодът, за който се основават симулираните резултати (фиг. 2) е отново 1951 – 2004г (т.е. 54 г).

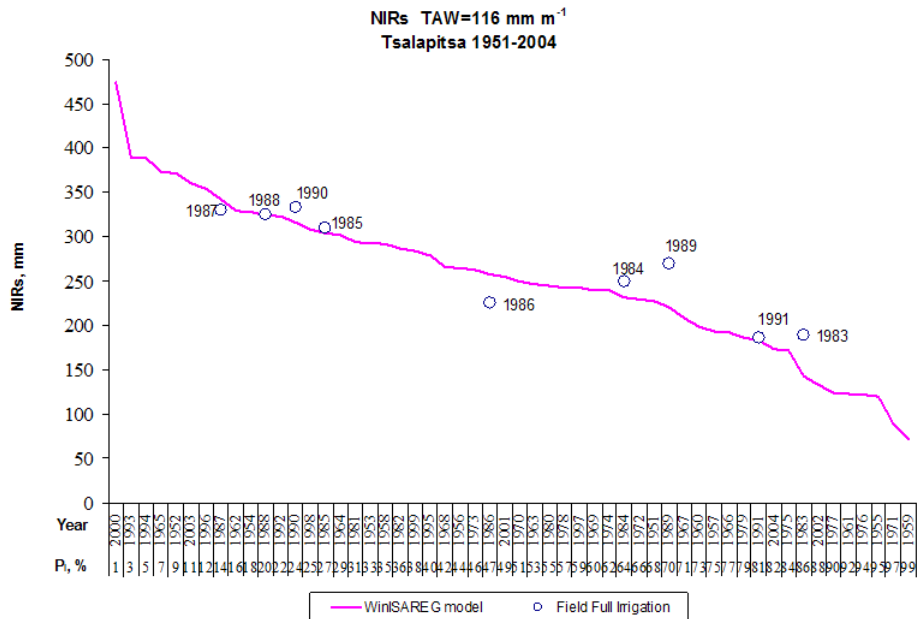
3.2. Сравняване на напоителните норми на „Захариев“ с тези от модела WINISAREG

Заслужава да се установи разликата между нормите на Захариев и колектив (1986), дадени за 97 хидромелиоративни района (**XMP**), и тези получени при обединяването на резултатите от математичния модел (Попова (Ред), 2012) в 5 агроклиматични (**АК**) района. За целта са съставени Табл.2 и Карти на пространственото разпределение на нетните напоителни норми през различни климатични години с обозначени агрометеорологични станции **МС**, **XMP** и **АК** райони (фиг.3а, 3b, 3с).

За разлика от резултатите обект на нашето изследване в табл.1, които се основават на моделни симулации за периода 1951-2004г, табл. 2 се отнася за по-късия период **1951-1980г**, който е представителен за условията на „миналия“ климат и съдържа данни за напоителните норми на „Захариев“ за 30 Хидромелиоративни райони (фиг. 3) през годините с обезпеченост 10, 25 и 50%. В табл. 2 са представени и получените чрез симулационния модел нетни напоителни норми **NIR** при отчитане на влиянието на почвите с нисък (116) и висок (173-181) използваем воден запас **TAW** (mm m^{-1}).

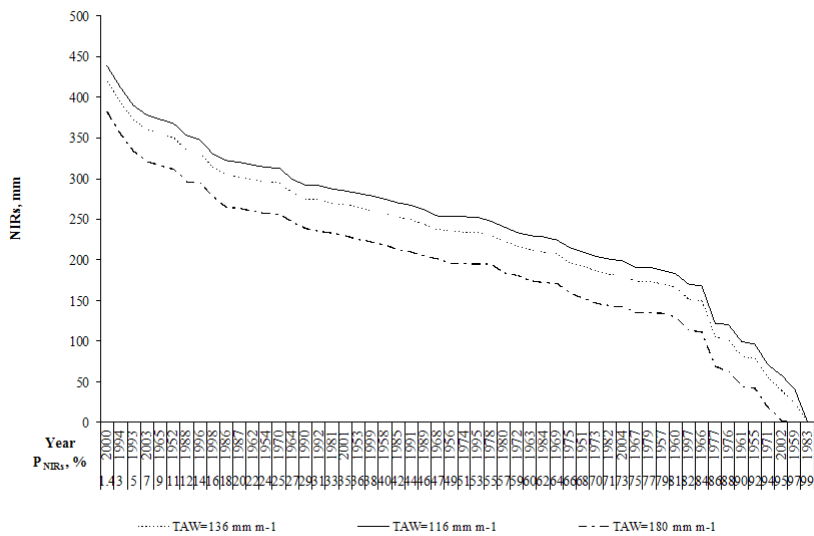
От таблицата се вижда, че в **АК Район IV** със средна сумарна еталонна евапотранспирация „Юли-Август“ **292 mm** напоителните норми по „Захариев“ за **XMP** Пловдив, Елхово, Сливен и Ямбол през „средна“ година ($P_1=50\%$) са **240 mm**, а нормите от математическия модел за почви с различен водозадържащ капацитет са в границите от **230 – 170 mm**.

През сухата година ($P_1=10\%$) нормите за 4-те сравнявани **XMP** според „Захариев“ са



Фиг. 1. Крива на обезпеченост на нетните напоителни норми (NIRs, mm) за царевица в района на ОП Цалапица.

Fig. 1. Probability curve of occurrence of a Net irrigation requirement (NIR, mm) relative to an alluvial soil of small water holding capacity ($TAW=116 \text{ mm m}^{-1}$), 1951-2004, Tsalapitsa experimental field, Plovdiv region



Фиг. 2. Криви на обезпеченост на Нетната напоителна норма (NIR, mm) при почви с нисък, среден и висок използваем запас TAW (mm m^{-1}) за района на Пловдив, 1951-2004г.

Fig. 2. Probability curves of occurrence of a Net Irrigation Requirement (NIR, mm) relative to soils of small, average and large Total Available Water TAW (mm m^{-1}), Plovdiv, 1951-2004.

300 mm, а при симулациите с математичния модел те са в границите **320 – 260 mm**.

Подобни резултати са налице и за останалите **АК** райони със средна сумарна евапотранспирация „юли-август“ **258, 272, 281, 286** и **315-326 mm** (табл. 2). Разликите в напоителните норми за някои от разглежданите **АК** райони, напр. за районите около „Варна“, се дължат на отдалечеността на **ХМР** от **МС** (○, фиг. 3), а също и на пространствената вариация на валежите. В повечето случаи обаче напоителните норми „Захариев-1986“, след обединяването им в **5 АК** района, са в диапазона на тези, установени при прилагането на валидирания симулационен модел **WINISAREG**.

В **АК Райони I и II** с $258 < ET^o_{\text{юли-авг}} < 272 \text{ mm}$ напоителните норми по „Захариев“ **300, 240** и **180 mm** при нива на обезпеченост респ. 10, 25 и 50% са валидни в осем от общо десет **ХМР** и са близки до установените с модела за София и Силистра (● и ●, фиг. 3 и табл. 2).

По отношение на **АК Район III** с $272 < ET^o_{\text{юли-авг}} < 281 \text{ mm}$ вариантите на напоителните норми нарастват на пет за разглежданите осем **ХМР**-а, като необходимите норми нарастват от **240, 240** и **180 mm** за **ХМР 86** Казанлък на **300, 300** и **240 mm** за **ХМР 1** Видин и **ХМР 47** Варна–Горен Чифлик. От изготвените карти се вижда, че **ХМР 46-48** Марково, Провадия и Г. Чифлик (○, фиг. 3) са отдалечени от крайбрежната зона с около 50 - 70 km. В резултат напоителните норми на „Захариев“ надвишават изчислените по модела за „северно-черноморския климат“ в **МС** Варна (табл. 2). Само през сухата година ($P_1=10\%$) и при почвите с висок използваем воден запас нормите на „Захариев“ надвишават тези от модела до **110 mm**. При почвите с нисък воден запас тази разлика намалява до **20-50 mm**.

В рамките на **АК Район IV** с $286 < ET^o_{\text{юли-авг}} < 192 \text{ mm}$ комбинациите от норми за годините обезпеченост 10, 25 и 50% са четири за **ХМР1 7-22** Плевен (●, фиг. 3 и табл. 2). От табл. 2 следва, че комбинацията **300, 300** и **240 mm** се случва в половината от **ХМР**.

Напоителните норми за **АК Район V** с $ET^o_{\text{юли-авг}} = 326 \text{ mm}$ нарастват през сухата година във

всички **ХМР** с 60 mm в сравнение с тези за **АК район IV**. Нормите през средната година се увеличават обаче само в най-южните **ХМР 66** Петрич, 81 Свиленград и 65 Сандански (●, фиг. 3, табл. 2).

В основни линии, може да е заключи, че нормите получени чрез математичния модел са в по-широки граници от тези на „Захариев“, с което се отчита по-точно различната водозадържаща способност на почвите и промените на климата.

3. 3. Картиране и анализ на напоителните норми

Представлява интерес да се проследи движението на „влажните“ и „сухи“ зони и промените в интензивността на засушаване на основата на карти за необходимата напоителна норма в мащаба на страната през „средна“ **1970**, „умерено суха“ **1981** и „екстремно суха“ **2000г** за периода **1951-2004**. На картите са обозначени **АС** и номера на **ХМР** по „Захариев-1986“, обединени в агроклиматични райони по средно-многогодишната сумарна еталонна евапотранспирация $ET^o_{\text{Jul-Aug}}$ (фиг. 3а, 3б и 3с).

Пространственото разпределение на напоителната норма **NIR** (фиг. 3а) показва, че **1970г** е със „средни“ нужди от вода за напояване за **АК** райони **II, IV** и **V** в Южна България и е „влажна“ за **АК** район **I** (София) и **МК** райони **II, III** и **IV** (Централна и Северозападна България). Това се установява от кривите на обезпеченост на напоителната норма P_1 за Цалапица и Пловдив (фиг. 1 и 2) и за страната (Попова (Ред), 2012), според които обезпечеността на необходимата норма P_1 за 1970г се изменя в граници 45-60% за Цалапица, Стара Загора, Сандански и София и е по-ниска ($PI=25\%$) само за Пловдив. От фиг. 3а също се вижда, че през „средната“ 1970г в Южна България доминира „кафяв„ код за $NIR=250 \text{ mm}$, а „оранжевият“ код за $NIR=300 \text{ mm}$ сигнализира завишена интензивност на засушаване за ограничени територии около Хасково, Ямбол и Рила. „Тъмно/светло жълтия“ код за $NIR=220/210 \text{ mm}$ обхваща **ХМ**-те райони на Елхово и Стара Загора, а „зеленият“ за $NIR=180 \text{ mm}$ – тези

Таблица 1. Необходими нетни напоителни норми за царевица NIR [mm] през години с различна обезпеченост P_1 в България, 1951-2004 г.

Table 1. Net Irrigation Requirements of maize NIR [mm] depending on probability P_1 of occurrence of a NIR in Agroclimatic regions of Bulgaria, 1951-2004.

Средна сумарна Еталонна Евапотрансп. ЕТ0 за Юли-Август [mm] за периода 1971-2000г (1951-2004г)	Метеорологична станция (МС)	Обезпеченост P_1 [%] на случване на норма NIR				
		10	25	50	75	90
230 (260) АК Район I	С о ф и я , Драгоман	280/230	230/180	160/110	120/70	80/30
250 (275) АК Район II	Кнежа, Павликени, Търговище, В.Търново, Г. Делчев, Добрич, Силистра	300/240	240/190	180/130	140/90	90/40
270 (285) АК Район III	Видин, Лом, Образцов чифлик, Кюстендил, Рила, Казанлък, Иваново, Карнобат	320/260	260/210	200/150	160/100	90/40
	Варна	300/240	240/190	210/160	140/130	130/50
290 (310) АК Район IV	Плевен	330/270	280/210	210/140	130/80	80/20
	Ямбол, Садово, Пловдив, Елхово, Чирпан, Сливен, Бургас	370/310	310/260	250/200	190/135	100/40
310 (330)	Х а с к о в о , Свиленград, П е т р и ч , Сандански	380/310	360/300	310/270	280/210	240/180

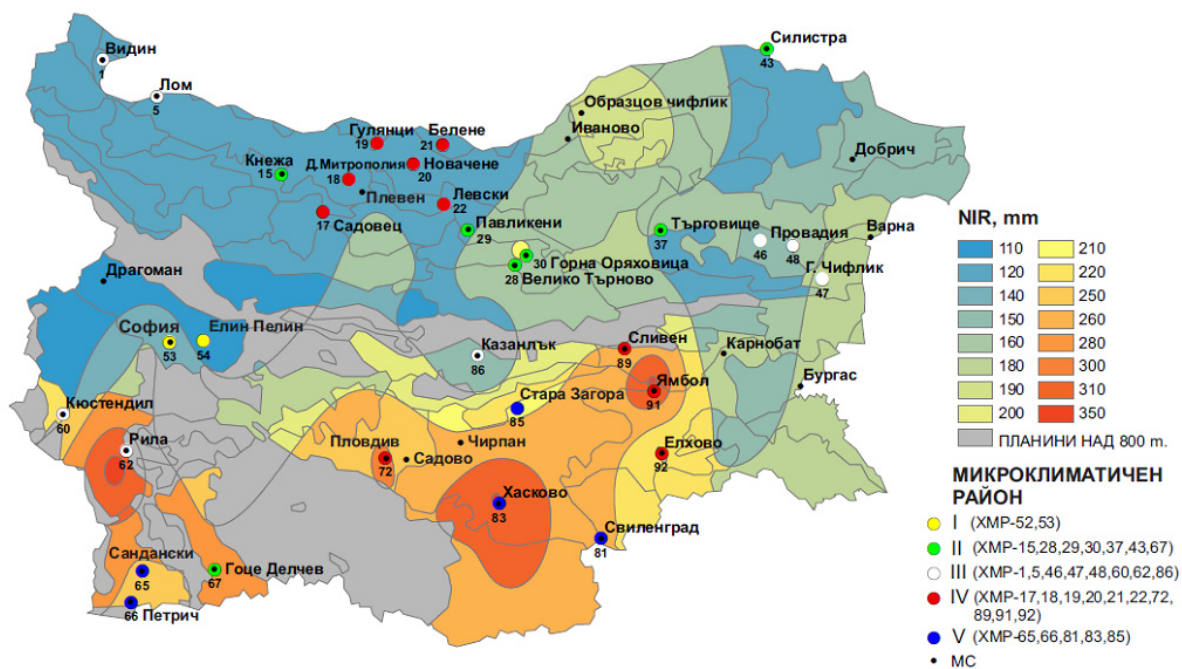
Таблица 2. Сравняване на напоителните норми на „Захариев – 1986г.“ с тези от математическия модел WINISAREG след обединяване в 5 агроклиматични района. Резултати за 1951-1980г.

Table 2. Comparing irrigation depths by “Zahariev – 1986” and WINISAREG model, 1951-1980.

Средна сумарна Еталонна Евапотранспирация Юли – Август; Average seasonal EToJul-Aug (mm), 1951-1980г	Източник	Метеорологична станция [МС/MS] и хидромелиоративен район (ХМР/IR)	Напоителни норми NIR, mm, с обезпеченост P ₁ [%]		
			P ₁ =10%	P ₁ =25%	P ₁ =50%
258 АК Район I (●)	Математичен модел	София	300/250	230/180	160/110
	„Захариев“	Елин Пелин ХМР 53	240	180	180
		София ХМР 52	300	240	180
272 АК Район II (●)	Математичен модел	Силистра	285/230	235/175	190/140
	„Захариев“	Павликени ХМР 29, Търговище ХМР 37, Кнежа ХМР 15, В. Търново(Караисен) ХМР 28 и Г. Оряховица ХМР 30), Г. Делчев ХМР 67;	300	240	180
		Силистра ХМР 43	300	300	240
281 АК Район III (○) 272	Математичен модел	Лом	290/230	240/190	190/140
		Варна	250/ 190	220/170	205/150
	„Захариев“	Казанлък ХМР 86;	240	240	180
		Кюстендил ХМР 60, Рила ХМР 62, Варна–Марково МР46;	300	240	180
		Варна–Провадия ХМР 48,	300	240	240
		Видин ХМР 1, Варна–Горен Чифлик ХМР 47;	300	300	240
		Лом ХМР 5	360	300	240
286 АК Район IV (●)	Математичен модел	Плевен	325/270	245/190	190/130
	„Захариев“	ХМР 17-22:Садовец (17);	300	240	180
		Левски (22);	300	300	180
		Долна Митрополия (18), Новачене (20);	300	300	240
		Гулянци (19), Белене (21)	360	300	240

Таблица 2. Продължение
Table 2. Continue

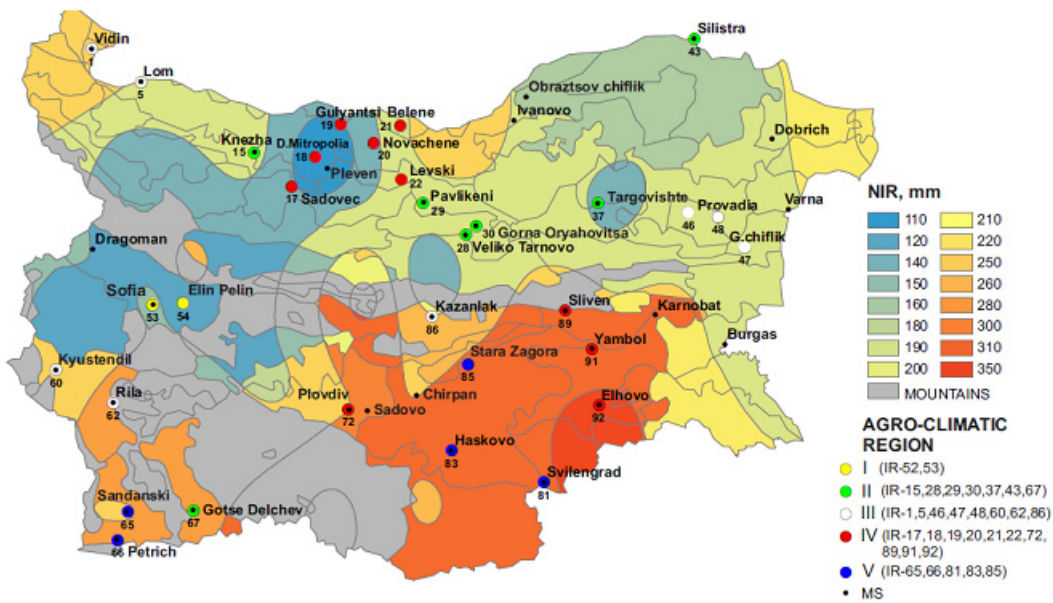
292	Математичен модел	Пловдив	320/260	280/220	230/170
	„Захариев“	Сливен ХМ Р89, Ямбол ХМР 91;	300	240	240
		Пловдив ХМР 72, Елхово ХМР 92	300	300	240
315 326 АК Район V (●)	Математичен модел	Стара Загора (ХМР 85)	320/280	300/250	250/200
	„Захариев“	Стара Загора	300	240	180
	Математичен модел	Сандански ХМР 65	380/320	350/300	300/240
	„Захариев“	Хасково ХМР 83;	360	300	240
		Петрич 66, Свиленград 81;	360	300	300
	Сандански ХМР 65	360	360	300	



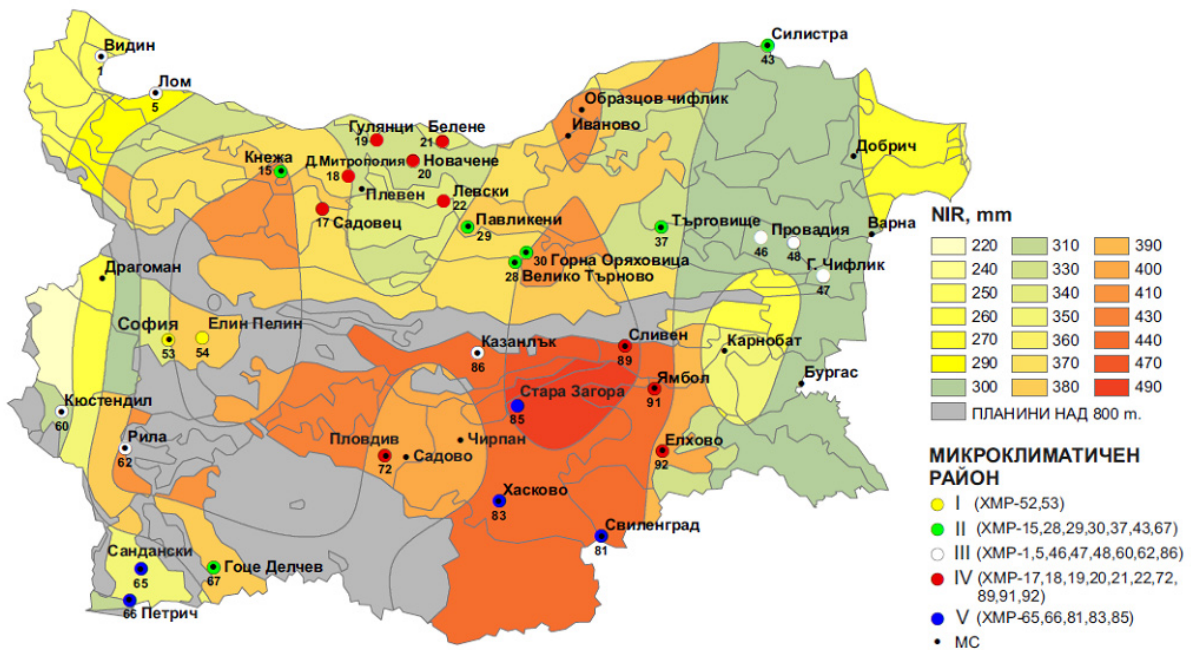
а)

Фиг. 3. Карта на агрометеорологичните станции МС, обединените хидромелиоративни ХМР и агроклиматични АК райони (табл. 1 and 2) и на нетната напоителна норма за царевица (NIR, mm) през: а) “средна” (1970), б) ”умерено суха” (1981) и с) “екстремно сухата” (2000) 1951-2004г.

Fig. 3. Map of Meteorological Stations MS (.), Unified Irrigation IR (Zahariev et al., 1986) and Agro-Climatic AC Regions (●, ●, ○, ●, ●) (Tables 1 and 2) and Net Irrigation Requirements of maize (NIR,mm) relative to: a) an “average” 1970; b) a “moderately dry” 1981 and c) the “extremely dry” 2000, 1951-2004.



b)



c)

Фиг. 3. Карта на агрометеорологичните станции МС, обединените хидромелиоративни ХМР и агроклиматични АК райони (табл. 1 and 2) и на нетната напоителна норма за царевица (NIR, mm) през: а) “средна” (1970), б) ”умерено суха” (1981) и с) “екстремно сухата” (2000) 1951-2004г.

Fig. 3. Map of Meteorological Stations MS (.), Unified Irrigation IR (Zahariev et al., 1986) and Agro-Climatic AC Regions (●, ●, ○, ●, ●) (Tables 1 and 2) and Net Irrigation Requirements of maize (NIR,mm) relative to: a) an “average” 1970; b) a “moderately dry” 1981 and c) the “extremely dry” 2000, 1951-2004.

по черноморското крайбрежие.

През 1970г „синият” код за напоителна норма $110 > NIR < 120 \text{ mm}$ преобладава в АК район I (ХМР 52 София и 53 Елин Пелин) и райони II (●), III (○) и IV (●) в Централна и Северозападна България, ХМР43 Силистра и 37 Търговище. Логично, тази ниска норма обаче е с високо ниво на обезпеченост за ХМР 17-22 Плевен, 5 Лом ($P_1=90-95\%$) и 43 Силистра ($P_1=70\%$) (Попова (Ред) 2012). За ХМР 46,47,48-Варна нормата нараства на $150-180 \text{ mm}$ при обезпеченост $P_1=85\%$ за периода 1951-2004г.

През „умерено сухата” 1981г (фиг. 3b) сезонно засушаване с висока интензивност и „оранжев” код за $NIR=350 \text{ mm}$ обхваща цялата територия на АК райони IV (● Пловдив, Сливен, Ямбол, Елхово) и V (● Стара Загора, Хасково и Свиленград) в Южна България. Обратно, в Северна България „синята” влажна зона с $110 > NIR < 120 \text{ mm}$ намалява значително територията си до ХМР 17, 18, 19 и 20 около Плевен и ХМР 37 Търговище. ХМР Кнежа, Белене, Левски и Павликени от АК Район II (●) и IV (●) преминават в зоната с норма $NIR=190 \text{ mm}$. Характерно за 1981г е, че засушаването в Северна България обхваща зоните около Видин, между Иваново и Белене ($NIR=250 \text{ mm}$) и Шабла ($NIR=210 \text{ mm}$).

През екстремно сухата 2000г изчезва „синята” зона за ниските напоителни норми, а интензивността на засушаване нараства повсеместно (фиг. 3c). В резултат нетната напоителна норма в Южна България достига рекордните 490 mm за АК райони IV (● Сливен) и V (● Стара Загора), 440 mm (Казанлък, Ямбол и Свиленград), 410 mm (Пловдив, Елхово и Рила) и $390-340 \text{ mm}$ за МК район I София. В крайните Западни и Източни райони на Северна България доминира „жълт” код ($NIR=240-290 \text{ mm}$), а в ХМР 15 Кнежа, 28 Велико Търново, 30 Горна Оряховица и Образцов Чифлик се появяват „кафяви” зони ($NIR=410 \text{ mm}$). „Зеленият” код за ХМР 18-22-Плевенско, 37Търговище, 43 Силистра и 46-48Варна показва норма $NIR=310-330 \text{ mm}$.

Съществената разлика между разработената

методология и данните на Захариев (1986г) е броят на хидромелиоративните райони, за които са определени напоителните норми. При „Захариев” те са 97, докато нашите резултати се отнасят за 5 микроклиматични района при 3 групи почви по отношение на водозадържащата способност на почвата. По този начин, информацията от разработената методология се съдържа само на една машинописна страница за една култура (табл. 1). Така за 31 култури, включително методичната част, ще са необходими около 35 стандартни страници в сравнение с над 640 стр. в книгата на „Захариев”. Многократното намаление на обема на информацията за нетните напоителни норми ще улесни във висока степен използването ѝ.

Предимство на разработената методология са и получените норми с обезпеченост от 2 до 98%, каквито не се съдържат в книгата на „Захариев”. Тези норми дават възможност да се установи икономическият ефект от напояването за целия диапазон на колебания и изменения на климата (Попова и др., 2012; 2013; 2014b; Popova et al., 2012; 2014; 2015; 2016). В допълнение са съставени карти на пространственото разпределение на напоителните норми и микроклиматичните райони за страната.

Изводи

1. В книгата на Захариев и колектив (1986г) са дадени нетните напоителни норми за 31 култури, 97 агроклиматични райони и при 3 обезпечености на напоителните норми: 10, 25 и 50%. Данните се основават на емпирични резултати от периода 1950 - 1980г. Резултатите са използвани при проектирането и експлоатацията на напоителните системи у нас до около 1990г.
2. На базата на настоящия климат (1951 - 2004г), за 3 групи почви и при използване на математичният модел WINISAREG от 3. Попова и колектив (2012г) са установени нетните напоителни норми за царевица, като са отчетени промените на климата през посоченият период (табл. 1).

3. Разработена е методология, при която нетните напоителни норми за царевица са определени за 5 микроклиматични района на страната при 3 нива на използване на влагозадържащата способност на почвата. Нуждите от напояване са характеризирани чрез сумата на еталонната евапотранспирация за месеците Юли и Август, определена по зависимостта на Пенман–Монтит.

4. За останалите напоявани култури, броят и обхвата на микро-климатичните райони и стойността на съответната сумарна ЕТо по-принцип ще бъдат различни.

5. Напоителните норми в табл. 1 са дадени за обезпеченост от 10 до 90%. Това дава възможност да се състави кривата на обезпеченост на нормите за целият диапазон на колебания и изменение климата.

6. Съставените карти за нетните напоителни норми и за основните агроклиматични райони онагледяват получените резултати.

7. Точността на информацията за нетните напоителни норми, получена чрез разработената методология е напълно задоволителна с оглед на целите, за които е предназначена. Същевременно тя отразява влиянието на промените при настоящия климат. Многократно намаленият обем на тази информация улеснява във висока степен ползването ѝ при проектирането и експлоатацията на напоителните системи.

Литература

Александров (Ред.), 2011. Методи за мониторинг, оценка и въздействие на сушата в България. София, стр. 216

Делибалтов Й., Х. Христов, И. Цонев, 1959. По въпросът за определяне на водопотреблението на селскостопанските култури. Научни трудове НИИХМ т.4, София

Захариев Т., Р. Лазаров, С. Колева, С. Гайдарова, З. Койчев, 1986. Райониране на поливния режим на селскостопанските култури. *Земиздат С.* стр. 646.

Иванова М., З. Попова, 2011а. Валидация на методологията на ФАО 56 за изчисляване на ЕТо РМ при ограничени метеорологични данни в Софийско поле. *Селскостоп. наука*, XLIV(2):3-13.

Иванова М., З. Попова, 2011б. Валидация на модел и коефициенти на културата чрез експерименти с царевица в Софийско поле. Национална конференция

с международно участие “100 години почвознание в България”, Институт по почвознание “Н. Пушкиров”, 2:542-548.

Мотева М., В. Казанджиев, В. Георгиева, 2008. Изследване на еталонната евапотранспирация по ФАО Penman – Monteith на територията на България. *Селскостопанска техника* №5:26-32.С.

Попова З., 2007. Валидация на модела ISAREG и на коефициентите на културата при смолница и излужена канелена горска почва в Тракийската равнина. Научни доклади “60-години ИП Н.Пушкиров-Почвознанието основа за устойчиво земеделие и опазване на околната среда”, Ред: Дилкова, Русева, Върлев, Стойчева, Нинов, Бонева и др., стр.397-402.

Попова, З., 2008. Оптимизиране на поливния режим, добивите и влиянието им върху околната среда чрез симулационни модели. Автореферат за дн, ИП ”Н.Пушкиров”, с. 101.

Попова З., (Ред.) 2012. Оценка на рискът от засушаване в земеделието и управление на напояването чрез симулационни модели. ССА, С. стр.242. ISSN 987-954-394-080-6

Попова З., М. Иванова, В. Александров, 2014а. Еталонна евапотранспирация ЕТо-РМ и засушаване в равнините на България – (1) сезонен ход и обезпеченост, Сборник доклади от Втора научна конференция с международно участие „Теория и практика в земеделието“, Юндола, стр. 201-209 ISBN: 978-954-332-114-8

Попова З., М. Иванова, Д. Мартинс, Л. С. Перейра, М. Керчева, В. Александров, К. Донева, 2013. Засушаване и климатични промени в България: тенденции и въздействия върху агросистемата на царевицата, *Селскостопанска наука*, 46 (1):19-30

Попова З., М. Иванова, К. Донева, 2014б. Изследвания върху поливните режими при променящия се климат в района на Пловдив. *Селскост. наука*, 47 (1): 3-17 ISSN 1311-3534

Allen R., L. S. Pereira, D. Raes, M. Smith, 1998. Crop evapotranspiration. FAO Irrigation and Drainage paper 56, Rome, p. 300

Liu, Y., J. L. Teixeira, H. J. Zhang, L. S. Pereira, 1998. Model validation and crop coefficients for irrigation scheduling in the North China Plain. *Agric. Water Manag.* 36:233–246.

Liu, Y., L. S. Pereira, 2001. Calculation methods for reference evapotranspiration with limited weather data. *J. Hydraul. Eng.* 3, 11–17 (in Chinese).

Moteva M., V.Kazandjiev, V. Georgieva, 2015. The impact of the climate changes during the period 1971-2010 on the reference evapotranspiration in North Bulgaria. *Engineering Geology&Hydrogeology*, 29:59-68, S, ISSN 0204-7934

Pereira L. S., P. R. Teodoro, P. N. Rodrigues, J. L. Teixeira, 2003. Irrigation scheduling simulation: the model ISAREG. In: G. Rossi, A. Cancelliere, L. S. Pereira, T. Oweis, M. Shatanawi, A. Zairi (Eds.) Tools for Drought

Mitigation in Mediterranean Regions. Kluwer, Dordrecht, pp. 161-180.

Pereira L.S., R. G. Allen, M. Smith , D. Raes, 2015. Crop evapotranspiration estimation with FAO56: Past and future. *Agricultural Water Management*, 147:4–20

Pereira, L.S., J. M. Goncalves, B. Dong, Z. Mao, S. X. Fang, 2007. Assessing basin irrigation and scheduling strategies for saving irrigation water and controlling salinity in the Upper Yellow River Basin, China. *Agric. Water Manage.* 93 (3):109–122.

Popova Z., L. S. Pereira, 2011. Modeling for maize irrigation scheduling using long term experimental data from Plovdiv region, Bulgaria. *Agric. Water Management*, 98 (4): 675-683.

Popova Z., M. Ivanova, 2016. Irrigation scheduling under changing Northern Black Sea climate. *Int. Sci. J. "Mechanization in agriculture & Conserving of the resources"*, LXII (4):2016: 26-29

Popova Z., M. Ivanova, D. Martins, L. S. Pereira, K. Doneva, V. Alexandrov, M. Kercheva, 2014. Vulnerability of Bulgarian agriculture to drought and climate variability with focus on rainfed maize systems, *Natural Hazards*, 74 (2):865-886 Springer Science+Business Media Dordrecht

Popova Z., M. Ivanova, L. S. Pereira, K. Doneva, V. Alexandrov, P. Alexandrova, M. Kercheva, 2012. Assessing drought vulnerability of Bulgarian agriculture through model simulations, *J. of Environmental Sciences and Engineering B*, 1/8, pp.1017-1036 David publishing ISSN 1934-8932

Popova Z., M. Ivanova, L. S. Pereira, V. Alexandrov, M. Kercheva, K. Doneva, D. Martins, 2015. Drought and climate change in Bulgaria: assessing maize crop risk and irrigation requirements in relation to soil and climate region. *BJAS*, 21 (1):35-53

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. Papers proceedings of national conference with international participation "100 years Soil Science in Bulgaria", Sofia, 1:394-399.

Popova, Z., M. Ivanova, 2015. Crop water requirements in the context of soil characteristics and changing climate in North Bulgaria. *Engineering Geology&Hydrogeology*, 29:69-84,S, ISSN 0204-7934

Popova, Z., M. Kercheva, L. S. Pereira, 2006a. Validation of the FAO methodology for computing ETo with missing climatic data. Application to South Bulgaria. *Irrig. Drain.* 55 (2), 201–215.

Popova, Z., S. Eneva, L. S. Pereira, 2006b. Model validation, crop coefficients and yield response factors for maize irrigation scheduling based on long-term experiments. *Biosyst. Eng.* 95:139–149.

Varlev I., N. Kolev, Y. Kirkova, 1994. Yield – Water relationship and their changes during individual climatic years. 17-th Europ. Reg. Conference. ICID Varna R. 1.46