



Получена: 20.12.2019 г.

Приета: 22.01.2020 г.

## ПОЛИВНИ РЕЖИМИ НА ЦАРЕВИЦА, ОТГЛЕЖДАНА НА СМОЛНИЦА ПРИ ПРОМЕНЯЩИЯ СЕ КЛИМАТ В СОФИЙСКО

М. Иванова<sup>1</sup>, З. Попова<sup>2</sup>

*Ключови думи:* поливни режими, царевица, Смолница, климатични промени, WinIsareg модел, управление на водите, добив

### РЕЗЮМЕ

Целта на настоящото изследване е да се оцени въздействието на колебанията и промените на климата върху нуждите от напояване на царевица, отглеждана на Смолница в Софийско поле. Чрез приложение на валидирания модел WinIsareg (Pereira et al, 2003) са симулирани 4 алтернативи на поливен режим с различна степен на изчерпване на използваемия воден запас на почвата за условията на „сухата“, „средносухата“ и „средната“ година от периодите на миналия (1952 – 1984) и настоящия (1970 – 2004) климат.

Адаптирането на поливните режими към съвременния климат през „сухите“ години ( $P_1 \leq 12\%$ ) се състои от удължаване на поливния сезон с 15 – 20 дни и необходимост от допълнителна поливка при водоспестяващите режими 1 и 3 и две поливки при режим 2. През периода на миналия климат режимите 2 и 3 водят до икономии на 30 mm вода, докато при съвременния климат и трите поливни режима осигуряват 360 mm поливна вода. През „средно-сухите“ ( $P_1 = 15 - 30\%$ ) години за получаване на максимални добиви напояването следва да приключи до 05/09, като при съвременния климат поливният сезон е изместен с около една седмица по-рано и при трите режима. През „средните“ години адаптацията се състои в точно определяне на датите за поливка.

### 1. Въведение

Поливният режим е от решаващо значение за ефективно управление на потреблението на водните ресурси и за оптимизиране на доходността на поливните площи. Нуж-

<sup>1</sup> Мария Иванова, гл. ас. д-р инж., кат. „Физика, ерозия, почвена биота“, ИПАЗР „Н. Пушкиров“, ул. „Банско шосе“ № 7, 1331 София, e-mail: mulykostova@abv.bg

<sup>2</sup> Зорница Попова, проф. дсн инж., кат. „Физика, ерозия, почвена биота“, ИПАЗР „Н. Пушкиров“, ул. „Банско шосе“ № 7, 1331 София, e-mail: zornitsa\_popova@abv.bg

дите на растението от вода се характеризират най-вече от климатичните условия в даден земеделски район.

Софийското поле се характеризира с умерено-континентален климат и е един от най-влажните и хладни земеделски райони. Въпреки това е установен тренд на намаляване на валежите и увеличаване на еталонната евапотранспирация през вегетационния (май-септември) и поливния (юни-август) сезон на царевицата за периода на съвременния климат 1970 – 2004 г. [1 ÷ 6]. Вследствие на настъпващото засушаване са установени стопански значими (30 – 50%) загуби на добив при неполивна царевица [7].

При установените промени в климатичните условия [1, 2, 8 ÷ 10] би следвало да се преразгледат и актуализират публикуваните поливни режими за Софийско поле, както и да се тестват режими с различни поливни норми и при различна степен на изчерпване на водата в почвата [11, 12].

В книгата на Захариев и кол. (1986 г.) са публикувани поливни режими за години с обезпеченост 10, 25 и 50%, за които с поливна норма от 60 mm са установени съответно напоителни норми от 300, 240 и 180 mm, изчислени по формулата на Делибалтов (1972) за периода 1950 – 1980.

Керчева и Попова (2008) увеличават диапазона на изследваните климатични години от 10 – 50% при Захариев на 3 – 98% (целия възможен диапазон на колебание на климата) като прогнозираят с модела CROPWAT поливни режими на царевица с фиксирана поливна норма 60 mm в района на София за условията на климата 1960 – 1990 г.

Също така трябва да се има предвид фактът, че поливните режими, публикувани в книгата на Захариев и кол., 1986 и от Керчева и Попова, 2012 са изчислени с поливни норми от 60 mm (реализирани при гравитачно напояване или дъждуване), докато в практиката напояването по бразди, на влагоемки почви като Смолниците, поливните норми могат да достигат до 90 – 100 mm.

Целта на настоящото изследване е да разработи поливни режими за прецизно напояване на царевицата, отглеждана на Смолница, подходящи за съвременните климатични условия в Софийско поле и да установи въздействието на засушаването върху напоителните норми и добивите при препоръчаните за отглеждане в Софийско поле средно ранни, а за сравнение и при късни хибриди, за период от 53 години. За целта е използван валидираният симулационен модел на баланса на водата в почвата, поливните режими и въздействието на водния стрес върху добивите WinISAREG [13, 14], като параметрите на почвата и културата са адаптирани към местните условия [15].

Използването на симулационни модели за управление на напояването дава възможност за разработване на прецизни поливни режими, при които се минимализират загубите на вода и добив. Приложеният в настоящото изследване валидиран модел WinISAREG приема обновената методология на ФАО за определяне на еталонната евапотранспирация и поливния режим [16]. Тази методология е приложена с ежедневни данни за минал (1950 – 1984) и настоящ климат (1970 – 2004) за разработката на поливни режими, съобразени със съответната техника на напояване.

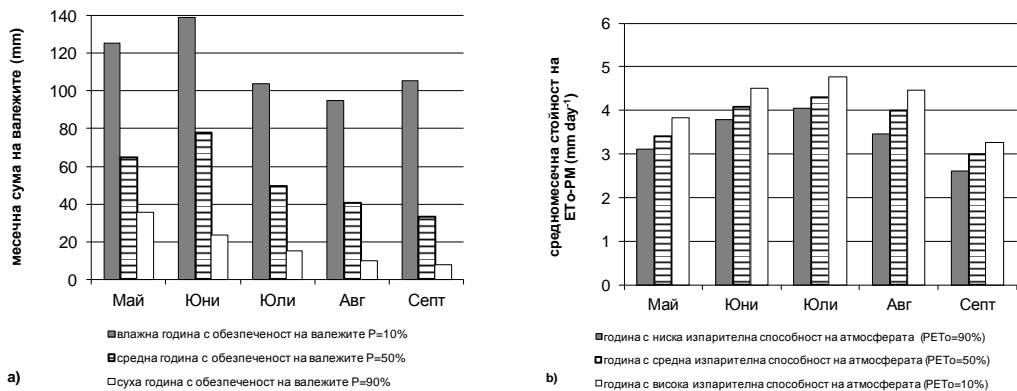
## **2. Материал и методи**

### **2.1. Характеристики на климата и почвата**

Софийското поле е разположено в югозападната част на страната (42°15' г. ш., 25°45' г. д. и 555 m надморска височина за ОП Божурище), където климатът е умерено-континентален климат. Този район се характеризира като по-влажен и хладен в сравне-

ние с останалите земеделски райони на страната, в които се отглежда царевица [3]. В наши предишни изследвания е установено, че сумите на валежите през вегетационния сезон са едни от най-високите в Софийско, като се изменят от 200 mm през най-сухите, от 270 до 400 през средните и достигат 450 – 700 mm през най-влажните години (с обезпеченост  $P_1 = 0 - 10\%$ ) и съответно, че  $E_{To}$  е една от най-ниската в изследвания район и се колебае в граници от 100 mm през влажните години, 570 – 600 mm през средните и достига 600 – 650 mm през сухите години [3, 4].

На фиг. 1а са илюстрирани месечните суми на валежите  $R$  (mm) за средна (с обезпеченост на валежите  $P = 50\%$ ), влажна ( $P = 10\%$ ) и суха ( $P = 90\%$ ) година. Валежите са високи през пролетта и намаляват през лятото, като се характеризират с голяма вариация в зависимост от годината.

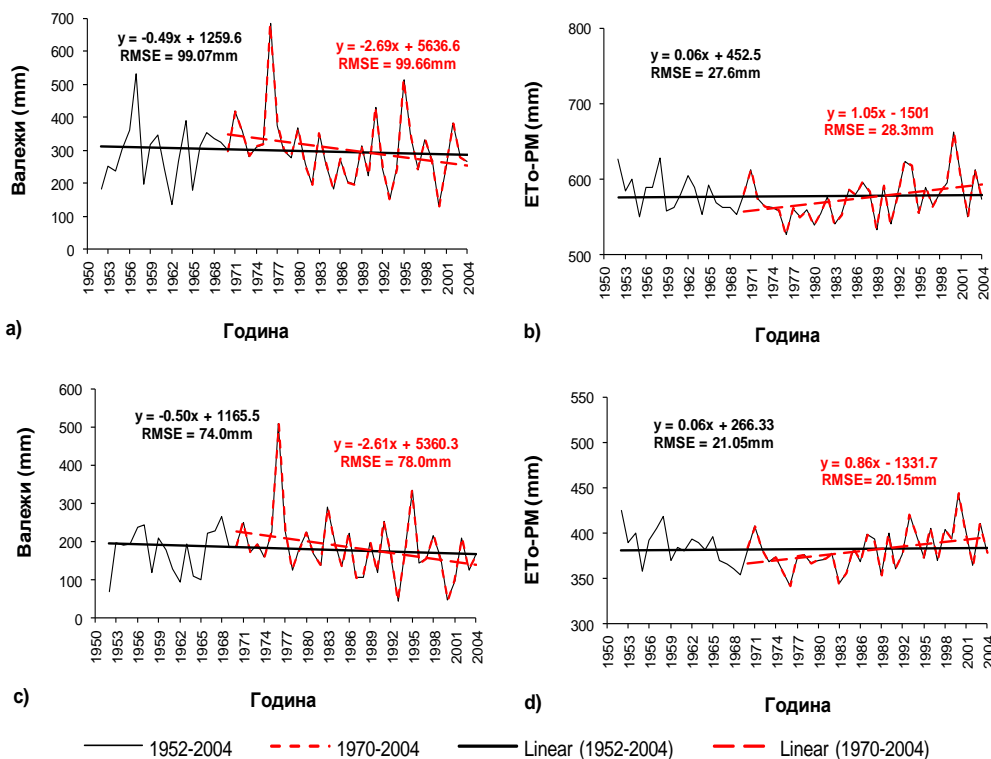


**Фиг. 1.** Месечни суми на валежите  $R$  (mm) за средна (с обезпеченост на валежите  $P = 50\%$ ), влажна ( $P = 10\%$ ) и суха ( $P = 90\%$ ) година (а) и еталонна евапотранспирация ( $E_{To-PM}$ ) (mm day<sup>-1</sup>) за година със средна ( $PE_{To} = 50\%$ ), висока ( $PE_{To} = 10\%$ ), и ниска изпаряемост на атмосферата ( $PE_{To} = 90\%$ ) (б), май-септември, 1952 – 2004 г.

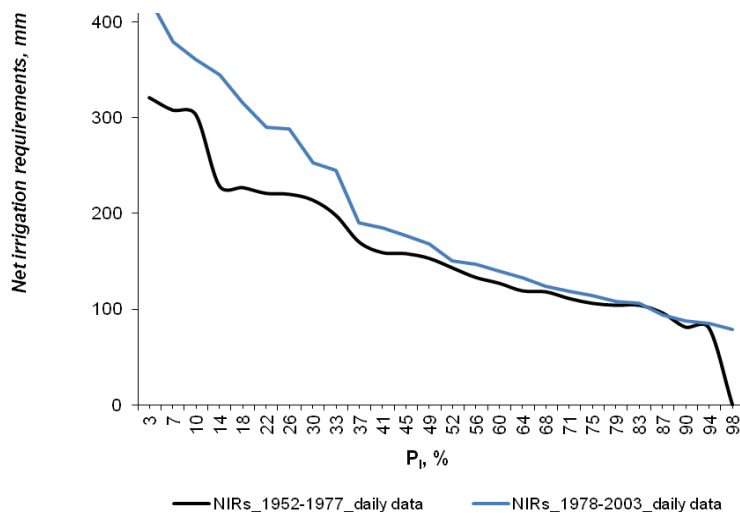
Еталонната евапотранспирация ( $E_{To-PM}$ ) е определена с уравнението на Penman-Monteith [16] чрез предложената методология за изчисляване на  $E_{To}$  от максималната и минималната температури на въздуха, валидирана за Софийското поле [1, 17]. Еталонната евапотранспирация в Софийско (фиг. 1б) достига своя максимум ( $4,7 \text{ mm day}^{-1}$ ) през месец юли, в годините с обезпеченост  $PE_{To} = 10\%$ . За разлика от валежите,  $E_{To}$  се колебае в значително по-тесни граници през годините, като разликата между  $E_{To}$  в годините с висока и средна изпарителна способност на атмосферата ( $PE_{To} = 10\%$ ;  $PE_{To} = 50\%$ ) варира между  $0,3$  и  $0,5 \text{ mm day}^{-1}$  (фиг. 1б).

Въпреки по-горе изложените факти, засушаване е установено и в изследвания земеделски район [1, 10, 18]. От приложения тест за периодите 1952 – 2004 г. и 1970 – 2004 г. е установена тенденция към намаляване на валежите „май-септември“ с  $2,7 \text{ mm}$  на година през периода на съвременния климат (фиг. 2а). От фиг. 2б се вижда, че през последните 35 години изпарителната способност на атмосферата се увеличава с  $1 \text{ mm/yr}^{-1}$ , което показва нарастване на нуждите от напояване с  $35 \text{ mm}$  през периода на съвременен климат 1970 – 2004 г.

По отношение на поливния сезон са установени подобни тенденции към намаляване на валежите с  $2,61 \text{ mm}$  на година и увеличаване на еталонната евапотранспирация с  $0,86 \text{ mm}$  на година при условията на климат, близък до съвременния (1970 – 2004 г.) (фиг. 2с и 2д).



**Фиг. 2.** Валежи и еталонна евапотрансирация (ЕТо-РМ) през вегетационния (1/05-30/09) (а) и б) и през поливния (1/06-30/08) (с) и (d) сезон на царевцата, София, 1952 – 2004 г. — , средно за 3 г., — — тренд за периода 1952 – 2004 г., — — тренд за периода 1970 – 2004 г.



**Фиг. 3.** Сравняване на кривите на обезпеченост на нетната напоителна норма NIR, mm, изчислени с всички необходими ежедневни данни за климата през периода на минал 1952 – 1977 г. и настоящ 1978– 2003 г. климат

Идентичният процент, с който намаляват валежите, и през вегетационния и през поливния сезон показва, че изменението се дължи основно на промените в климатичните условия (намаляване на валежите) през поливния сезон юни-август.

Установените тенденции неминуемо водят до промени в нетните напоителни норми. На фиг. 3 са сравнени нетните напоителни норми (NIRs, mm) за периодите 1952 – 1977 г. и 1978 – 2003 г. Вижда се, че влиянието на климатичните промени е най-голямо през сухите с обезпеченост  $P_1 \leq 12\%$  и средно сухи ( $P_1 = 12 - 30\%$ ) години, когато нетните напоителни норми са нараснали съответно с 60 – 115 mm и 40 – 100 mm. През средните години ( $P_1 = 30 - 65\%$ ) напоителните норми са се увеличили с от 10 до 40 mm.

Трябва да се отбележи и фактът, че дори през най-влажната година, с обезпеченост 98% е необходима напоителна норма от около 100 mm при условията на съвременния климат (1978 – 2003 г.) за разлика от тези при миналия климат (1952 – 1977) (фиг. 3).

Смолницата (Vertisol soil) е характерна почва за Софийско поле и в частност в опитно поле Божурище, където са проведени експериментите. Тя се характеризира като слабопропусклива с лекоглинест механичен състав [19]. Смолниците се характеризират с високо съдържание на монтморилонитови минерали (над 20% в почвата и два пъти повече от останалите минерали) както и на вермикулит, което в съчетание обуславя слабата им пропускливост в дълбочина на хоризонта и склоността към напукване на повърхностния слой на почвата [1; 20]. Високата им водозадържаща способност и висок използваем воден запас TAW = 180 mm m<sup>-1</sup> за почвен слой от 1,00 m, в който са разположени корените на царевичата, предполагат че предполивната влажност при тези почви трябва да се поддържа над 85% от ППВ с цел да се избегне появата на пукнатини и преференциални потоци, които водят до съществена неравномерност в напояването [21].

**Таблица 1. Механичен състав и хидравлична проводимост на почвата при насищане (Ksat), ОП Божурище, Софийско поле (22)**

Опитно поле	Хоризонт	Дълбочина, cm	Почвени частици с размер в mm, % (ФАО, 1990)			Почвени частици с размер в mm, % (Качински, 1958)		Ksat cm/ден
			глина < 0,002 mm	прах 0,002 – 0,05 mm	пясък 0,05 – 2,00 mm	физ. глина < 0,01 mm	ил < 0,001 mm	
Божурище	A1	0 – 45	54	33	13	70,0	53,1	0,63
	A2B1	45 – 100	63	27	10	73,8	58,2	0,63

## 2.2. Параметри на културата и симулационен модел

За изчисляване на евапотранспирацията и нетните напоителни норми на царевичата е приложен симулационният модел на поливния режим и балансът на водата в почвата WinISAREG [14]. Използвани са входни данни за валежите и еталонната евапотранспирация, която е изчислена по обновената методология, предложена от Allen et al. (1998).

Почвата е представена като многослоен профил, за който използваемият воден запас е изчислен като разлика между ППВ и ВЗ за всеки слой почва от коренообитаемата зона 1,00 m.

Симулациите за изменението на водата в почвата при разглежданите режими са осъществени с калибрираните и валидирани за Софийско поле и почва Смолница дати на настъпване на фенофазите, коефициенти на културата  $K_c$  и степен на изчерпване на общия воден запас  $p$  без предизвикване на стрес, дадени в таблица 2 [15].

**Таблица 2. Дати, ограничаващи фазите на развитие на царевица, коефициенти  $K_c$  и  $p$ , Смолиница, ОП Божурище, София, 2004 г.**

Фаза на развитие	Начално развитие	Ускорено развитие	Пълна зрелост
Дата	05/05 до 06/06	01/08 до 01/09	20/10
$K_c$	0,40	1,28	0,6
$p$	0,46 – 0,75	0,6	0,78

Стойностите на коефициента на културата по основните фази на развитие на растението са установени чрез полски експерименти, проведени на ОП Божурище през периода 2003 – 2005 г.

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  $K_c$  ( $ET_{max} = K_c ET_o$ ) [23].

Въздействието на водния стрес върху добива е оценено чрез еднофазовия модел на Stewart ( $1 - Y_a/Y_{max} = K_y(1 - ET_a/ET_{max})$ ), когато факторът на добива  $K_y$  е предварително известен [24]. При неполивна царевица са разгледани един средно ранен хибрид (*Пионер Р37-37*) с фактор на добива  $K_y = 1,0$  [25, 26], и един късен, чувствителен на воден стрес хибрид (*H708*) с  $K_y = 1,6$  [27]. При поливните режими с умерен воден стрес е използван фактор на добива  $K_y = 1,21$ , експериментално установен от Mladenova and Vurlev (2007) за средните климатични години при средно ранни хибриди подходящи за отглеждане в Софийско поле.

Моделът WinSAREG е приложен и за разработване на поливни режими при различна предполивна влажност и поливна норма и оценка на тяхното въздействие върху добивите. Поливките се подават при приета граница на изчерпване  $MAD$  на общия използваем воден запас  $TAW$  (Total Available Water) и експериментално установени поливни норми при гравитачно напояване и дъждуване [28 ÷ 31]. Режимите 1 и 3 се прилагат при повърхностно напояване, като режим 1 допълва влажността на почвата до ППВ, докато при режим 3 се оставя част от резервоара незапълнен с цел по-добро усвояване на валежите. Режим 2, с по-малки и чести поливки, се прилага при напояване чрез дъждуване.

*Режим 1* приема степен на изчерпване на водата в почвата  $MAD = 0,50$ , т.е. до 82% от **ППВ**, и поливна норма 90 mm, измерена експериментално при напояване по бразди с непрекъснато подавани струи (фиг. 6a).

*Режим 2* се отнася за случая на допълване на почвения резервоар до **ППВ**, приемайки предполивна влажност 88% от **ППВ**, отговаряща на  $MAD = 0,33$ , и поливни норми от 60 mm, прилагани при импулсно напояване с цел намаляване на неравномерността на разпределение и на попитата норма (фиг. 6b).

*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 82 % от  $TAW$ , приемайки  $MAD = 0,50$  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. 6c).

*Режим 4* представлява култура без напояване.

Симулациите на поливните режими са осъществени с пълен набор от необходими ежедневни данни, включващи максимална и минимална температура на въздуха  $T_{max}$  и  $T_{min}$ , среднодневни стойности за относителна влажност на въздуха и скорост на вятъра

на 2 m височина и валежи за периода 1952 – 2007 г. (Метеорологични годишници 1952 – 1980, Метеорологични месечници 1981 – 1984 [32, 33] и данни НИМХ 1984 – 2007). Сумарната слънчева радиация  $R_S$  е изчислена по метода на температурните разлики, който се основава на факта, че разликата между максималната и минималната температура дава най-близка оценка за действителната слънчева радиация на района [16]. Използван е установеният, като най-подходящ за Софийско поле [17], коефициент на пропорционалност  $K_{rs} = 0,16$ .

### 3. Резултати и дискусия

#### 3.1. Добиви и необходимост от напояване при променящия се климат

На фиг. 4 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 една по дълга редица от 53 години (1952 – 2004 г., фиг. 4а) и за периодите на настоящ (1970 – 2004 г., фиг. 4б) и минал (1952 – 1984 г., фиг. 4с) климат. За изчисляването им са използвани данни за средно месечните стойности на еталонната евапотранспирация  $E_{To-PM}$  и месечните суми на валежите, както и калиброваните параметри на моделиране за почвата и културата, валидирани за климатичните условия в Софийско поле (табл. 1 и 2).

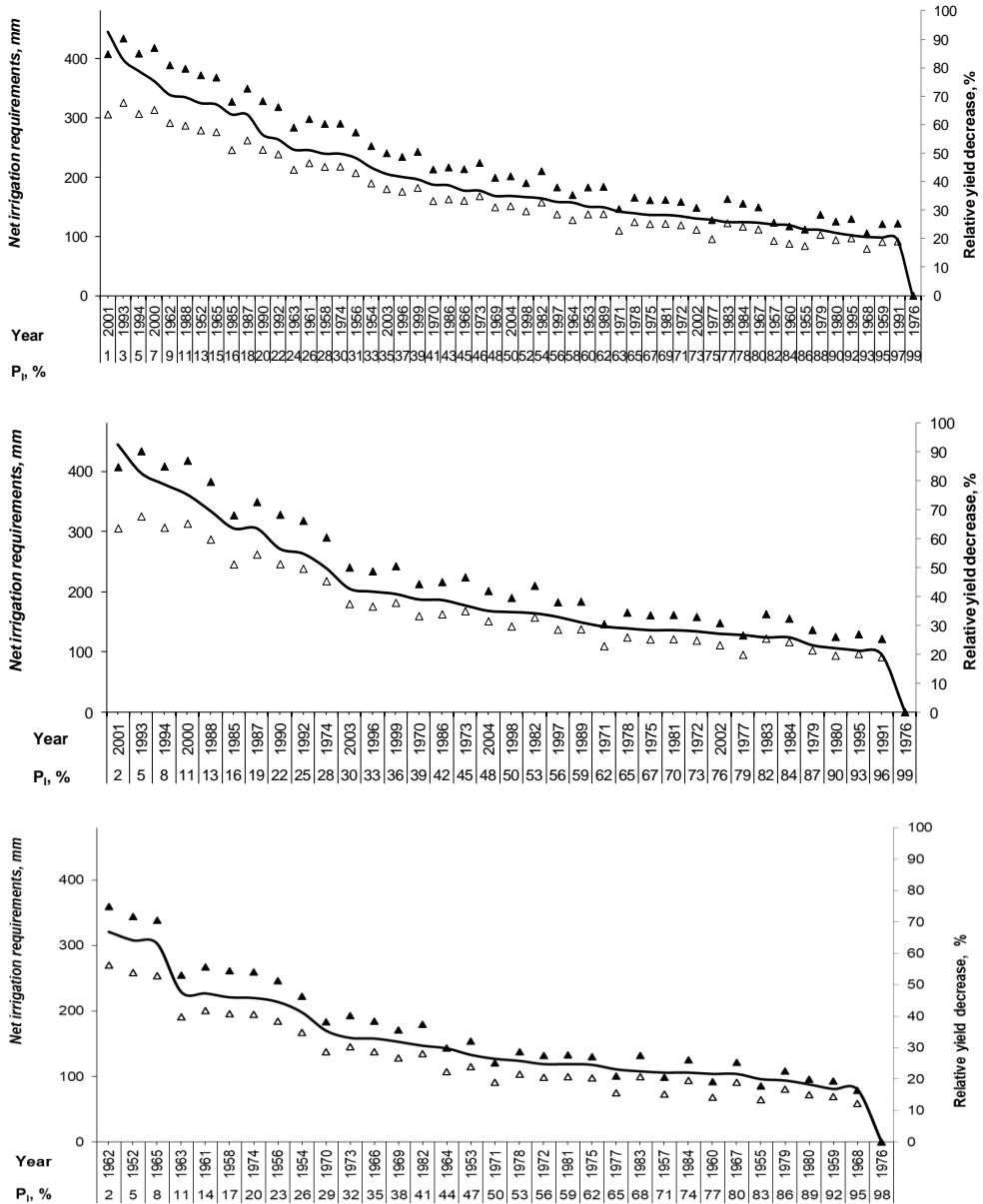
При сравняване на години с различна обезпеченост през периодите 1970 – 2004 г. и 1952 – 2004 г. се вижда, че сухите (2001, 1993, 1994, 2000, 1988, 1985) с обезпеченост на напоителната норма  $PI < 16\%$ , средно-сухите (1987, 1990, 1992, 1974, 2003) с  $PI = 20 - 40\%$ , средните (1973, 2004, 1998) с  $PI = 40 - 60\%$ , средновлажните с  $PI = 60 - 75\%$  и влажните с  $PI \geq 80\%$  години имат идентични обезпечености на напоителните норми през двата периода (фиг. 4а и 4б). Следователно необходимите напоителни норми и относителните загуби на добив от неполивна царевица са практически еднакви през двата периода.

Когато обаче се сравни периодът на минал климат 1952 – 1984 и дългата редица от 53 години (1952 – 2004 г.) се вижда, че обезпечеността на напоителните норми намалява от 9% на 2% през екстремно сухата 1962, от 30% на 20% през средно сухата 1974, от 46% на 35% през средната 1973 г. (фиг. 4а и 4с). Тези промени са отражение на промените в климатичните условия, които показват, че настъпващото засушаване през съвременния климат води до увеличаване на необходимите нетни напоителни норми и загуби на добив от неполивна царевица, особено през средните и средно-сухите години (фиг. 4б и 4с).

На фиг. 4б и 4с са показани и симулираните нетни напоителни норми и съответните относителни загуби на добив от неполивна царевица, изчислени с пълен набор от необходимите метеорологични данни за периода 1952 – 1984 и 1970 – 2001. Вижда се, че само през най-влажната година ( $P_I = 98\%$ ) няма необходимост от напояване и съответно загуби на добив. През периода на настоящ климат нетната напоителна норма е по-висока с около 20 – 30 mm през останалите влажни години ( $P_I = 65 - 95\%$ ), 20 – 35 mm през средните ( $P_I = 30 - 65\%$ ), 45 – 100 mm през средно-сухите ( $P_I = 12 - 30\%$ ) и 100 – 120 mm през най-сухите ( $P_I < 8\%$ ) години.

Вследствие на водния стрес относителните загуби на добив през настоящия климат за завишени с около 10% и при двата хибрида неполивна царевица. Вижда се, че когато се отглежда късният хибрид Н708 неполивна царевица, и през двата периода загубите на добив са по-високи от тези при по-устойчивия на засушаване средноранен

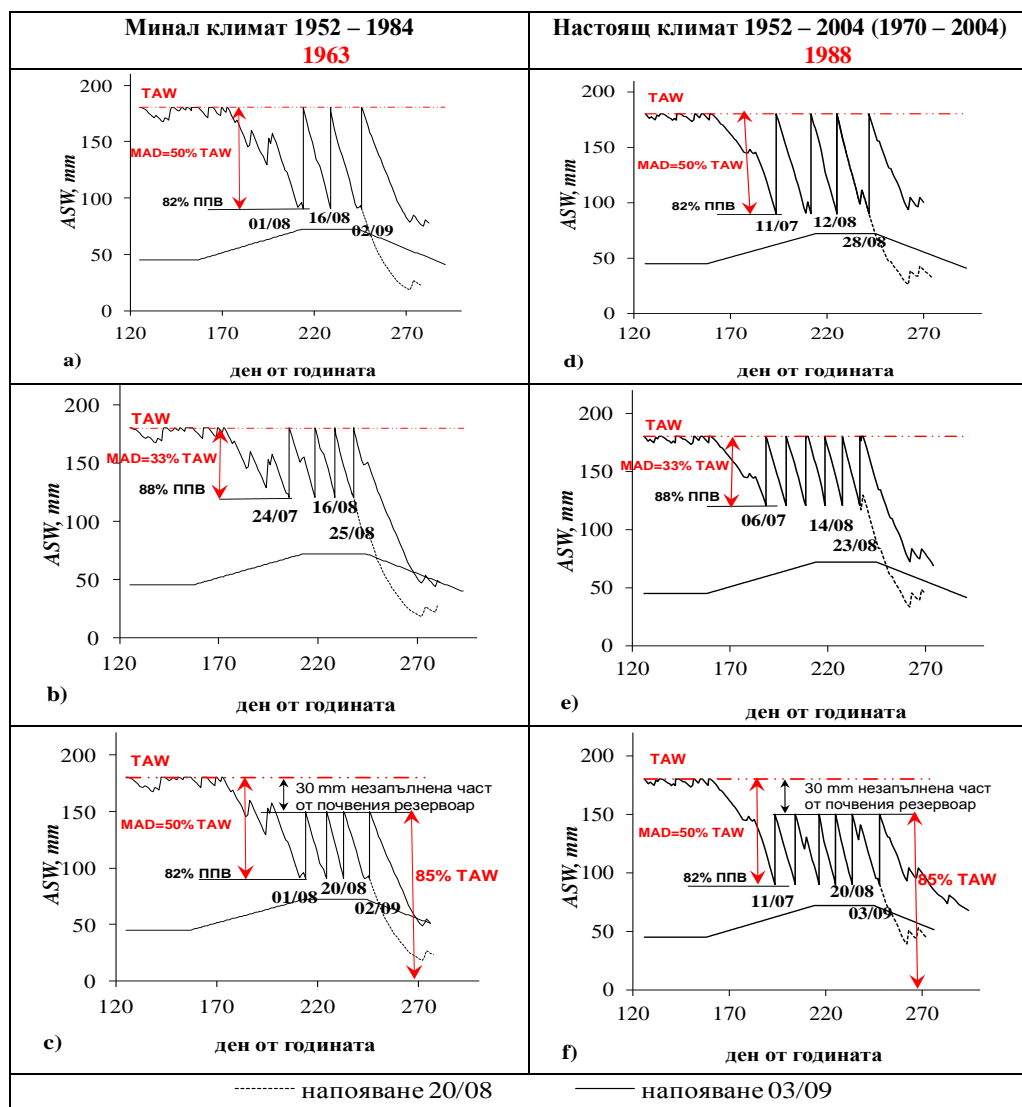
хибрид Кп-2L-611 с около 10% през влажните, до 15% през средните и до 20% през сухите и екстремно сухите години. Следователно е препоръчително отглеждането на устойчивите към засушаване средно-ранни хибриди царевица в Софийско поле.



**Фиг. 4.** Криви на обезпеченост на нетната напотелна 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* (▲), *Ky* = 1,6, хибриди, изчислени с всички необходими ежедневни данни за три периода: а) 1952 – 2004 г.; б) 1970 – 2004 г. и в) 1952 – 1984 г.



### 3.2. Оценка на поливните режими през миналия 1952 – 1984 г. и настоящия 1970 – 2004 г. климат

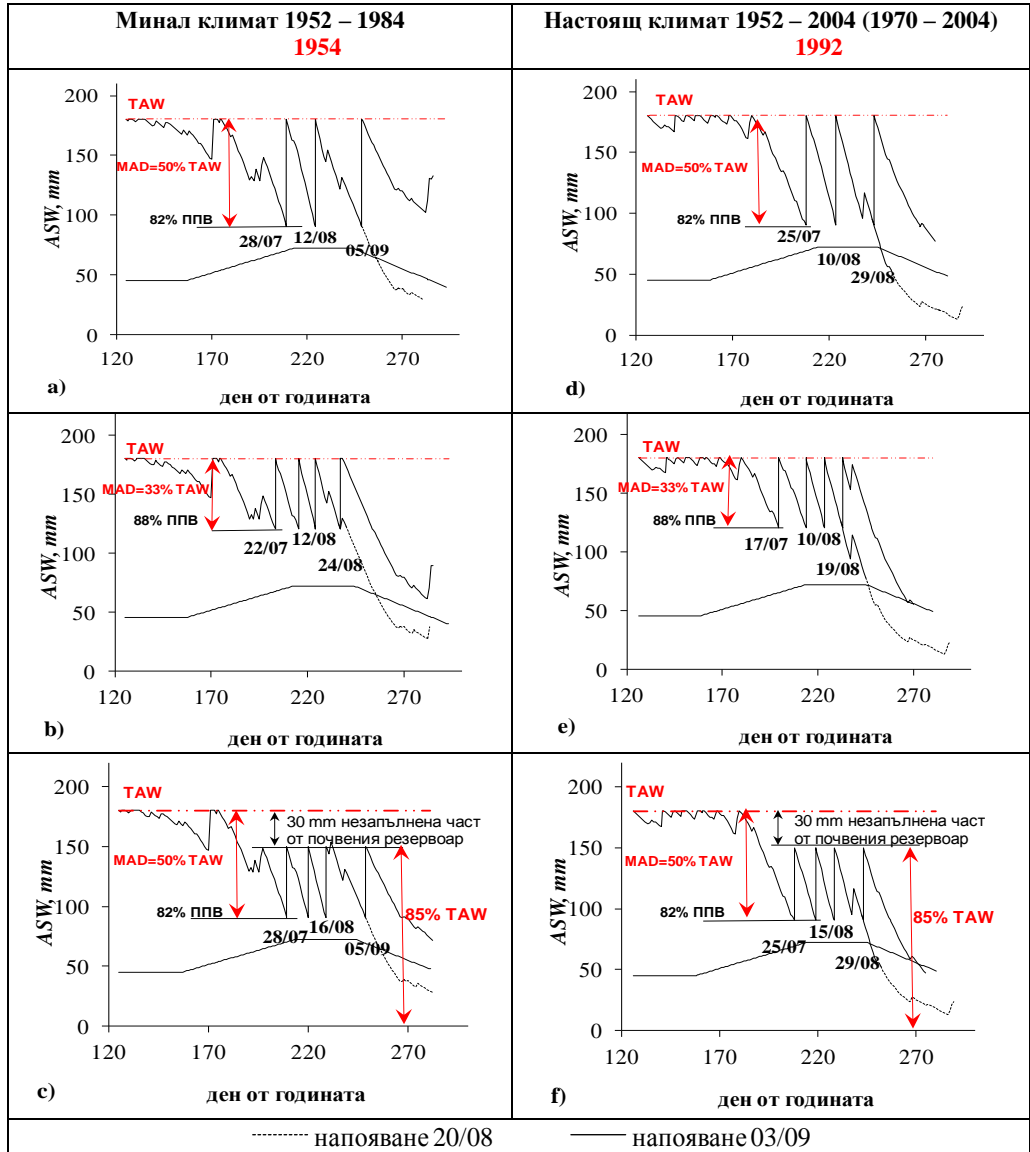


Фиг. 5. Наличен използваем воден запас ASW при три поливни режими за сухите 1963 и 1988 г. ( $P_I = 11 - 13\%$ ) от периодите 1952 – 1984 г. и 1952 – 2004 г. (1970 – 2004 г.): а) и d) режим 1; б) и е) режим 2; и с) и f) режим 3; Хоризонталната пунктирна линия отговаря на водния запас в коренообитаемата зона при ППВ ( $TAW$ , mm), а най-ниската начупена линия е оптимална граница на изчерпване без воден стрес ( $OYT^{**}$ )

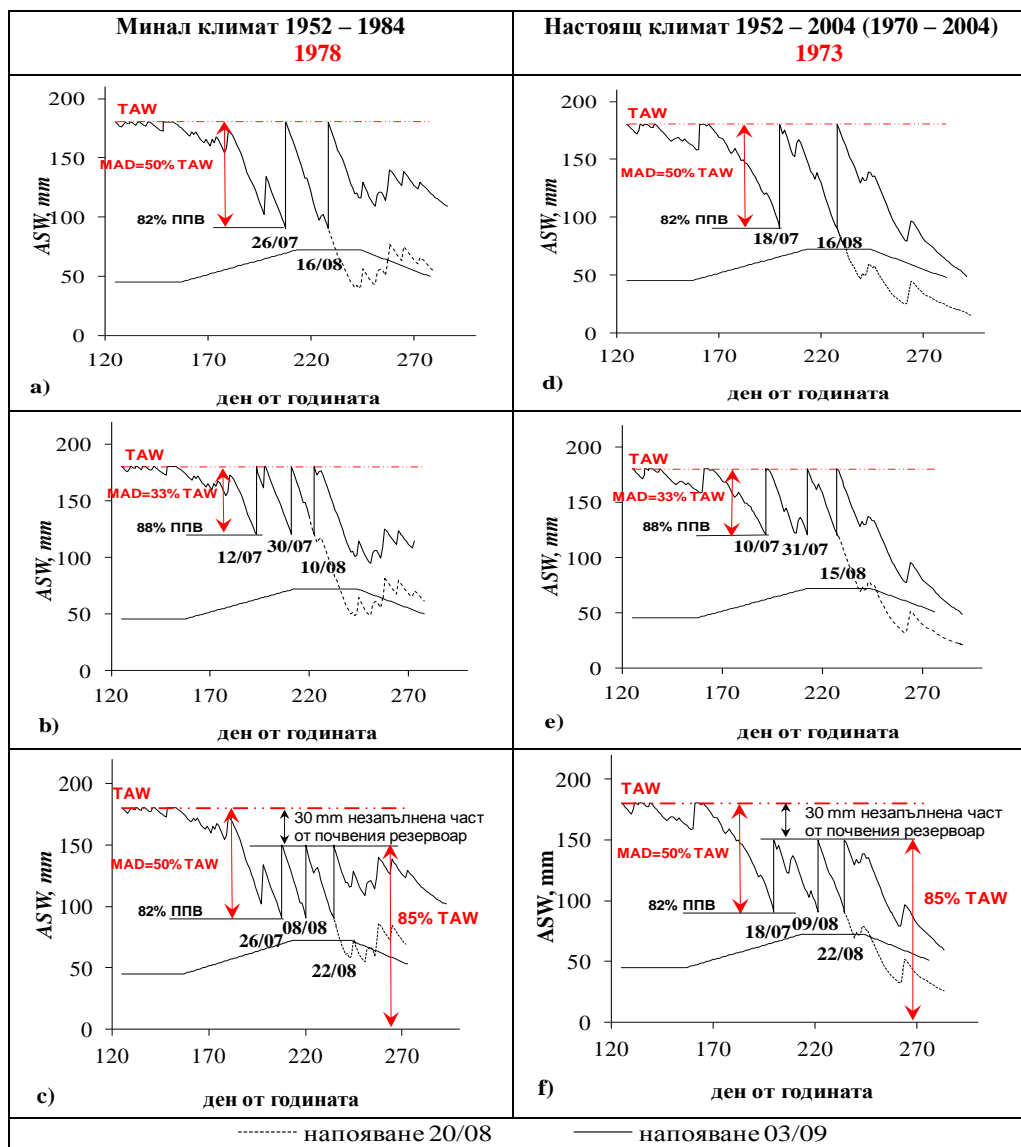
На фиг. 5а, 5б и 5с са сравнени симулираните изменения на наличния използваем воден запас (ASW, mm) при поливните режими 1, 2 и 3 за сухата 1963 година ( $P_I = 11\%$ , фиг. 4с) от периода на миналия климат 1952 – 1984 г. Вижда се, че напояване до 02/09 (плътна линия) с напоителни норми от 270, 240 и 240 mm осигурява влагозапасеност на

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

почвата през фазата „ускорено развитие“, с най-голяма необходимост от вода, без загуби на добив. Преустановяването на поливния сезон до 20/08 (пунктирна линия) води да намаляване на броя на поливките с една и при трите режима и загуби на добив 8,7, 9,0, 8,7% съответно при режимите 1, 2 и 3. В този случай датата за подаване на последна поливка (20/08) е близка до установената (11/08) от Захариев и кол. (1986), но напоителните норми са по-ниски от публикуваните (300 mm) през 1986.



Фиг. 6. Наличен ползваем воден запас  $ASW^1$  при три поливни режима за средно сухите 1954 и 1992 г. ( $P_I = 25\%$ ) от периодите 1952 – 1984 г. и 1952 – 2004 (1970 – 2004 г.): а) и d) режим 1; б) и е) режим 2; и с) и f) режим 3; Хоризонталната пунктирна 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 ( $OYT^2$ )



**Фиг. 7.** Сравнение на наличния използваем воден запас (ASW) при три поливни режима за средните 1978 и 1973 г. ( $P_I = 50\%$ ) от периодите 1952 – 1984 г. и 1970 – 2004 г.: а) и d) режим 1; б) и е) режим 2; и с) и ф) режим 3; Горизонталната пунктирна 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

През сухата 1988 година ( $P_I = 11\%$ ) от настоящия климат през поливния сезон напояването започва с около 20 дни по-рано и при трите режима и завършва приблизително по едно и също време, а поливките се увеличават с една при режимите 1 и 3 и с две при режим 2. При подаване на последна поливка до 20/08, оптималният влагозапас спада в края на вегетационния сезон, при прибиране на реколтата, и води до загуби на добив от 8,8, 5,7, 3,8% съответно при режимите 1, 2 и 3. За прецизно напояване, без загуби на добив, напояването следва да завършва по-късно, на 03/09 (пътна линия) при реализиране на още

една/две поливки. През сухите години на миналия климат напояването започва около 01/08, докато при съвременните климатични условия стартовата дата е около 10/07.

През средносухите 1954 и 1992 години ( $P_1 = 25\%$ ), съответно от миналия и настоящия климат за получаване на максимални добиви би следвало да се полива до 03/09 (плътна линия, фиг. 6). Броят на поливките и при трите режима е идентичен за двата разглеждани периода, като водоспестяващи са режимите 2 и 3 с напоителни норми от 240 mm за разлика от режим 1, при който са нужни 270 mm поливна вода. За разлика от средносухата 1954 за миналия климат, през 1992 от настоящия климат напояването започва една седмица по-рано. При отмяна на една поливка напояването ще приключва до 20/08 със загуби на добив до 5% през 1954 г. и до 13% през 1992 г. и при трите поливни алтернативи. През средносухата година от настоящия климат се наблюдава известно отместване на поливния сезон, който започва и приключва няколко дни по-рано (фиг. 6, табл. 3). Също така при условията на настоящия климат се увеличава използваемостта на водните запаси (фиг. 6, табл. 3).

През годината със средна напоителна норма ( $P_1 = 50\%$ ) за миналия (1978 г.) и за настоящия (1973 г.) климат, напояването с цел максимален добив приключва до 22/08 с идентични напоителни норми от 180 mm при трите режима и през двата разглеждани периода (фиг. 7). При режимите 1 и 2 напояването приключва дори до 16/08 и тези резултати са близки до публикуваните (11/08) от Захариев и др., 1986. За режим 3 крайната дата за напояване е 22/08 и през двата периода. Приключване на напояването до по-ранна дата (09/08) с отмяна на една поливка би довело до щети от загуби на добив до 7% за периода на миналия климат и до 15% за периода на настоящия климат. Напояването при режимите 1 и 3 започва една седмица по-рано при настоящите климатични условия в сравнение с тези през 1952 – 1984.

**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, средносуха и суха година от периодите 1952 – 1984 и 1952 – 2004/1970 – 2004 г. Напояване до 03/09 за сухите, до 03/09 за средносухите и до 02/08 за средните години**

Климат/Climate conditions	Суха година ( $P_i = 0 - 10\%$ )							
	Минал климат 1952 – 1984				Настоящ климат 1952 – 2004			
	Напояване до 03/09							
Година/Year	1963				1988			
$P_f$ , %, 1952 – 2004	24%				9%			
$P_f$ , %, 1952 – 1984	11%				8%			
Валежи/ май-септ., mm	267				197			
Валежи/ юли-авг., mm	90				18			
Нетни напоителни норми, mm	246				334			
Поливни режими	1	2	3	4	1	2	3	4
Напоителни норми, mm	270	240	240	0	360	360	300	0
Брой на поливките	3	4	4	0	4	6	6	0
Евапотранспирация на културата (E <sub>Ta</sub> ), mm	579	577	578	353	593	593	586	309
Неизползвани валежи, mm	79	79	79	79	55	73	55	55
Остатъчни водни запаси, mm	81	50	52	24	69	47	68	18
RYD, % когато $K_u = 1,21$	0	0,3	0,2	46	0	0	0	58
RYD, % когато $K_u = 1,2$				38				48
RYD, % когато $K_u = 1,6$				60				77

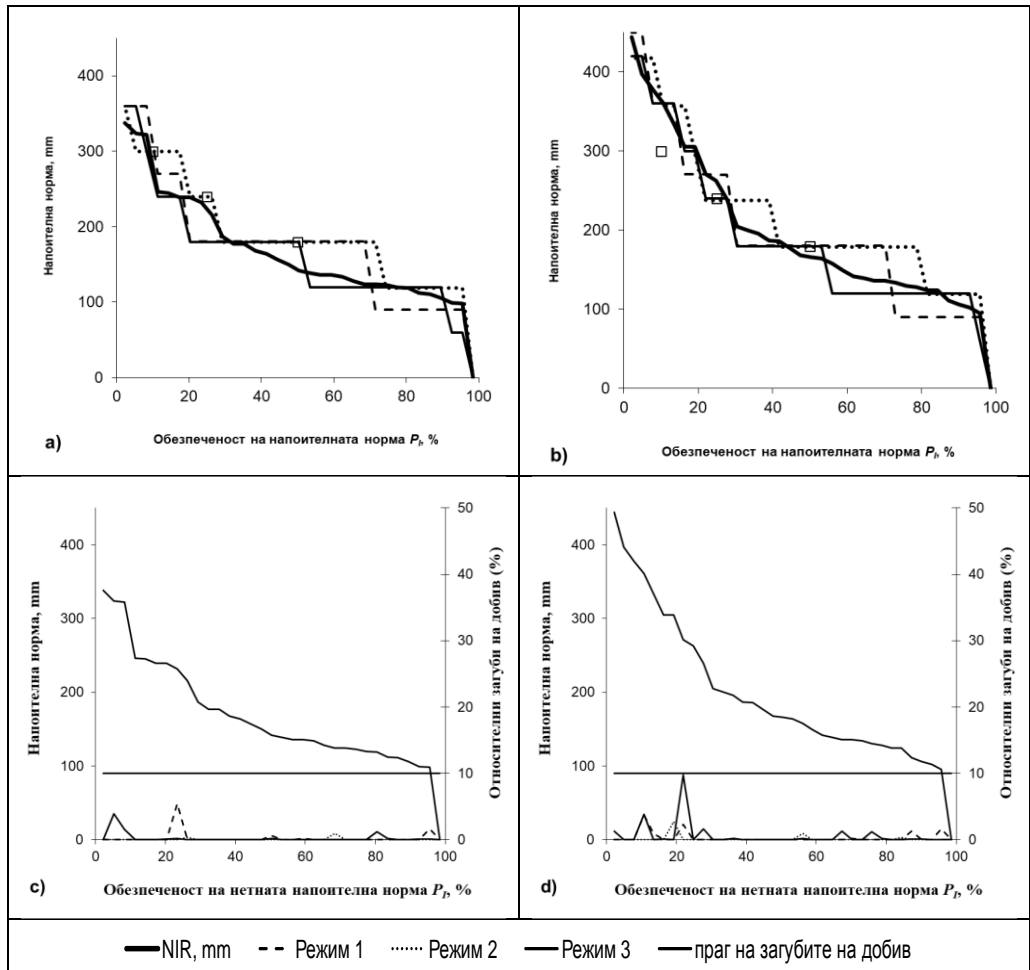
Климат/Climate conditions	Средносуха година ( $P_i = 20 - 40\%$ )							
	Минал климат 1952 – 1984				Настоящ климат 1952 – 2004			
	Напоояване до 05/09							
Година/Year	<b>1954</b>				<b>1992</b>			
$P_f$ %, 1952 – 2004	33%				22%			
$P_f$ %, 1952 – 1984	26%				25%			
Валежи/ май-септ., mm	236				311			
Валежи/ юли-авг., mm	87				64			
Нетни напоителни норми, mm	216				239			
Поливни режими	1	2	3	4	1	2	3	4
Напоителни норми, mm	270	240	240	0	270	240	240	0
Брой на поливките	3	4	4	0	3	4	4	0
Евапотранспирация на културата (E <sub>Ta</sub> ), mm	548	548	548	368	553	544	546	324
Неизползвани валежи, mm	48	57	48	48	67	67	67	67
Остатъчни водни запаси, mm	142	101	112	52	59	34	35	17
RYD, % когато $K_u = 1,21$	0	0	0	40	0	0	0	50
RYD, % когато $K_u = 1,2$				33				41
RYD, % когато $K_u = 1,6$				53				66

Климат	Средна година ( $P_i = 50\%$ )							
	Минал климат 1952 – 1984				Настоящ климат 1952 – 2004			
	Напоояване до 22/08							
Година	<b>1978</b>				<b>1973</b>			
$P_f$ %, 1952 – 2004	65%				46%			
$P_f$ %, 1952 – 1984	53%				35%			
Валежи май-септември, mm	301				281			
Валежи юли-август, mm	63				89			
Нетни напоителни норми, mm	139				177			
Поливни режими	1	2	3	4	1	2	3	4
Напоителни норми, mm	180	180	180	0	180	180	180	0
Брой на поливките	2	3	3	0	2	3	3	0
Евапотранспирация на културата (E <sub>Ta</sub> ), mm	508	508	508	399	512	512	512	383
Неизползвани валежи, mm	45	59	45	45	78	78	78	78
Остатъчни водни запаси, mm	102	87	102	31	43	41	43	16
RYD, % когато $K_u = 1,21$	0	0	0	26	0	0	0	35
RYD, % когато $K_u = 1,2$				22				29
RYD, % когато $K_u = 1,6$				35				47

От фиг. 5, 6 и 7 може да се заключи, че за Софийско поле очаквано най-голямо е влиянието на климатичните промени през сухите години, когато е необходима още една поливка при режимите 1 и 3 и две поливки при режим 2. През средносухите години водоспестяващи са режимите 2 и 3, а последната поливка при настоящите условия е необходима с около една седмица по-рано в сравнение с периода на минал климат.

Необходимите напоителни норми (*Irrigation demands, I<sub>D</sub>s, mm*) за царевица, отглеждана на смолница ( $TAW = 180 \text{ mm m}^{-1}$ ) при три поливни режима, са симулирани за

периодите 1952 – 1984 г. и 1970 – 2004 г. чрез приложение на валидирания модел WinISAREG с пълна база от необходимите климатични ежедневни данни (фиг. 8а и 8б). Те са сравнени със съответните изчислени нетни напоителни норми (*Net Irrigation Requirements, NIR, mm*), както и с емпирично установените напоителни норми, отнасящи се за почви с  $TAW = 170 \text{ mm m}^{-1}$  на Захариев и кол. 1986 (фиг. 8а). При моделните симулации, аналогично на Захариев и кол., дълбочината на коренообитаемата зона е приета за 1 m.



**Фиг. 8 Напоителни норми, mm, (а и б) и относителни загуби на добив  $RYD$ ,%, ( $K_y = 1,21$ ) (с и d) при режимите 1, 2 и 3 в зависимост от обезпечеността на нетната напоителна норма  $P_r$ , изчислени за всяка година от 1952 – 1984 г. и 1970 – 2004 г. с всички необходими ежедневни данни за климата**

Изследването показва, че за периода на минал климат напоителните норми при режимите 1, 2 и 3 са близки до нетните при напояване до 12/09 през сухите години ( $P_r < 12\%$ ) и до 25/08 през останалите години с обезпеченост  $P_r < 98\%$ . Напоителните норми при режим 3, който позволява по-голяма степен на изчерпване на водата и по-добро акумулиране на валежите в коренообитаемата зона, в сравнение с алтернативите 1 и 2, са най-близки до нетните норми *NIR*, като водят до 60 mm икономия на вода през

средносухите ( $P_I = 12 - 30\%$ ) и средни години с обезпеченост  $P_I = 50 - 70\%$  (фиг. 8а). Алтернатива 2 води до най-високите напоителни норми по отношение на другите две и в по-голямата си част на ниво на обезпеченост те са над нетната норма *NIR*. Режим 1 спестява от 30 до 60 mm през средносухите години. През сухите и средните години напоителните норми при трите алтернативни режима са близки до публикуваните норми в книгата на Захариев и кол. (1986), докато през средносухите сезони това важи само за традиционния режим 2, като режимите 1 и 3 водят до по-ниски напоителни норми с 60 mm (фиг. 8а).

През периода на настоящ климат нетните норми са значително по-високи, като напоителните норми при режим 3 отново са най-близки до нетните и спестяват от 30 до 60 mm вода през средно сухите, средните и средновлажните години. През сухите години напоителните норми при трите режима са от 660 до 100 по-високи от публикуваните норми в книгата на Захариев и кол. (1986), докато през средносухите и средните сезони те се колебаят около нетните и са близки до предложените в Захариев и кол. (1986).

На фигура 8с и 8d са сравнени съответните относителни загуби на добив, изчислени с фактор на добива  $K_u = 1,21$ , при трите поливни режима с прецизно напояване до 05/09 през сухите и средносухи сезони и до 22/08 през средните сезони. За периода на минал климат (1952 – 1984 г.) загубите на добив при режимите 1 и 3, за които е приет по-висок праг на изчерпване на използваемия воден запас на почвата ( $MAD = 0,50$ ) са средномногогодишно 0,24%, докато при режим 2 средните загуби са 0,04%. През сезоните с обезпеченост 15 – 98% практически няма загуби на добив. През периода на настоящ климат (1970 – 2004 г.) при режим 3, при който е оставен резервоар за акумулиране и използване на паднали валежи, се отчитат загуби на добив до 10% през някои от сухите години. Този факт онагледява настъпващото засушаване през вегетацията на царевичата.

## Изводи:

От симулираните поливни режими на царевича, отглеждана на Смолница в Софийско поле през периода 1952 – 2004 г. може да се заключи, че:

- 1) При условията на засушаване на съвременния климат нетните напоителни норми *NIR* и нормите при разглежданите поливни режими *IDs* са нараснали с 60 – 120 mm само през сухите години ( $P_I < 20\%$ ). През останалите средносухи (напр. 1963 и 1974 г.,  $P_I = 25\%$ ) и средни (напр. 1978 и 1973 г.,  $P_I = 50\%$ ) години от миналия и настоящия климат, напоителните норми *IDs* и *NIR* не се различават. Засушаването през средносухите години на съвременния климат се компенсира от по-ранното планиране на първата поливка.
- 2) Загубите на добив от неполивна царевича късни хибриди през средносухите години са в диапазон 35 – 55% и около 70% през сухите сезони, докато при сухоустойчивите и средноранните хибриди въздействието на засушаването е смекчено и загубите на добив не надвишават 55% през екстремно сухите години ( $P_I < 8\%$ ).
- 3) Симулациите на водоспестяващия и екологосъобразен режим 3 за условията на миналия климат водят до идентични резултати с публикуваните за средните и сухите години в книгата на Захариев и кол. Режим 3 също описва най-добре и колебанията на нетните напоителни норми при условията на „миналия“ климат (фиг. 8а). През средно сухите сезони традиционният режим 2 води до най-близки резултати до експерименталните. Адаптацията на разглежданите по-

- ливни режими към съвременните климатични условия изисква удължаване на поливния сезон с от 10 до 20 дни през сухите години (фиг. 5).
- 4) Адаптирането на поливните режими към съвременния климат **през сухите години** ( $P_I \leq 12\%$ ) се състои от удължаване на поливния сезон с 15 – 20 дни и в необходимостта от една допълнителна поливка при водоспестяващите режими 1 и 3 и от две поливки при режим 2.
  - 5) През **средносухите години** ( $P_I = 15 – 30\%$ ) напояването без загуби на добив следва да приключи до **05/09**, като при съвременния климат започва и завършва около една седмица по-рано. Режимите 2 и 3, в сравнение с режим 1, водят до спестяване на 30 mm поливна вода и през двата изследвани периода.
  - 6) През **средните години** ( $P_I = 30 – 65\%$ ) напояване с цел получаването на максимален добив води до еднакви напоителни норми от 180 mm и при трите режима с последна допустима дата за напояване **15/08** при режимите 1 и 2 и **22/08** при режим 3 и през двата изследвани периода.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Popova, Z.* Optimization of irrigation scheduling, yield and their environmental impacts by crop models. Synthesis of Dissert. Thesis for the Scientific Degree Doctor of Sciences. „N. Poushkarov” ISSAPP, Sofia, (2008). pp. 101 (Bg.).
2. *Ivanova, M., Popova, Z.* Impact of climate uncertainties and soil characteristics on rainfed maize yield and irrigation requirements in Sofia. Water Affairs, Sofia, (2014) 5/6:25-33. ISSN: 02045745 (Bg.).
3. *Popova, Z., Ivanova, M., Alexandrov, V.* Drought and reference evapotranspiration ETo-PM in Bulgarian plains – (1) Seasonal evolution and probability, Proceedings of Second scientific international conference „Theory and practice in Agriculture“, Undola, (2014) pp. 201-209 (Bg.).
4. *Popova, Z., Ivanova, M., Alexandrov, V., Doneva, K.* Drought and reference evapotranspiration ETo-PM in Bulgarian plains-2 Trend analyses. Proceedings of Second scientific international conference „Theory and practice in Agriculture“, Undola, (2014) pp. 210-218, (Bg.).
5. *Popova, Z., Ivanova, M., Martins, D., Pereira, L. S., Doneva, K., Alexandrov, V., Kercheva, M.* Vulnerability of Bulgarian agriculture to drought and climate variability with focus on rainfed maize systems, Natural Hazards, (2014) 74 (2):865-886 Springer Science+Business Media Dordrecht.
6. *Popova, Z., Ivanova, M., Pereira, L., Alexandrov, V., Kercheva, M., Doneva, K., Martins, D.* 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, (2015) 21 (No 1): 35-53.
7. *Popova, Z., Ivanova, M.* Comparison of rainfed maize yield and irrigation requirements in Bulgaria. In Risk assessment of drought in agriculture and irrigation management through simulation models (Popova (ed.), (2012), pp. 208-218 (Bg.).
8. *Koleva, E., Alexandrov, V.* Drought in the Bulgarian low regions during the 20th century. Theor. Appl. Climatol. (2008) 92, 113-120.
9. *Slavov, N., Koleva, E., Alexandrov, V.* The climate of drought in Bulgaria. In: Knight GG, Raev I, Staneva M (eds.) Drought in Bulgaria: a contemporary analog for climate change. Ashgate Publishing Limited, Aldershot, (2003) pp 39-52 (Bg.).



10. *Alexandrov, V.* (Ed.). Methods for monitoring and estimation of drought vulnerability in Bulgaria. National Institute of Meteorology and Hydrology and Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, (2011) pp. 216 (Bg.).
11. *Zahariev, T., Lazarov, R., Koleva, St., Gaidarova, St., Koichev, Z.* Raionirane na polivnia rejim na selskostopanskite kulturi. (Regional irrigation scheduling of agricultural crops), (1986) pp. 646. Zemizdat (Bg.).
12. *Kercheva, M., Popova, Z.* Impact of droughts on irrigation scheduling under maize in Sofia field. In Risk assessment of drought in agriculture and irrigation management through simulation models, Popova (ed.), (2012) pp. 101-108 (Bg.).
13. *Teixeira, J. L., Pereira, L. S.* ISAREG, an irrigation scheduling simulation model. in Crop Water Models, Special issue of ICID Bulletin, vol. 41, no. 2, L. S. Pereira, A. Perrier, M. Ait Kadi, and Kabat (guest editors), (1992) pp. 29-48.
14. *Pereira, L. S., Teodoro, P. R., Rodrigues, P. N., Teixeira, J. L.* Irrigation scheduling simulation: the model ISAREG, in Tools for Drought Mitigation in Mediterranean Regions, G. Rossi, L. S. Pereira, A. Zairi (Eds.) Kluwer, Dordrecht, (2003) pp. 161-18.
15. *Ivanova, M., Popova, Z.* Model validation and crop coefficients for maize irrigation scheduling based on field experiments in Sofia. In Risk assessment of drought in agriculture and irrigation management through simulation models (Popova (Ed.), 2012), pp. 29-39 (Bg.).
16. *Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M.* Crop Evapotranspiration – Guidelines for Computing Crop Water Requirements. Irrigation and Drainage Paper 56, FAO, Rome (1998).
17. *Ivanova, M., Popova, Z.* Validation of FAO-56 Methodology for computing ETo with missing climate data. Application to Sofia field. Agricultural science, (2011) vol. XLIV, №2, pp. 3-13 (Bg.).
18. *Иванова, М.* Оценка на агрономическия риск от суша и мелиоративни режими за смекчаване на последствията от нея при царевица. Дисертация за присъждане на образователната и научна степен доктор, (2013), стр. 197, ИПАЗР „Н. Пушкин“.
19. *Качинский, Н. А.* Механический и микроагрегатный состав почвы. Методы его изучения. Изд. Академии наук СССР, Москва, (1958) стр. 192.
20. *Boneva, K.* Study on soil characteristics related to calibration and use of „crop-water-yield” simulation models. In Risk assessment of drought in agriculture and irrigation management through simulation models (Popova (ed.), 2012), pp. 141-165 (Bg.).
21. *Popova, Z. (Ed.)*. Risk assessment of drought in agriculture and irrigation management through simulation models. (2012). pp. 244. ISBN 978-954-394-080-6 (Bg.).
22. *Донева, Е.* Характер и влияние на хидрофизичните свойства на почвата върху влагообмена в ненаситена почва. Дисертация за степен „кандидат на селскостопанските науки”, ВИСИ. София. (1976).
23. *Doorenbos, J., W. O. Pruitt.* Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 24. FAO, Rome, (1977) p. 144.
24. *Doorenbos, J., A. H. Kassam.* Yield Response to Water. Irrigation & Drainage Paper 33, FAO, Rome, (1979) 193 p.
25. *Popova, Z., Pereira, L.* Modeling for maize irrigation scheduling using long term experimental term experimental data from Plovdiv region Bulgaria. Agricultural Water Management, (2011) vol. 98, pp. 675-683.
26. *Mladenova, B., Varlev, I.* Impact of extreme climate years on relative „yield – wvapotranspiration” relationships. Journal of water and land development, (2007), № 11: 71-77.
27. *Попова, З., Иванова, М.* Валидация на фактора на добива Ку (FAO 56) при неполивна царевица. В Попова, З. ред, 2012, стр. 8-15.
28. *Popova, Z., R. Kuncheva.* Modeling in Water Losses Evaluation for Nonhomogeneous Furrow Set. (ASCE) Journal of Irrigation and Drainage Engineering, (1996) 122 (1):1-6.

29. Popova, Z., Varlev, I., Gospodinov, I. Surge irrigation as an environment friendly technology. Transactions of Regional European Conference of ICID, Varna, Bulgaria, (1994) 3 (48): 341-350.

30. Popova, Z., Varlev, I., Kutev, V., Ikononova, E. Irrigation and cropping techniques to prevent natural water pollution. 1st Inter-Regional Conf. „Environment – Water: Innovative Issues in Irrigation and Drainage, Lisbon,(1998) pp: 6-13.

31. Varlev, I., Popova, Z., Gospodinov, I. 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, (1998) pp. 131-140 (E&FN Spon-Routledge).

32. *Meteorological annual references of Sofia.* (1952-1980). Hydrometeorological service, Sofia (Bg.).

33. *Meteorological monthly references.* (1981-1984). Hydrometeorological service, Sofia, (Bg.).

34. Popova, Z., Kercheva, M., Pereira, L. S. Validation of the FAO methodology for computing ETo with limited data. Application to South Bulgaria. Irrig and Drain. (2006) 55, (1): 201-215.

## IRRIGATION SCHEDULING OF MAIZE GROWN ON VERTISOLS UNDER THE CHANGING CLIMATE IN SOFIA FIELD

M. Ivanova<sup>1</sup>, Z. Popova<sup>1</sup>

**Keywords:** irrigation scheduling, maize, Vertisols, climate change, WinIsareg model, water management, yield

### ABSTRACT

The purpose of this study is to evaluate the impact of climate uncertainties on maize irrigation requirements, grown on Vertisols in Sofia field. Through the validated WinIsareg model, four irrigation scheduling alternatives are simulated for the years of “very high”, “high” and “average” irrigation demands of past (1952 – 1984) and present (1970 – 2004) climate. Adaptation of irrigation scheduling to the present climate conditions during the “very dry” years ( $P_1 \leq 12\%$ ) consists of an extension of the irrigation season by 15 – 20 days and a need of additional irrigation relative to alternatives 1 and 3 and two irrigation events at alternative 2. During the past climate alternatives 2 and 3 lead to savings of 30 mm of water, while up to the current climate conditions the three irrigations alternatives should provide 360 mm irrigation water. To obtain maximum yields in “dry” ( $P_1 = 12 - 30\%$ ) years, irrigation season should end by 05/09, as in the present climate, irrigation season has shifted about a week earlier for the three alternatives. In the “average” ( $P_1 = 30 - 60\%$ ) years the adaptation consist in accurately determining the last date allowed for irrigation.

---

<sup>1</sup> Maria Ivanova, Chief Assist. Prof. Dr. Eng., Dept. “Physics, Erosion, Soil Biota“, ISSAPP “N. Poushkarov”, 7 Shosse Bankya St., Sofia 1331, e-mail: mulykostova@abv.bg

<sup>1</sup> Zornitsa Popova, Prof. DSc. Eng., Dept. “Physics, Erosion, Soil Biota“, ISSAPP “N. Poushkarov”, 7 Shosse Bankya St., Sofia 1331, e-mail: zornitsa\_popova@abv.bg