



Irrigation scheduling under past and present weather conditions in Pleven, North Bulgaria

Prof. DSc Eng. Zornitsa Popova*, Assist. Prof. Dr Eng. Maria Ivanova

N. Poushkarov Institute of Soil Science, Agrotechnology and Plant Protection (ISSAPPNP), BG - 1080 Sofia, Bulgaria

Abstract: Pleven agricultural region, the Danube plain, is affected by climate variability and increasing dryness. Detected climate change in May-September season creates uncertainties for maize irrigation scheduling and harvested yield. To cope with them, simulations have been performed for past (1951-1984) and present (1951-2004) weather conditions using the validated irrigation scheduling simulation WinISAREG model for two maize hybrids, the semi-early Pioneer P37-37 and the late H708, both grown on a Degraded chernozem soil of large Total Available Water ($TAW=168 \text{ mm m}^{-1}$) at Gorni Dabnik experimental field. The study compares several irrigation scheduling alternatives: (1) consists of refilling the soil reservoir by adopting a management-allowed depletion fraction (MAD) 0.47 TAW and 90 mm application depth both tuned to results of measurements under continuous furrow irrigation; (2) consists of refilling the soil reservoir by adopting $MAD=0.31$ and 60 mm application depth relative to surge furrow irrigation of improved distribution uniformity and reduced application depth or sprinkler irrigation; alternative (3) aims at better storage of seasonal precipitation by partially refilling soil reservoir adopting $MAD=0.47$ with 60 mm application depth; alternative (4) refers to the option of crop without irrigation. These alternatives are built in agreement with past studies to develop environmentally sound irrigation practices that avoid soil cracking, high non-uniformity of water distribution, water and yield losses. According to the regional irrigation practice and previous studies (Zahariev et al, 1986), the last allowed irrigation date is 31/07 for high and moderate demand years while it is 10/08 for the dry year having probability of exceedance $P_I=10\%$. These conditions are considered for all irrigation scheduling studies in addition to a free definition of irrigation timing aiming at water saving while avoiding yield losses. Simulations relative to past weather conditions show that when aiming at maximum yield in the dry years (1965, $P_I=8\%$) irrigation scheduling alternatives 1, 2 and 3 lead to different irrigation demands (ID) of 270, 300 and 240 mm. The results over a whole period using full required daily climate dataset show that the respective irrigation thresholds and application depths produce demands that are also different among them (Fig.8a). The ID relative to Alternative 2 is the highest among the three alternatives and is often larger than net irrigation requirements (NIR). Alternatives 1 and 3 allowing a larger depletion lead to

* zornitsa_popova@abv.bg

water saving of about 60 to 90 mm when compared with alternative 2. These results are compared to irrigation scheduling presently advised in the region and show that it covers crop requirements and irrigation timing computed with alternative 2. Adaptation to drought in the dry year ($P_f = 8\%$) representing the present weather consists only of precise irrigation timing due to the fact that Available Soil Water (*ASW*) and precipitation are very efficiently used. In the average demand year of the past weather (1972, $P_f = 50\%$) all three studied irrigation scheduling alternatives produce equal *ID* of 180mm while in the average year of present weather (1982, $P_f = 48\%$) an additional irrigation event could be required with alternative 2. Contrarily to the average 1972, in 1982 available soil water at the end of the season is depleted to the optimum yield threshold (*OYT*).

Keywords: Climate Variability/Change, North Bulgaria, Irrigation Scheduling, Maize, WinISAREG Model, Water Saving, Yield

Поливни режими при миналия и настоящ климат в района на Плевен

Проф. дсн инж. Зорница Попова, Гл. ас. д-р инж. Мария Иванова

*Институт по почвознание, агротехнологии и защита на растенията „Н. Пушкиarov” (ИПАЗР),
BG – 1080 София, България*

Резюме: Районът на Плевен в Дунавската равнина е засегнат от нарастващата интензивност на колебания и засушаване при настоящия климат. Установените климатични промени през периода “Май-Септември ” създават несигурност по отношение на поливните режими и добивите от царевица. За справяне с проблема са осъществени симулации чрез приложение на валидирания модел на поливния режим и въздействието на водния стрес върху добивите WinISAREG за два хибрида царевица, средно-ран Пионер Р37-37 и късен Н708, отглеждани на Излужен Чернозем с висок използваем воден запас на почвата ($TAW=168 \text{ mm m}^{-1}$) в Опитно поле Горни Дъбник при условията на миналия (1951-1984г) и настоящ (1951-2004г) климат. Изследването сравнява няколко варианта на поливен режим: (1) се състои от допълване на почвения резервоар чрез приемане на степен на изчерпване на използваемия воден запас (*MAD*) 0.47 *TAW* и на поливна норма 90 mm, измерени при оптимално напояване с непрекъснати струи по бразди; (2) се състои от допълване на почвения резервоар чрез приемане на *MAD* = 0.31 и поливна норма от 60 mm, адаптирани към технологиите дъждуване и импулсно напояване по бразди с подобрена равномерност на разпределение&редуциране на поливната норма; алтернатива (3) цели по-доброто използване на сезонните валежи чрез частично допълване на почвения резервоар, приемайки *MAD* = 0.47 и 60 mm поливна норма; алтернатива (4) се отнася до възможността за отглеждане на неполивна царевица. Изследваните алтернативи са построени на основата на изследвания, целящи разработването на екологосъобразни практики на напояване, при които се избягва напукване на почвата, неравномерно разпределение на поливната вода и загуби на вода, тор и добив. Съгласно местните

традиции и предишни изследвания (Захариев и др., 1986), последната поливка се планира до 31/07 през средните и средно сухите години и до 10/08 за сухите с обезпеченост на напоителната норма $P_I = 10\%$. При настоящото изследване тези условия са приети в допълнение на възможността за свободно определяне на датите за подаване на поливките с цел пестене на вода и избягване на загуби на добив. Симулациите за условията на миналия климат показват, че когато се цели получаването на максимален добив през сухите години (1965, $P_I = 8\%$) вариантите на поливен режим 1, 2 и 3 водят до различни напоителни норми (**ID**) от 270, 300 и 240 mm. Резултатите, получени за изследвания период при използване на всички необходими ежедневни данни за климата показват, че прилагането на съответните прагове за планиране на поливките и поливните норми водят до напоителни норми, които са също различни (Fig.8a). При вариант 2 нормите **ID** са най-високи и често надвишават нетната напоителна норма (**NIR**). Вариантите 1 и 3, които позволяват по-висока степен на изчерпване на почвения резервоар **MAD**, водят до икономии на вода от 60 до 90 mm в сравнение с вариант 2. Получените резултати са сравнени и с традиционните за района поливни режими, и показват че последните покриват изчислената потребност за напояване, отговаряща на вариант 2. Поради факта, че през сухите години ($P_I = 8\%$) на настоящия климат използваемият воден запас на почвата (**TAW**) и валежите са използват по-ефективно, адаптацията към засушаване се състои само от точно определяне на датите за поливане. През годините със средна необходимост от напояване за миналия климат (1972г, $P_I = 50\%$) трите изследвани варианта на поливен режим водят до равни напоителни норми **ID** = 180mm, докато през средната от настоящия (1982г, $P_I = 48\%$) е необходима допълнителна поливка при вариант 2. Обратно на средната 1972г, през 1982г използваемият воден запас на почвата в края на сезона е изчерпан до прага на оптималния добив (**OYT**).

Ключови думи: Колебания и промени на климата, Северна България, Поливен режим, Царевца, модел WinISAREG, Пестене на вода, Добив.

1. УВОД

При предишни изследвания, основаващи се на анализи на данни за валежите, температурата, еталонната евапотранспирация **ET₀-PM** (Allen et al., 1998), стандартизирания валежен индекс **SPI** (McKee et al., 1993), включително и чрез приложението на модифицираният тест на Ман-Кендъл, са доказани статистически значими тенденции към засушаване на климата, които засягат не само низините на Южна, но и на Северна България (Славов и др. 2003; Александров (ред.), 2011; Gregorič G. (Ed.). 2012; Popova et al., 2014;). Разгледани са периодите 1951-2004г и 1970-2004г, вторият от които е представителен за условията при съвременния климат. Като резултат са характеризирани в национален мащаб колебанията и промените на необходимостта на царевцата от вода за евапотранспирация и напояване през последните 54 години (Попова и колектив, 2013; Popova et al, 2014; 2015; 2016).

За района на Плевен е установено, че през последните 35 години вегетационните валежи „май-септември” намаляват годишно с $- 2.1 \text{ mm yr}^{-1}$, докато сезонната **ET₀-PM** се е увеличила с 2.3 mm yr^{-1} . В резултат, на черноземите със средна

влажност на почвата и температурата на въздуха. Влагоемкостта на царевичката се е увеличила с 130 mm. Логично, при неполивната царевичка водният стрес е също нарастнал, а добивите, в сравнение с потенциалните, са намалели с 32%.

Установените промени налагат адаптиране на поливните режими, публикувани от Захариев и кол. (1986), които се основават на данни от полски експерименти и изчисления по формулата на Делибалтов (1972) за периода 1950-1980г. Публикуваните резултати се отнасят за традиционен режим с поливни норми от 60 mm за три различни по влажност години с обезпеченост 10, 25 и 50%.

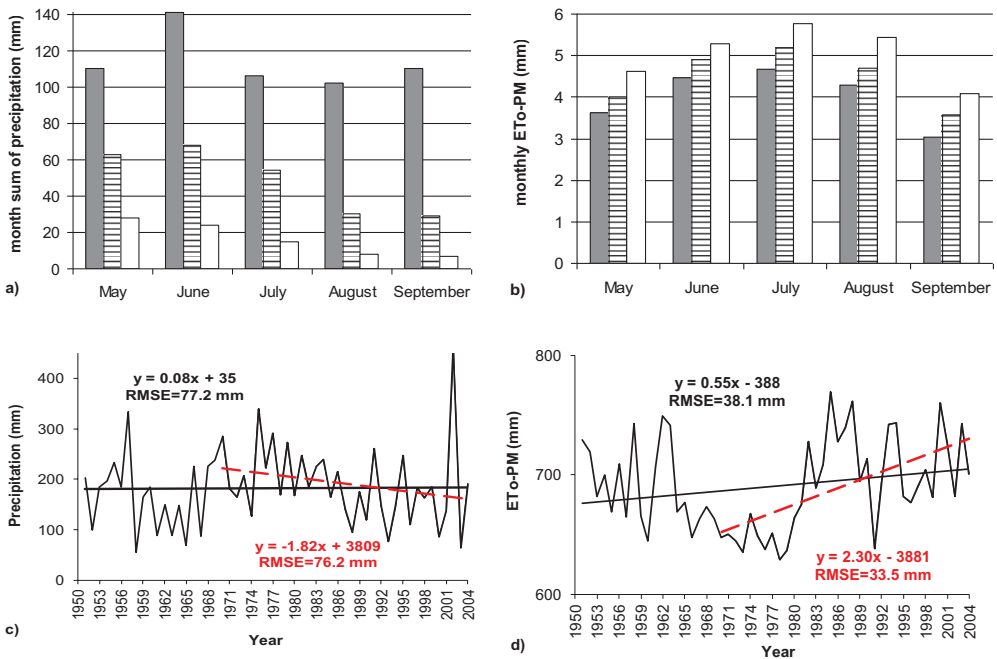
Целта на настоящото изследване е да разработи поливни режими за прецизно напояване на царевичка, отглеждана на Излужен Чернозем ($TAW = 168 \text{ mm m}^{-1}$) на ОП Горни Дъбник в района на Плевен и да установи въздействията на колебанията и промените на климата през един по-дълъг период, 1951-2004г, върху режимите, напоителните норми и добивите при късни и средно-ранни хибриди. За целта, след съответна адаптация на параметрите на почвата и културата към местните условия, е приложен валидирания симулационен модел на баланса на водата в почвата, поливните режими и въздействието на водния стрес върху добивите WinISAREG (Pereira et al., 2003).

2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДИ

2.1. Характеристики на климата и почвата

Климатът в района на Плевен е умерено континентален. Валежите са високи през пролетта и намаляват през юли и август, когато месечната им сума за средната година (с обезпеченост $P = 50\%$) е 55 mm. Вариацията им е съществена през годините, като през влажните сезони ($P = 10\%$) сумата за юли достига 120 mm, а през сухите ($P = 90\%$) е едва 15 mm (Попова (ред.) 2012) (фиг.1a). За разлика от валежите, еталонната евапотранспирация изчислена по уравнението на Penman-Monteith ET_0-PM (Allen et al., 1998), е значително по-стабилна през годините (фиг.2b). Установените средномногогодишни месечни стойности за ET_0-PM следват сезонен ход на изменение, аналогичен на съответните за Пловдив, като достигат максимум от 5.2 и 4.8 mm d^{-1} през месеците юли и август, когато вариацията на валежите е максимална (Попова (Ред) 2012; Popova et al., 2014).

При условията на настоящия климат (1970-2005г) е установено, че вегетационните валежи „май-септември“ намаляват годишно с около 2,1 mm yr^{-1} от които 1,8 mm yr^{-1} (63 mm за 35г) се дължат основно на промени на климата през периода на усилено развитие и формиране на добива при царевичката „юни-август“ (фиг.1c), когато сезонната ET_0 се е увеличила с 2,3 mm yr^{-1} (Фиг. 1d).



Фиг. 1. Месечни суми на валежите mm (a) и стойности на еталонната евапотранспирация mm day^{-1} (b) за средна ($P=50\%$), влажна ($P=10\%$) и суха ($P=90\%$) година; Колебания на валежните суми “Юни-Август” (c) и на сезонната еталонна евапотранспирация ETo “Май-Септ” (d) (—); тенденции за периодите 1951-2004 (—) и 1970-2004(— —), Плевен.

Fig. 1. Average monthly precipitation (a) and reference evapotranspiration ETo-PM (b) for the average ($P=50\%$), wet ($P=10\%$) and dry ($P=90\%$) seasons; Variation of: Precipitation totals for peak demand period “June-August” (mm) (c) and Seasonal ETo-PM “May-September” (mm) (d), (—); trends for 1951-2004 (—) and 1970-2004(— —), Plevna.

Почвата в опитното поле Горни Дъбник е Излужен Чернозем, тежко песъкливо-глинест по механичен състав във всички генетични хоризонти (Таблица 1, Стоянов, 2008). Диференциацията на профила е слаба. Данните за водно-физичните свойства, отразени в същата таблица показват, че обемната плътност на почвата при ППВ има най-ниски стойности в обработваемата част на профила, като в останалите генетични хоризонти стойностите варират слабо между $1,43$ и $1,47\text{g/cm}^3$. Стойностите на пределната полска влагоемкост (ППВ) и влажността на завяхване (BЗ), изразени като част от обема на порите заети с вода, нарастват от хоризонт А към хоризонт В заедно с нарастването на съдържанието на физическа глина. Общите запаси от продуктивна вода за горните 100 cm почва са 168 mm m^{-1} , а само в орния хоризонт те са 50 mm m^{-1} (Стоянов, 2008). Излуженият Чернозем

има голяма възможност да набъбва и се свива при изсушаване (Бонева, 2012). С оглед избягване на дълбоката филтрация следва напояването да се осъществява над границата на напукването на тези почви при предполивна влажност около/ над 78-80% ППВ.

Таблица 1. Механичен състав и водно-физични свойства на Излужен Чернозем, ОП Горни Дъбник

Table 1. Main soil physical and hydraulic properties of a Degraded Chernozem soil at Gorni Dubnik experimental site.

Дълбочина	Об. плътност	Почвени частици с размери, mm			Почвени частици с размери, mm		Съдържание на вода в почвата	
Depth,	Bulk density	Particle size distribution,%			Particle size distribution,%		Soil water,cm ³ cm ⁻³	
		(FAO, 1990)			(Качински, 1958)			
Cm	g cm ⁻³	Глина Clay	Прах Silt	Пясък Sand	Физ. Глина	Ил	ППВ Field capacity	ВЗ Wilting point
		<0.002mm	0.002-0.05mm	0.05-2.00mm	<0.01mm	<0.001mm	cm ³ cm ⁻³	cm ³ cm ⁻³
0-10	1,26	37	49.2	13.8	50.3	32.4	37.8	20.29
10-20	1,26	37	49.2	13.8	50.3	32.4	37.8	20.29
20-30	1,31	37	49.2	13.8	50.3	32.4	38.78	20.44
30-40	1,43	43	43.4	13.6	54.9	37.5	40.33	22.02
40-60	1,45	43	43.4	13.6	54.9	37.5	37.41	22.19
60-80	1,47	37	44.5	18.5	51.2	35.2	38.22	22.64
80-100	1,45	38	49	13	41.1	27.2	37.85	21.32

2.2. Параметри на културата и симулационен модел

WinISAREG (Pereira et al., 2003) е симулационен модел на поливния режим и баланса на водата в почвата. Моделът приема обновената методология за изчисляване на нуждите от вода за евапотранспирация и напояване на културата, предложена от Allen et al.(1998). Две помощни програми изчисляват еталонната евапотранспирация, *ET_o-PM*, включително при използването на алтернативни методи, когато някои данни за променливите на климата липсват, а друга подпомага определяне на параметрите на културата. Входни данни за климата са валежите и еталонната евапотранспирация (*ET_o*).

Данните за почвата се отнасят за многослоен профил, като за всеки слой са включени стойността на ППВ и ВЗ, от които е изчислен използваемия воден запас *TAW* (Таблица 1). Параметрите за основните фази на развитието на културата

и съответните дати на настъпването им, като коефициенти на културата (K_c) и оптимална степен на изчерпване на водния запас без предизвикване на воден стрес (p) са дадени в Таблица 2. Параметрите са определени на основата на наши предишни изследвания и резултати от полски експерименти с различни варианти на напояване (Върлев 2008, Popova and Pereira, 2011; Попова 2008, Попова (ред.) 2012; Varlev et al., 1994) след съответна адаптация към почвените и климатичните условия в ОП Горни Дъбник. Максималната дълбочина на коренообитаемата зона е 1.30 m.

Таблица 2. Дати на настъпване на фазите на развитие на културата и параметри на моделиране: коефициенти на културата K_c и степен на изчерпване на водата без предизвикване на стрес p , Излужен Чернозем, ОП Горни Дъбник.

Table 2. Dates of occurrence of the phases of development of the culture and model parameters: culture coefficients K_c and extent of depletion of the water without causing stress p , Degraded Chernozem soil, Gorni Dubnik experimental site.

Фази на развитие Growth phases	Дати Dates	K_c	p
Начална Initial Period	30/04 to 19/05	0.3	0.45-0,75
Ускорено развитие Mid-season period	10/07 to 26/07	1.26	0.60
Пълна зрелост End-season period	30/09 (harvest)	0.23	0.78

Реалната евапотранспирация на културата ET_a е изчислена от потенциалната ET_{max} в зависимост от съдържанието на достъпна вода в почвата. Евапотранспирацията ET_{max} е изчислена чрез подхода на коефициента на културата K_c ($ET_{max} = K_c ET_o$) (Doorenbos and Pruitt, 1977).

Въздействието на водния стрес върху добива се определя чрез еднофазовия модел на Stewart ($1 - Y_a/Y_{max} = K_y(1 - ET_a/ET_{max})$), когато факторът на добива K_y е известен (Doorenbos and Kassam, 1979). При неполивна царевица са разгледани два хибрида с различна чувствителност към воден стрес: единият е средно ранен (*Пионер P37-37*) с фактор на добива $K_y = 1.2$ (Popova et al., 2011), а другият е късен (*H708*) с $K_y = 1.6$ (Попова (ред), 2012). За целта са използвани данни от дългосрочни полски експерименти (Рафаилов, Живков и др. във Върлев, 2008) и средномесечни данни за променливите на климата. При наличие на всички необходими ежедневни данни за метеорологичните елементи на климата и на основата на независими данни от експерименти с различни варианти на напояване на царевица е установен фактор $K_y = 1.05$ за сухо устойчивия хибрид царевица *Kn-2L-611* и $K_y = 1.5$ за чувствителния на воден стрес хибрид *H708* (Popova, Eneva, Pereira, 2006; Върлев, 2008; Попова, 2008). При поливните режими с умерен воден стрес е установен фактор $K_y = 1.32$ (Popova and Pereira, 2011).

Моделът WinISAREG е приложен за разработване на поливни режими при Излужен Чернозем и за оценка на напоителните норми и загубите на добив от воден дефицит при хибриди царевица с различна устойчивост на воден стрес.

Симулациите с модела са осъществени при приет на праг на изчерпване на използваемия воден запас MAD и поливни норми, установени при експерименти с напояване по бразди с постоянни и импулсно подавани струи или чрез стационарната система за дъждуване (Popova and Kuncheva, 1996; Popova et al, 1994; 1998; Varlev et al, 1998). Изследваните варианти на поливен режим включват:

* **Режим 1** приема степен на изчерпване на водата в почвата $MAD = 0.47$, т.е. до 79% от $ППВ$, поливната норма е 90 mm, измерена при полски експерименти с напояване по бразди при непрекъснато подавани струи (фиг. 5a);

* **Режим 2** се отнася за случая на допълване на почвения резервоар до $ППВ$, приемайки предполивна влажност 86% от $ППВ$, отговаряща на $MAD = 0.31$, поливни норми от 60 mm, адаптирани към резултати от импулсно напояване по бразди, целящо подобряване на равномерността на разпределение и намаление на попитата норма (фиг. 5b);

* **Режим 3** цели по-добро задържане и използване на валежите и поливната вода при стационарна система за дъждуване. Той се състои от допълване на почвения резервоар до 84 % от $ТАВ$, приемайки $MAD = 0.47$ и поливни норми от 60 mm. Около 30 mm от почвения резервоар остават незапълнени с цел акумулиране на евентуални валежи след подаването на поливките (фиг. 5c);

* **Режим 4** се отнася за култура без напояване.

Според поливната практика в района на Плевен и предишни изследвания на Захариев и кол. (1986) последната поливка не се допуска след 1/08 през средно-сухата (обезпеченост на напоителната норма $P_I = 25\%$) и средна ($P_I = 50\%$) години, докато през сухата ($P_I = 10\%$) този срок е удължен до 11/08. Това условие е спазено при всички режими, като определянето на датата на поливка в някои случаи е осъществено и при условието да не се допускат загуби на добив или подаване на ненужни поливки.

При симулациите е използван пълен набор от необходимите ежедневни данни, а именно за температури на въздуха T_{max} и T_{min} , среднодневни стойности за относителна влажност на въздуха и скорост на вятъра, продължителност на слънчевото греене и валежи за периода 1961-1984г (Агрометеорологични годишници 1952-1984). Като втори вариант са използвани хомогенизирани редици от средно месечни стойности за максималните и минимални температури на въздуха T_{max} и T_{min} и месечните суми на валежите за периода 1951-2004г. В този случай на ограничени данни, еталонната евапотранспирация ET_0-PM е изчислена по препоръчаните от ФАО процедури след съответната им валидацията за Умерено-континенталния климат (Popova, Kercheva, Pereira, 2006; Попова, 2008; Иванова и Попова 2012).

3. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИИ

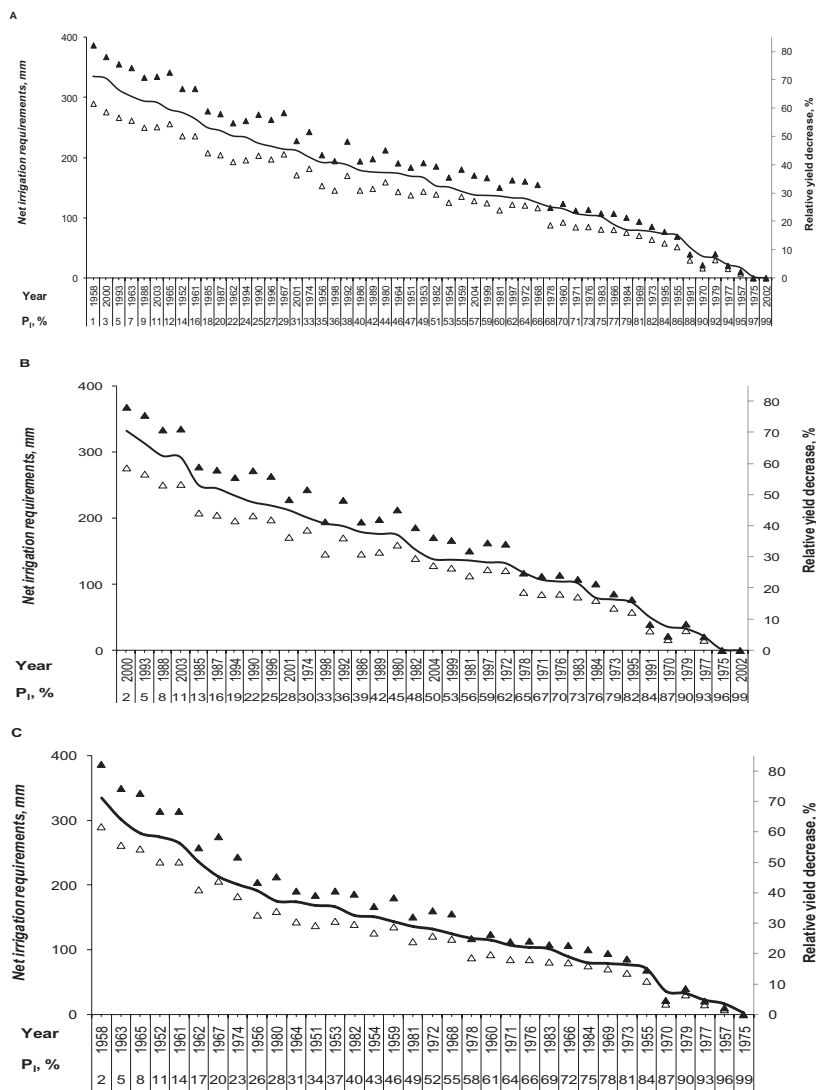
3.1. Добиви и необходимост от напояване при променящия се климат

На фиг. 2 са представени кривите на обезпеченост на нетната напоителна норма (mm) и съответните относителни загуби на добив от неполивна царевица (%) късни и средно ранни хибриди, изчислени за три периода. За целта е използвана редицата от средно месечните стойности на еталонната евапотранспирация *ETo-PM* и месечните суми на валежите, както и калибрираните параметри на моделиране за почвата и културата (Таблицы 1 и 2). Фиг. 2А се отнася за целия разглеждан период 1951-2004г, фиг. 2В за периода 1970-2004г, а фиг. 2С за периода 1951-1984г. През периода на настоящия климат 1970-2004г най-сухи са 2000г (с обезпеченост $P_I=2\%$), 1993г ($P_I=5\%$), 1998г ($P_I=8\%$) и 2003г ($P_I=11\%$). Средно суха е 1974г с обезпеченост на напоителната норма $P_I=30\%$, а 1982г е средна ($P_I=48\%$) (фиг. 2В).

От фиг. 2А и 2В се вижда, че изредените по-горе сухи години ($P_I<11\%$) са практически с идентична обезпеченост и размер на необходимата напоителна норма *NIR* през периодите 1951-2004г и 1970-2004г. Това се отнася и за средно сухата 1974, средната 1982, средно влажната 1984 и влажната 1975 години. Следователно резултатите за двата периода 1970-2004г и 1951-2004г по отношение на необходимите напоителни норми и загубите на добив от воден стрес при неполивната царевица са практически идентични.

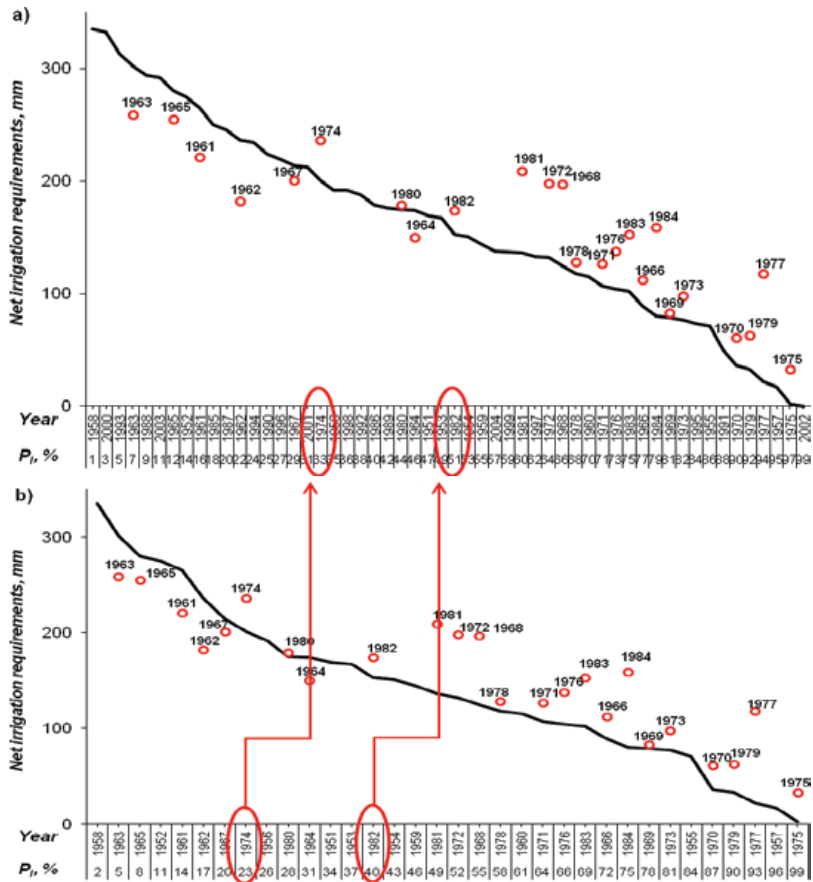
При условията на миналия климат 1951-1984г обаче се вижда, че вероятността P_I на случване на дадена нетна напоителна норма *NIR* намалява от 51 на 40% за средната 1982г, от 33 на 23% за средно-сухата 1974г и от 12 на 8% за сухата 1965г (фиг.2А, 2С).

Следователно, в резултат на настъпилите климатични промени през последните 35 години, загубите на добив от неполивна царевица и нетните нужди от напояване за справяне с тези щети са се увеличили най-вече през средните и средно-сухите години (фиг. 2В и 2С).



Фиг. 2 Криви на обезпеченост на нетната напоителна норма, NIR , mm, (—) и относителното намаление на добива при неполивна царевица, RYD , %, изчислени за средно ранни $P37-37$ (Δ), $Ky = 1.2$, и късни $H708$ (\blacktriangle), $Ky = 1.6$, хибриди при използване на средно месечните стойности на температурите на въздуха T_{max} , T_{min} и месечните суми на валежите за три периода: а) 1951-2004г; б) 1970-2004г; в) 1951-1984г.

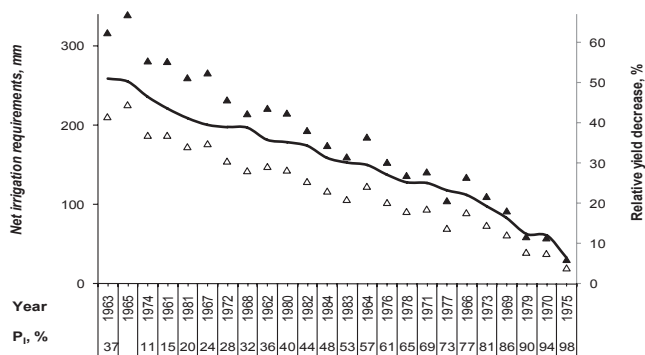
Fig. 2 Probability curves of occurrence of a Net Irrigation Requirements, NIR , mm, (—) and Relative Yield Decrease of rainfed maize, RYD ,%, comparing the semi-early $P37-37$ (Δ), $Ky=1.2$, and late $H708$ (\blacktriangle), $Ky=1.6$, hybrids relative to three periods: а) 1951-2004; б) 1970-2004; в) 1951-1984; Simulations when monthly temperatures T_{max} , T_{min} and precipitation data are used.



Фиг. 3 Сравняване на нетната напоителна норма NIR , mm , изчислена със *средно месечни* ограничени данни за климата (плътна черна линия) и с *пълна база от ежедневни данни* за метеорологичните елементи (\circ) за: **a)** настоящия (1951-2004г) и **b)** миналия (1951-1984г) климат

Fig. 3 Comparing probability curves of occurrence of a NIR , mm , when computed with *monthly T_{max} , T_{min} temperature and Precipitation data* (solid line) and *complete daily climate data* (symbols) relative to: **a)** present 1951-2004/1970-2004 and **b)** past 1951-1984 weather conditions.

Към резултатите, получени на основата на ограничени средно-месечни данни за елементите на климата, на Фиг. 3 са добавени със символ (\circ) и резултатите от симулациите за нетната напоителна норма при използване на пълна ежедневна информация за периода 1961-1984 г. Посочените със символ резултати отчитат по-точно нетната необходимост от напояване, най-вече през средните и влажни години, от резултатите дадени с плътна линия, за получаването на която са били на лице месечни стойности на валежите и температурите на въздуха T_{max} и T_{min} .



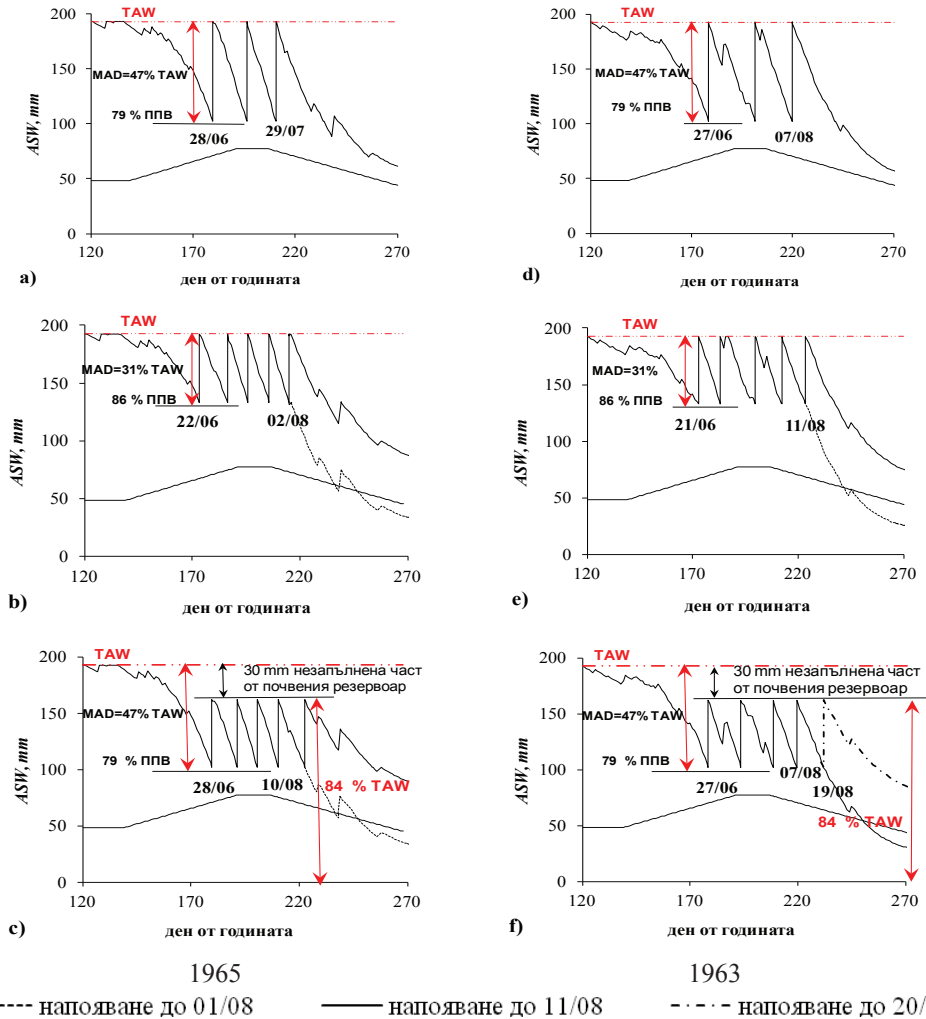
Фиг. 4. Крива на обезпеченост на нетната напоителна норма NIR , mm, и съответни загуби на добив от неполивна царевица RYD , %, за хибриди с различна устойчивост към засушаване: сухоустойчив $Kn-2L-611$ (Δ), $Ky=1.0$, и късни $H708$ (\blacktriangle), $Ky=1.5$, изчислени с всички необходими ежедневни данни за 24 поредни години.

Fig. 4. Probability curve of occurrence for a net irrigation requirements NIR , mm, versus relative yield decrease RYD , %, of rainfed maize comparing a drought resistant $Kn-2L-611$ (Δ), $Ky=1.0$, and a late $H708$ (\blacktriangle), $Ky=1.5$, maize hybrids, computed with all required daily climate data for each year of a 24-year period.

От фиг. 3 следва, че резултатите изчислени на основата на всички необходими данни за поредните 24 години (o) покриват диапазона на колебанията и измененията, не само на настоящия (фиг. 3a), но и на миналия (фиг. 3b) климат. Следователно година с дадена нетна необходимост от напояване за района на Плевен има различна обезпеченост P_I през периодите 1951-2004г и 1951-1984г: например P_I на напоителна норма с размер $NIR \geq 174$ mm за средната 1982г нараства от 40 на 51%, докато P_I за нормата $NIR \geq 236$ mm за средно-сухата 1974г се променя от 23 на 33%. Настоящите изменения на климата обхващат годините с обезпеченост на напоителната норма в диапазон $20 < P_I < 75\%$.

3.2. Поливни режими при миналия и настоящ климат

На фиг. 4 са представени резултатите от симулациите за нетните нужди от напояване NIR и съответните относителни загуби на добив от неполивна царевица RYD , изчислени за 24 поредни години, за които е налице пълен набор от необходимите ежедневни данни за метеорологичните елементи на климата. Вижда се, че нетните норми NIR се колебаят от 50 mm през най-влажната 1975г ($P_I=98\%$) до 110-180 mm през средните сезони ($40 < P_I < 75\%$) и достигат 260 mm през най-сухите 1963 и 1965г ($P_I < 5\%$).



Фиг. 5. Наличен ползваем воден запас ASW^* при три поливни режима за **сухите 1965** и **1963** ($P_I=8\%$) от периодите **1951-1984г** и **1951-2004г**: **а)** и **д)** режим 1; **б)** и **е)** режим 2; и **с)** и **ф)** режим 3; Горизонталната пунктирана линия отговаря на водния запас в коренообитаемата зона при **ППВ** (TAW , mm), а най-ниската начупена линия е оптимална граница на изчерпване без воден стрес (OYT^{**}).

Fig. 5. Available soil water (ASW , mm) for the three irrigation scheduling alternatives in the very high irrigation demand **1965** and **1963** ($P_I=8\%$) relative to past (**1951-1984**) and present (**1951-2004/1970-2004**) weather: **a)** and **d)** alternative 1; **b)** and **e)** alternative 2; and **c)** and **f)** alternative 3, with identification of the date of the first and last irrigation; The horizontal dashed line, above, corresponds to TAW and the broken line, below, to the non-stress threshold.

* ASW = Available soil water in the root zone, mm

** OYT = optimum yield threshold, $OYT = p \times TAW$, оптимална граница на изчерпване

При по-чувствителния на воден стрес късен хибрид царевица *H708*, отглеждан без напояване през същия период, относителните загуби на добив от воден стрес са незначителни (6%) през най-влажната 1975г, нарастват от 25 до 42% през средните години ($40 < P_I < 75\%$) и достигат 62-67% през най-сухите 1965 и 1963г. При устойчивия на засушаване хибрид *Kn-2L-611* въздействието на водния стрес върху добивите е смекчено, като през средните години загубите са в граници 14-28%, а през най-сухите те не надвишават 40-45%.

На фиг. 5a, 5b, 5c са сравнени измененията на наличния използваем воден запас ASW^1 при поливните режими 1, 2 и 3 през *сухата 1965г* за периода на миналия климат 1951-1984г ($P_I=8\%$, фиг. 2c). От резултатите на фиг.5a следва, че при напояване до 11.08. (непрекъсната линия) при режим 1 са подадени три поливки. Водният запас на почвата в края на сезона ASW_{end} е над оптималната граница на изчерпване, когато поливките са пет при режимите 2 (фиг. 5b) и 3 (фиг. 5c). По-ранното прекратяване на поливния сезон - преди 1/08 (пунктирна линия) води до спадане на влагозапаса ASW_{end} под оптималната граница и намаляването на броя на поливките с една при режимите 2 и 3. В резултат относителното намаление на добивите, 1%, е несъществено (Таблица 3, в края на статията). Резултатите от симулациите на режим 2 (фиг. 5b) съвпадат с утвърдените в практиката напоителна норма и препоръчани срокове за подаване на поливките на Захариев и кол.(1986).

Адаптацията на режимите през сухите години към условията на настоящия климат изисква удължаването на поливния сезон с една десетдневка (фиг. 5d, 5e, 5f). Това се дължи на факта, че през сухата 1963г от настоящия климат ефективността на използване на вегетационните валежи нараства до 100% при режимите 1 и 3, при които необходимите напоителни норми, в сравнение с режим 2, са по-ниски съответно с 30 и 60 mm (Таблица 3).

През средно-сухата 1974г за периода 1951-1984г ($P_I=23\%$, фиг. 2c) добивът е максимален и при трите разглеждани режима при краен срок за напояване 11/08 (фиг. 6a, 6b, 6c). При режим 2 (фиг. 6b) са необходими 4 поливки, като първата е през последната десетдневка на юни и следващите 3 са равномерно разпределени през юли, т.е. резултатите отново практически съвпадат със съответните публикувани от Захариев и др. (1986). При режимите 1 и 3 (фиг. 6a, 6c), поради по-високата степен на изчерпване на използваемия воден запас на почвата, напояването започва и приключва по-късно.

През средно-сухата за настоящия климат 1962 г., поради акумулирането на валеж от 60 mm през втората половина на юли (таблица 3 и фиг. 6d, 6f), режимите 1 и 3 са водоспестяващи по отношение на традиционния режим 2, при който датите на подаване на поливките и необходимата напоителна норма за разглежданата година (фиг. 6e) отговарят на установените от Захариев и колектив (1986).

През средната за условията на миналия климат 1972г ($P_I=50\%$, фиг. 2c) поливният сезон приключва преди 1/08 при пълно задоволяване на сезонните нужди на растението от поливна вода (180 mm) и при трите режима и остатъчен воден запас в почвата $ASW_{end} = 192-193$ mm (фиг. 7a, 7b, 7c), който надвишава два

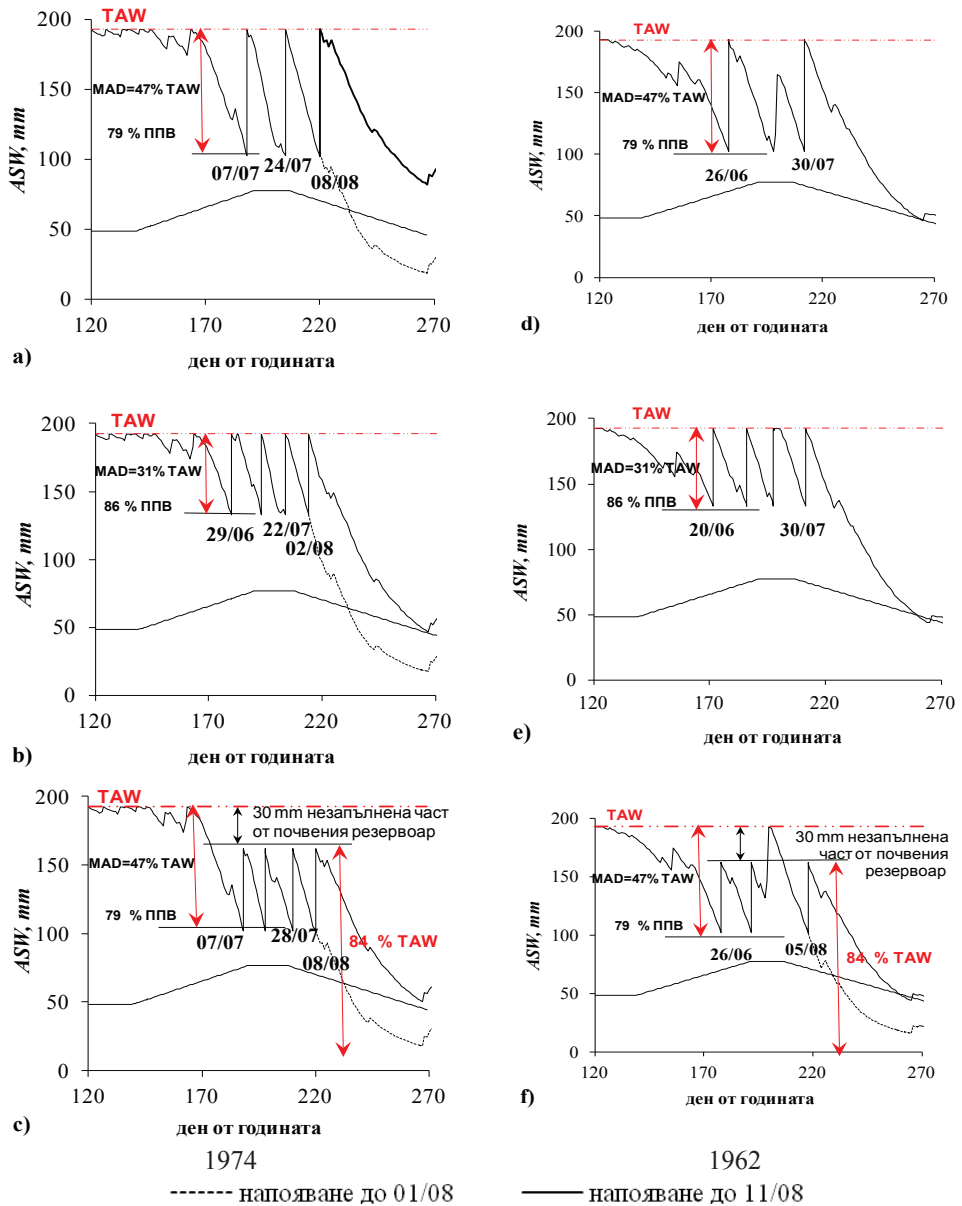
пъти установеният през средната 1982г за условията на настоящия климат (фиг. 7d, 7e, 7f; Таблица 3).

От фиг. 7 се вижда, че независимо от настъпилите промени на климата през периода 1951-2004г, необходимите напоителни норми, броят на поливките и датите на подаването им за получаването на максимален добив при разглежданите режими е практически идентичен през средните 1972 и 1982г. Това се дължи на факта, че през средната 1982г от настоящия климат използваемият воден запас в края на вегетационния период ASW_{end} е изразходван до границата на оптималния добив (фиг. 7d, 7e, 7f). През 1982г и спазване на традиционната дата за преустановяване на напояването 1/08 (Захариев и кол.1986), при режим 2 е подадена и четвърта поливка на 20/07, която е излишна.

На фиг. 8а са сравнени напоителните норми (ID_s) при трите разглеждани поливни режима за царевица, изчислени за 24 поредни години от периода на миналия климат, със съответните публикувани норми и поливни режими за условията на Излужен Чернозем, Кнежа (Захариев и кол., 1986). От фигурата се вижда, че когато поливният сезон приключва до 01/08, необходимите напоителни норми при режими 1, 2 и 3 са около нетните през средно-сухите, средни и влажни години ($P_I > 11\%$). През останалите по-сухи години с обезпеченост $P_I < 10\%$, през които последната поливка е планирана до 11/08, резултатите от симулациите водят до различни напоителни норми при изследваните режими – 270, 240 и 300 mm.

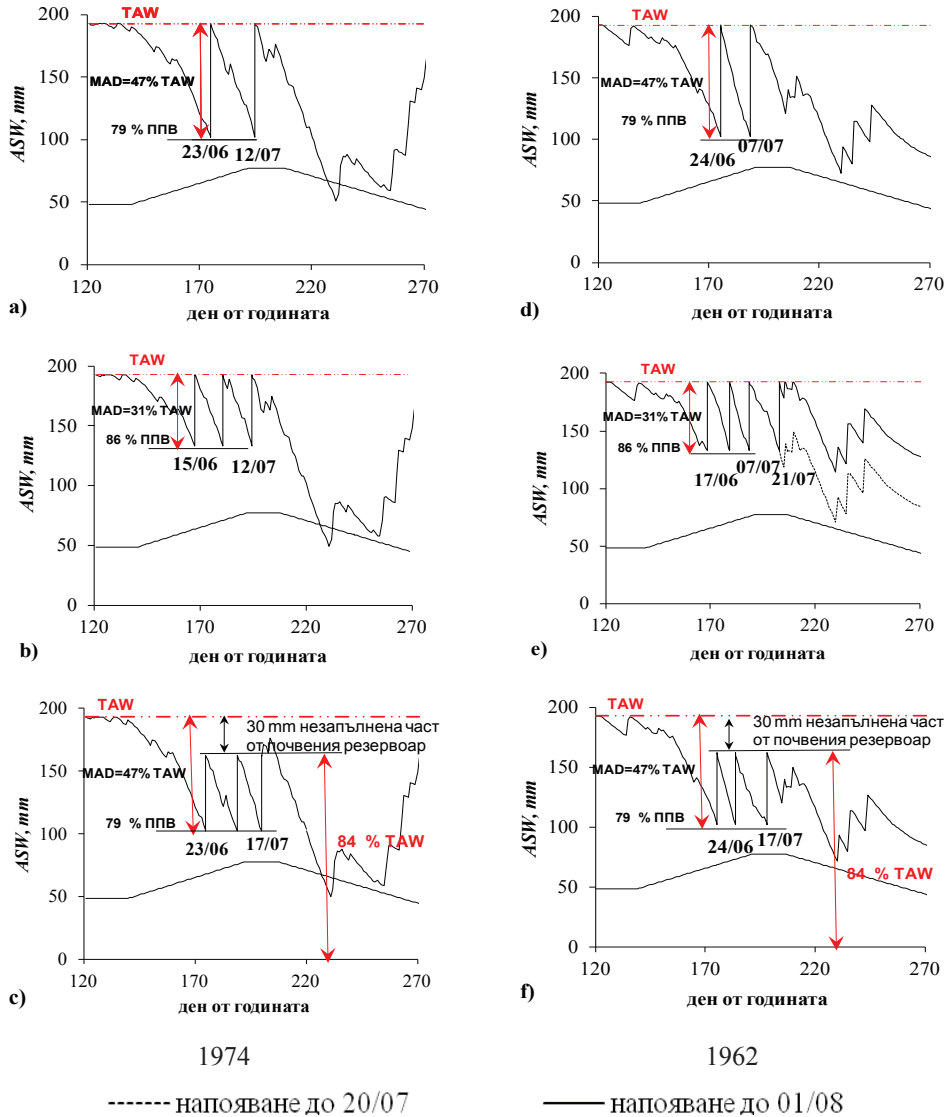
Резултатите за целия период при използване на всички необходими ежедневни данни за метеорологичните елементи на климата показват, че различните прагове на изчерпване на водния запас TAW и съответните поливни норми също водят до различни напоителни норми. При режим 2 нормите са най-високи и надвишават нетната необходимост на растенията от вода NIR . При режимите 1 и 3 с по-голяма степен на изчерпване MAD вегетационните валежи се използват по-ефективно, а напоителните норми са с 60 mm по-ниски през сухите, средно сухите и средни години ($P_I < 45\%$). През останалите средни и влажни години ($P_I > 55\%$) водоспестяващият ефект на режим 3, при който почвеният резервоар се запълва частично, се запазва на 60 mm, докато при режим 1 той е 30 mm или в някои случаи 90 mm. От фигурата се вижда, че резултатите от симулациите на режим 2 при условията на миналия климат съвпадат с утвърдените в практиката напоителна норма и срокове за подаване на поливките за годините с обезпеченост 10, 25 и 50% на Захариев и колектив (1986г).

На фиг. 8б са сравнени относителните загуби на добив (RYD), изчислени с фактор на добива $K_y = 1.32$ при прилагане на разглежданите поливни режими и срокове за преустановяване на напояването. Загубите на добив от воден дефицит са най-високи при поливен режим 3, при който средномногогодишните относителни загуби са 2.8% от потенциалния добив при максимум от $RYD = 10.4\%$ за 1971г, и най-ниски при режим 2 със средни загуби от 0.6% и максимална стойност от $RYD = 5.2\%$ за 1961г. При режим 1 средните загуби са 1.6% при максимум от $RYD = 9.9\%$ за 1978г.



Фиг. 6. Наличен ползваем воден запас ASW при три поливни режима за средно сухите 1974 и 1962г ($P_i=22$ и 23%) от периодите 1951-1984г и 1951-2004 (1970-2004г): Другите означения са като фиг. 5.

Fig. 6. Available soil water (ASW , mm) for the three irrigation scheduling alternatives in the high irrigation demand 1974 and 1962 ($P_i=22$ and 23%) relative to periods 1951-1984 and 1951-2004/ 1970-2004 : The rest is the same as in Fig. 5.



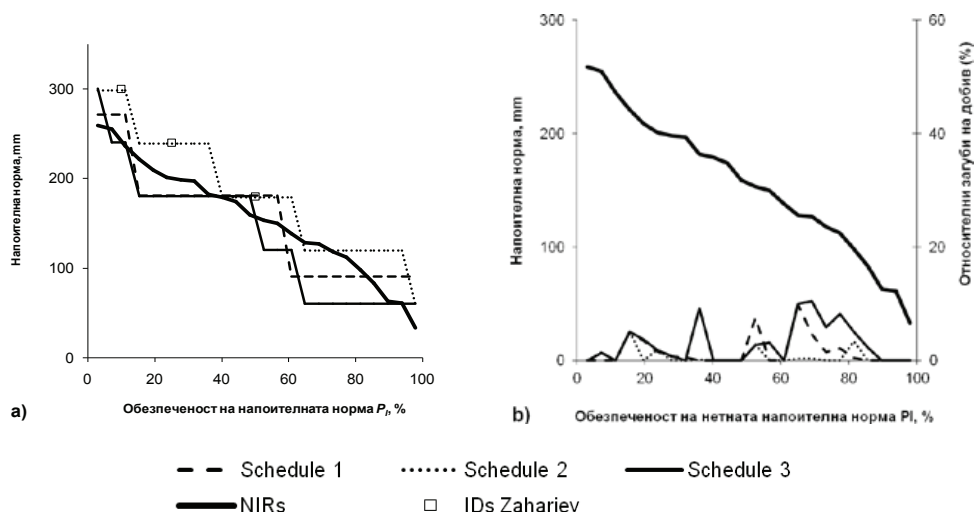
Фиг. 7. ASW, mm при три поливни режима за средните 1972 ($P_i=50\%$) и 1982 ($P_i=48\%$) за периодите 1951-1984г и 1951-2004г: Другите означения са като фиг. 5.

Fig. 7. ASW mm for the three irrigation scheduling alternatives in the average irrigation demand 1972 and 1982 relative to periods 1951-1984 and 1951-2004: The rest is the same as in Fig. 5.

Таблица 3. Резултати за баланса на водата в почвата и относителните загуби на добив, **RYD**, %, при поливните режими 1, 2 и 3 и за варианта без напояване (4) за средна, средно-суха и суха година от периодите **1951-1984*** и **1951-2004г** (1970-2004г.). Напояване до **01/08** за **средните** и **11/08** за **сухите** години.

Table 3 Summary water balance and relative yield decrease **RYD**, results of irrigation scheduling alternatives 1, 2, 3 and rainfed alternative 4 for the average, high and very high irrigation demand year, **1951-1984*** and **1951-2004**. Last allowed irrigation date **01/08** for the average demand and **11/08** for the high demand years.

Климат /Climate conditions	Средна година/Average irrigation demand				Средно суха година/High irrigation demand				Суха година/Very high irrigation demand			
	Минал климат Past climate	Настоящ климат Present climate	Минал климат Past climate	Настоящ климат Present climate	Минал климат Past climate	Настоящ климат Present climate	Минал климат Past climate	Настоящ климат Present climate	Минал климат Past climate	Настоящ климат Present climate	Минал климат Past climate	Настоящ климат Present climate
Година /Year	Напояване до 01/08				Напояване до 11/08				Напояване до 11/08			
	1951-1984	1951-2004 (1970-2004)	1951-1984	1951-1984	1951-1984	1951-2004 (1970-2004)	1951-1984	1951-1984	1951-1984	1951-2004 (1970-2004)	1951-1984	1951-2004 (1970-2004)
	1972*	1982	1974*	1962	1965*	1963						
P_p , % 1951-2004 (1970-2004)	64 %	51 %	33 %	22 %	12 %	7 %						
P_p , % 1951-1984*	52 %	40 %	23 %	17 %	8 %	5 %						
Валежи май-септ./ Precipitation May-Sep, mm	366	293	220	200	157	136						
Валежи юли-авг. /Precipitation Jul-Aug, mm	139	195	104	130	44	62						
Нетни напоителни норми /Net irrigation requirements, mm	198	174	236	182	255	259						
Поливни режими /Irrigation alternatives	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Напоителни норми /Irrigation depths, mm	180	180	180	180	270	240	240	240	270	300	300	240
Брой на поливките /Number of irrigation events	2	3	3	3	3	4	4	3	3	5	4	4
Евапотранспирация на културата /Crop evapotransp (E _{Ta}), mm	522	521	522	540	538	540	538	499	511	511	511	531
Неизползвани валежи /Non-used precipitation, mm	25	24	24	36	36	36	54	57	55	56	55	9
Остатъчни водни запаси /ASW at harvest, mm	193	192	193	170	84	82	83	41	92	56	60	19
Относително намаляване на добива /RYD, % when $K_y=1.32$	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Относително намаляване на добива /RYD, % when $K_y=1.2$		37			31		44				54	
Относително намаляване на добива /RYD, % when $K_y=1.6$		49			41		59				71	



Фиг. 8. Напоителни норми, *IDs*, mm, (a) и относителни загуби на добив *RYD*, %, ($K_y = 1.32$) (b) при поливните режими 1, 2 и 3 в зависимост от обезпечеността на нетната напоителна норма P_p , изчислени за 24 поредни години с всички необходими ежседневни данни за климата.

Fig 8. Irrigation Demands, *IDs*, mm, (a) and relative yield decrease, *RYD*,%, (b) relative to irrigation scheduling alternatives 1,2 and 3 computed for each year of 24-year period using *all required climate data on a daily basis and sorted in relation to the probability curve of NIR.*

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализът на резултатите от изследването върху поливните режими на царевица, отглеждана на излужен Чернозем ($TAW=168 \text{ mm m}^{-1}$) в района на Плевен през периода 1951-2004г показва, че:

(1) При условията на миналия климат 1951-1984г нетните нужди от поливна вода *NIR*, mm, се изменят от 0-10 mm през екстремно влажните ($P_I > 95\%$) до 110 - 180 mm през средните ($40 < P_I < 75\%$) и достигат 260 mm през сухите години ($P_I < 5\%$). Промените през периода 1970-2004 засягат основно средно сухите и средни години ($20 < P_I < 75\%$), когато *NIR*, mm, нараства с 10–30 mm;

(2) Резултатите от симулациите на режим 2 за условията на миналия климат съвпадат с утвърдените в практиката напоителна норма и препоръчани срокове за подаване на поливките на Захариев и кол.(1986). Адаптацията на режимите към настоящия климат изисква удължаване на поливния сезон с една десетдневка през сухите години.

(3) През **сухите и средно-сухи години** от настоящия климат ефективността на използване на вегетационните валежи нараства до 100% при режимите 1 и 3, при които необходимите напоителни норми, в сравнение с режим 2, са пониски съответно с 30 и 60 mm. Водоспестяващият ефект на режим 3, при който почвеният резервоар се запълва частично, се запазва на 60 mm през **средните и средно-влажни години**, докато при режим 1 се пестят 30 mm или 90 mm;

(4) През **средните години** ($P_I=50\%$) напояването до утвърдения в практиката срок 1/08 води до идентични напоителните норми (от 180 mm) при разглежданите режими в резултат на изчерпване на влагозапасите на почвата в края на сезона до границата на оптималния добив. В този случай, мерките на адаптация към климатичните промени се свеждат само до точното избиране на датите за поливане или отглеждането на сухоустойчиви хибриди, при които загубите на добив при неполивни условия е в граници от 15 до 20% от потенциалния добив.

(5) Относителното намаление на добива без напояване при чувствителните на воден стрес късни хибриди царевица, *H708*, е до 10% през влажните години, нараства до 40% през средните и достига 80% през най-сухата година. При устойчивите на засушаване Кн-2Л-611 и средно ранните хибриди, *Пионер (P37-37)*, въздействието на водния стрес е смекчено, като през средните години загубите са 20-30%, а през най-сухата те не надвишават 50% от потенциалния добив.

5. ЛИТЕРАТУРА

- Александров В. (ред). 2011. Методи за мониторинг, оценка и въздействие на сушата в България. София, стр. 216
- Агromетeорoлoгични гoдишници. 1952-1984. Хидрoмeтeорoлoгичнa службa, Сoфия
- Бoнeвa, К., 2012. Изслeдвaнe нa oснoвнитe хaрaктeристикитe нa пoчвaтa с oглeд прилoжeниeтo им при кaлибрoвкaтa и изпoлзвaнeтo нa симулaциoнни мaтeмaтичeски мoдeли. В Пoпoвa З. (Рeд). 2012. Oцeнкa нa рискa oт зaсушaвaнe в зeмeдeлиeтo и упрaвлявaнe нa нaпoявaнeтo чрeз симулaциoнни мoдeли. стр.141-165 ISBN 978-954-394-080-6
- Върлeв И., 2008 г., Пoтeнциaл, eфeктивнoст и риск при oтглeждaнe нa цaрeвицaтa в Бългaрия, Сeлскoстoпaнскa aкaдeмия, С., с.120
- Дeлибaлтoв Й. 1972. Нaпoявaнe нa зeмeдeлскитe културитe. Сoфия. Зимиздaт.
- Енeвa Ст., 1993, Прoдуктивнoст и eфeктивнoст нa вoдaтa при oптимaлнo нaпoявaнe и при вoдeн дeфицит нa някoи пoлски културитe. Хaбил. тp. ст.н.с .I ст., Спeц. Сьвeт OЗ ВAК, С.
- Зaхaриeв Т., Лaзaрoв, Р., Кoлeвa, Ст., Гaйдaрoвa, Ст. и Кoйчeв, З., 1986. Рaйoнирaнe нa пoливния рeжим нa сeлскoстoпaнскитe културитe. Зeмиздaт, Сoфия, стр. 646.
- Ивaнoвa М. Пoпoвa З, 2011, Вaлидaция нa мeтoдoлoгиятa нa ФAО 56 зa изчислявaнe нa eтaлoннaтa eвaпoтpaнcпирaция ETo – PM при oгpaничeни мeтeорoлoгични дaнни в Сoфийскo пoлe. Сeлскoстoпaнскa нaукa, гoд.XLIV, №2, стр.3-13.
- Пoпoвa З. 2008. Oптимизирaнe нa пoливния рeжим, дoбивитe и влияниeтo им върху oкoлнaтa срeдa чрeз симулaциoнни мoдeли. Aвтoрeфeрaт към дисeртaциoнeн тpуд зa ДСН, ИП”Н.Пушкaрoв”, Сoфия, 101 стр.

- Попова З. (Ред). 2012. Оценка на риска от засушаване в земеделието и управление на напояването чрез симулационни модели. 244 стр. ISBN 978-954-394-080-6
- Попова З., М. Иванова, Д. Мартинс, Л. С. Перейра, М. Керчева, В. Александров и К. Донева. 2013. Климатични промени, селскостопанско засушаване и необходимост от напояване в България. сп. Водно дело 1/2, с. 14-22
- Славов Н., Е. Колева, В. Александров. 2003. Климатични особености на засушаването. В: И. Раев, Knight C.G. и М. Станева (Ред.) Засушаването в България: съвременен аналог за климатични промени. Природни, икономически и социални измерения на засушаването 1982-1994 г, БАН, София, стр. 39-52
- Стоянов, П., 2008. Агроекологичен потенциал на царевицата, отглеждана върху типични за нейното производство почви в условията на България. Хабилизационен труд за получаване на научна степен „професор”.
- 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, p.144
- Doorenbos J., A.H. Kassam. 1979. Yield Response to Water. Irrigation and Drainage Paper 33, FAO, Rome, p.193
- Gregorič G. (Editor). 2012. Drought management centre for South-east Europe – DMCSEE Summary of Project results, 55 p., Published by Slovenian Environmental Agency
- 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, pp.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, L. S. Pereira, A. Zairi (Eds.) Kluwer, Dordrecht, pp. 161-180
- Popova Z., I. Varlev, I. Gospodinov, 1994. Surge irrigation as an environment friendly technology. Transactions of Regional European Conference of ICID, Varna, Bulgaria, **3** (48): 341-350.
- Popova Z., R. Kancheva, 1996. Modeling in Water Losses Evaluation for Nonhomogeneous Furrow Set. (ASCE) Journal of Irrigation and Drainage Engineering, **122** (1):1-6.
- Popova Z., I. Varlev, V. Kutev E. Ikononova, 1998. Irrigation and cropping techniques to prevent natural water pollution. 1st Inter-Regional Conf. “Environment - Water: Innovative Issues in Irrigation and Drainage, Lisbon, pp: 6-13.
- Popova, Z., M. Kercheva, L.S. Pereira. 2006. Validation of the FAO methodology for computing ET_o with limited data. Application to South Bulgaria. Irrig and Drain. **55**, (1): 201-215.
- Popova Z., Eneva S., Pereira L.S., 2006. Model validation, crop coefficients and yield response factors for irrigation scheduling based on long-term experiments. Biosystems Engineering. **95** (1): 139-149.
- 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. **99** (4): 587-597.
- Popova Z. and 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.

- Popova Z., M. Ivanova, P. Alexandrova, K. Doneva, V. Alexandrov, L.S. Pereira. 2011. Impact of drought on maize irrigation and productivity in Plovdiv region. National conf. with intern. participation “100 years Soil Science in Bulgaria”, Sofia, **1**, 394-399
- 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. *J. Environm. Sci. Eng. B*, **1 /8**, pp.1017-1036 ISSN 1934-8932
- Popova Z., Ivanova M., Martins D., Pereira L.S., K. Doneva, Alexandrov V., Kercheva M., 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., Ivanova M., Luis Pereira , V. Alexandrov, M. Kercheva, K. Doneva , D.Martins. 2015. Droughts and climate change in Bulgaria: assessing maize crop risk and irrigation requirements in relation to soil and climate region. *Bulgarian Journal of Agricultural Sciences*, **21** (No 1): 35-53
- Popova, Z., M. Ivanova. 2016. Crop water requirements in the context of soil characteristics and changing climate in North Bulgaria. *Engineering Geology and Hydrogeology*, **29**, Sofia, ISSN 0204-7934 (in print).
- Varlev I., N. Kolev and I. Kirkova. 1994. “Yield-water relationships and their changes during individual climatic years”, *Proceedings of 17th Europ. Reg. Conf. of ICID*, Varna, **1**, pp. 351 – 360
- Varlev I., Popova Z., Gospodinov I., 1998. Furrow surge irrigation as water saving technique. In L.S.Pereira and J.Gowing (Eds.) “Water and the environment: Innovative Issues in Irrigation and Drainage”, *Selected papers of the 1st Inter-Regional Conf. “Environment - Water”*, Lisbon, pp.131-140 (E&FN Spon-Routledge).