

АГРАРЕН УНИВЕРСИТЕТ – ПЛОВДИВ
ФАКУЛТЕТ ПО ЛОЗАРО-ГРАДИНАРСТВО
КАТЕДРА МЕЛИОРАЦИИ, ЗЕМЕУСТРОЙСТВО И АГРОФИЗИКА

НАДЯ СТОЯНОВА ХРИСТОВА

РЕГУЛИРАН ПОЛИВЕН РЕЖИМ

АВТОРЕФЕРАТ

**на дисертация за присъждане на образователна и научна степен „Доктор“, по
научна специалност: „Мелиорации“, професионално направление
6.1. Растениевъдство**

Научен ръководител:

Доц. д-р инж. Росица Меранзова

ПЛОВДИВ

2022

Опитът е проведен през периода 2020-2021 година, на Учебно-опитното поле в района на Аграрен университет, гр. Пловдив.

Дисертацията е написана на 142 страници и съдържа 46 таблици и 49 фигури. Цитираната литература включва 226 източника, от които 28 на кирилица и 198 на латиница.

Дисертационният труд е обсъден и предложен на заседание на разширен катедрен съвет на катедра „Мелиорации, земеустройство и агрофизика“, при Аграрен университет-Пловдив, проведен на 06.12.2022 год.

Защитата на дисертационния труд ще се състои наг. от часа в на факултета по Лозаро-градинарство при Аграрен университет – Пловдив на заседание на Специализираното научно жури, утвърдено с решение на ФС на факултета по Лозаро-градинарство, с Протокол № 26/13.12.2022 и назначено от Ректора на Аграрен университет със Заповед № РД-16-1308/19.12.2022 г., в състав:

Вътрешни членове:

1. Доц. д-р Радост Петрова Петрова – Председател
2. Проф. д-р Александър Тодоров Матев – Рецензент

Външни членове:

3. Проф. д-р инж. Куман Смилков Куманов – Рецензент
4. Проф. д-р Недко Кирилов Недков
5. Доц. д-р Румяна Крумова Кирева

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в библиотеката на Аграрен университет – Пловдив, бул. „Менделеев” № 12.

I. УВОД

Безспорно е, че при климатичните промени, напояването представлява основен фактор и ефективно средство за ограничаване или предотвратяване на стресовото въздействие на засушаването върху земеделските култури.

Регулираният поливен режим или режим в условия на воден дефицит е един от начините за увеличаване на ефективността на използването на водата, като по този начин се получават по-високи добиви от единица вода за напояване, растенията са изложени на определено ниво на воден стрес през определен етап от тяхното развитие или през целия вегетационен период.

Съвременните методи за микронапояване и по-специално – капковото напояване и микродъждуването, са доказали своята ефективност в поливната практика, като допринасят за по-икономичното и рационално използване на водните ресурси. Проследяването изменението на почвената влага е един от основните елементи при прилагането на регулиран поливен режим, съобразен със спецификата на растението и с необходимостта от икономично използване на водата.

Вследствие изменението на температурните и водни ресурси, се очаква през следващите години най-уязвими да бъдат пролетните селскостопански култури, особено тези отглеждани върху неполивни площи, както и тези които развиват голяма листна повърхност, а кореновата им система е плитко разположена, като салата.

В България, отглеждането на салата през пролетния и есенно-зимният период е много популярно, както върху открити площи, така и в култивационни съоръжения. Известно е, че тя е една от културите, които са най-чувствителни и податливи на воден стрес. В нашата страна не са извършвани изследвания върху поливния режим на салата, както и влиянието на водния дефицит върху нейната продуктивност, и реакцията на културата към условия на воден стрес. Това наложи разработването на настоящата тема, за да се определи и предложи в практиката, подходящата техника за напояване, която би довела до най-оправдания поливен режим на салата от икономическа и агрономична гледна точка.

II. ЦЕЛ И ЗАДАЧИ

Целта на настоящето изследване е оптимизиране на поливния режим, при капково напояване и микродъждуване върху продуктивността, евапотранспирацията,

параметрите на връзката „Вода – добив“, както и икономическата ефективност от приложението му върху салата сорт „Зимна маслена глава“.

За постигане на целта са разработени следните задачи:

1. Установяване параметрите на поливния режим, чрез редукция на поливните норми, при капково напояване и микродъждуване
2. Проучване влиянието на изпитваните поливни режими върху стойностите и динамиката на изменение на евапотранспирацията при капково напояване и микродъждуване, както и връзката ѝ с еталонната евапотранспирация, температурата и дефицита на насищане на въздуха с водни пари чрез биофизични коефициенти
3. Проучване въздействието на изпитваните поливни режими и съответната поливна техника върху добива
4. Изследване на зависимостите „Добив - Напоителна норма“ и „Добив - Евапотранспирация“, при съответната техника на напояване
5. Изследване на зависимостта „Добив - Листно площен индекс“ и извеждане на формула за прогнозиране на добива
6. Оценка на икономическата ефективност от приложените поливни режими, чрез техники за микронапояване при отглеждане на салата на открито

III. МАТЕРИАЛ И МЕТОДИ

1. Обект, схема на залагане на опита и техника за напояване

Опитът е проведен през периода 2020-2021 година, на Учебно-опитното поле в района на Аграрен университет, гр. Пловдив. Експерименталната работа се осъществи със салата, сорт „Зимна маслена глава“. Растенията са засадени на лехобразова повърхност върху широка равна леха в четири редова лента, по схема 70+30+30+30+30 x 20 cm, хранителна площ - 0.06 m². Големината на опитните парцели е 5 m², а на реколтните 3 m. Проведени са два паралелни еднофакторни опита с две поливни техники за микронапояване - капково и микродъждуване, при едни и същи поливни варианти.

За системата за капково напояване са използвани поливни тънкостенни едносезонни тръбопроводи, тип Dual Drip 17/16,1. Разстоянията между капкообразувателите 0,2 m е избрано с оглед оптимално водоснабдяване на

растенията при дадената схема на засаждане. Номиналният дебит е 2,2 l/h при работно налягане 0,8 bar. Във всяка леха са поставени по два поливни тръбопровода.

Системата за микродъждване се изпълни с микродъждовални апарати с диаметър 3,5 m, работно налягане 2 bar и дебит 90 l/h и 45 l/h. Поради разположението на лехата се наложи да се използват два типа дъждовални апарати с ъгъл на разпръскване 180° и 90°. Разположението, както на поливния, така и на разпределителния тръбопровод е едностранно по дължина на лехата. Всеки един от вариантите, както при капковото напояване, така и при микродъждването е отделен със самостоятелен кран.

2. Варианти на изследването

За установяване влиянието на поливния режим върху развитието и продуктивността на изпитвания сорт салата, са заложили следните варианти в три повторения и при двете поливни техники:

V1 – напояване със 100 % от поливната норма m (100 % m), - контрола 1, наречен още оптимален;

V2 – напояване с 80 % от поливната норма m (80% m);

V3 – напояване със 60 % от поливната норма m (60% m);

V4 – без напояване – контрола 2.

Времето за напояване и големината на поливните норми и при двете техники на напояване, се определи на базата на нивото на почвената влажност. Прие се като предполивна влажност 85-90% от влажността при ППВ за слоя 0,2 m. Вариантите V2 и V3 са напоявани едновременно с вариант V1, но с редуциране на поливните норми чрез продължителността на поливката. Поливната норма при вариант V1 - напояване със 100% от поливната норма m , е изчислена по следната формула:

$$m = 10.H. (\delta^{\text{ППВ}} - \delta^{\text{нал}}) \quad (\text{mm})$$

където:

m – поливна норма, mm;

H – дълбочина на активния почвен пласт, m;

$\delta^{\text{ППВ}}$ и $\delta^{\text{нал}}$ – обемна влажност при ППВ и налична обемна влажност, %.

3. Проследяване на почвената влажност с капацитивни сензори ЕС-5

Почвената влажност е проследявана в рамките на 1-3 дни, при всички варианти, с капацитивните сензори ЕС-5, които предварително са калибрани за

условията на опита. Използвана е стандартна процедура за калибриране на сензори, тип ECH2O, в лабораторни и полски условия. Простият общ модел е даден чрез уравнението:

$$Y = aX + b,$$

където:

b - константа, пресечна точка на линията на линейна регресия;

a - наклон на линията на регресия;

Y – обемна влажност на почвата;

X – отчет на сензора на обемната влажност

Установени са следните две уравнения за конкретния почвен тип:

лаборатория	$Y = 0.819x - 0.0626$	$R^2 = 0.9819$	(1)
-------------	-----------------------	----------------	-----

на поле	$Y = 0.893x - 0.0795$	$R^2 = 0.9429$	(2)
---------	-----------------------	----------------	-----

4. Добив. Връзка „Добив – Напоителна норма“

4.1 Добив

Данните за добива по варианти и години, и при двете поливни техники са обработени чрез дисперсионен анализ, с помощта на програмния продукт „BIOSTAT“ и „ANOVA“, като са установени ранговете на доказаност.

4.2 Връзка „Добив – Напоителна норма“

Параметрите на връзката „Добив – напоителна норма“ и при двете техники на напояване, са установени посредством посочените по-долу формули, като данните са обработени по метода на най-малките квадрати с помощта на програмния продукт „YIELD“.

✓ Регресия от вида :

$$Y = ax^2 + bx + c,$$

където:

Y – относителен добив;

X – относителна напоителна норма;

c - свободен член, който показва размера на относителния добив при неполивни условия.

✓ Степенна формула на Давидов:

$$Y = 1 - (1 - Y_c) \cdot (1 - X)^n,$$

където:

Y – относителен добив;

Y_c – относителен добив при неполивен вариант;

X – относителна напоителна норма;

n – степенен показател.

5. Евапотранспирация. Връзка „Добив – евапотранспирация“. **Биофизични коефициенти**

5.1 Евапотранспирация

Евапотранспирацията е изчислена за слоя 0,2 m, чрез уравнението на водния баланс:

$$ET = W_{\text{нач}} - W_{\text{кр}} + \Sigma m_i + N \text{ (mm)}$$

където:

$W_{\text{нач}}$ и $W_{\text{кр}}$ – начален и краен воден запас, mm;

Σm_i – сума от поливните норми за периода, mm;

N – сума от използваемите валежи, mm.

При изчисленията не е отчетен приход от удълбочаване на кореновата система и приход от капилярно покачване на подпочвени води. По метода на Крафти е определена използваемостта на падналите валежи. Установени са сумарните, декадните и средоденонощните стойности на ET , при всички варианти и при двете поливни техники, а така също и относителният дял на компонентите, които я формират – начален воден запас, напоителната норма и вегетационни валежи.

Стойностите на еталонната евапотранспирация ET_0 са получени от автоматична метеорологична станция, разположена в непосредствена близост до местото на извеждане на опита. За изчисляване на еталонната евапотранспирация се използва формулата на Penman-Monteith :

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)},$$

където:

ET_0 – еталонната евапотранспирация (mm.day⁻¹);

R_n – нетната радиация върху тревната повърхност (MJ.m².day⁻¹);

G – топлинният поток от почвата (MJ.m².day⁻¹);

T – среднодневната температура на въздуха на 2 m височина ($^{\circ}\text{C}$);
 u_2 – скорост на вятъра на 2 m височина (m.s^{-1});
 e_s – налягане на наситените водни пари (КПа);
 e_a – действително налягане на водните пари (КПа);
 $(e_s - e_a)$ – дефицит на налягането на наситените водни пари (КПа);
 Δ – наклон на кривата на налягането на водните пари (КПа. $^{\circ}\text{C}^{-1}$);
 γ – психометрична константа (КПа. $^{\circ}\text{C}^{-1}$).

5.2 Връзка „Добив – Евапотранспирация“

Параметрите на зависимостта са установени посредством представените по-долу в текста формули, като данните са обработени с помощта на програмата „YIELD“.

✓ *Формула на FAO* – линейна зависимост между между добива и сумарната евапотранспирацията:

$$\frac{Y}{Y_o} = 1 - K_s \left[1 - \frac{ET}{ET_o} \right]$$

където:

Y – добив при редуцирано напояване;

Y_o – добив при оптимално напояване;

ET – евапотранспирация при добив Y ;

ET_o – евапотранспирация при добив Y_o ;

K_s – коефициент на добива.

✓ *Формула на Давидов* – степенна зависимост между добива и сумарната евапотранспирацията:

$$\frac{Y}{Y_o} = 1 - A \left(1 - \frac{ET}{ET_o} \right)^N$$

където:

A – коефициентът на добива;

N – степенен показател.

✓ *Формула на Давидов* – двустепенна зависимост между между добива и сумарната евапотранспирацията:

$$\frac{Y}{Y_0} = \left[1 - \left(1 - \frac{ET}{ET_0} \right)^N \right]^M$$

където:

N – степенен показател за вегетационният период;

M – степенен показател, зависещ от културата.

5.3 Биофизични коефициенти

На базата на реалната и еталонната евапотранспирация, а така също и на сумата на средноденонощната температура на въздуха и сумата от дефицита на влажността на въздуха, по декадни стойности са определени следните биофизични коефициенти:

✓ Z – коефициентът представлява отношението на ET за определен период от време към сумата на средноденонощната температура на въздуха $\sum T^\circ$ за същия период. Изчислен по зависимостта:

$$ET = Z \cdot \sum T^\circ$$

✓ Kc – коефициент на културата, зависещ от еталонната (ET₀) и реалната евапотранспирация (ET), изчислена по формулата:

$$ET = K_c \cdot ET_0$$

✓ R – коефициентът представлява отношението на ET към сумата от дефицита на влажността на въздуха $\sum D$, изчислена по формулата:

$$ET = R \cdot \sum D$$

6. Листна площ (LA) и листно-площен индекс (LAI)

Определянето на листната площ на едно растение е извършено с помощта на планиметър, модел КР92N. Отчитани са също масата на цялото растение, масата на свежите и сухите листа, като са изведени регресионни зависимости. Измерванията са направени при реколтирането, в края на вегетацията на културата по 15 растения от вариант и при съответната поливна техника.

Определянето на листно- площния индекс е изчислен по формулата:

$$LAI = \frac{LA}{A}$$

където,

LA – листна площ (leaf area), cm²;

A – агротехническа площ (area), cm^2 .

7. Икономически анализ

За оценка на икономическия ефект от приложения поливен режим са определени следните показатели::

- Средна реализационна цена - лв/kg;
- Себестойност - лв/kg;
- Общ приход - лв/дка;
- Общи разходи - лв/дка;
- Общ доход (печалба) - лв/дка;
- Норма на доходност – съотношението на общия доход към материалните разходи, %;
- Норма на рентабилност - съотношението на печалбата към общите разходи, %.

IV. ПОЧВЕНО – КЛИМАТИЧНИ УСЛОВИЯ

Почвено – климатичните условия на даден район са от съществено значение за нормалното вегетативно развитие на растенията, както и за получаване на високи добиви с отлично качество на продукцията. Те са и определящ фактор за съставяне и прилагане на поливен режим.

1. Характеристика на почвата и водоизточника

Почвата, върху която е проведен опита е алувиално – ливадна. Съдържанието на физична глина е 24%, което я характеризира като леко песъчливо – глинеста. Почвената реакция е средно алкална, със стойност на рН 8,26. Съдържанието на хумус в почвата е високо – 3,81%, съгласно класификациите за хумусния запас на почвите в България. Според изискванията на салатените растения, почвата върху която е проведен експеримента, е подходяща за отглеждането им. Изключение прави почвената реакция, за която като оптимална се препоръчва да бъде рН = 6,0 - 6,8. Обемната плътност за слоя 0-0,20 m е $\alpha = 1,59 \text{ (t/m}^3\text{)}$. Тегловната влажност при ППВ за горепосочения почвен слой е $\delta_t = 25,28 \%$, а обемната $\delta_{об} = 40,2 \%$.

Извършен е и химически анализ на водата от водоизточника за да се определят някои нейни характеристики. Изчислената стойност на показателят SAR е 1,550 meq/l, което показва, че водата е подходяща за напояване (при < 3 meq/l).

2. Климатична характеристика

Основните показатели на климата, които оказват съществено влияние върху развитието на растенията и необходимостта от обезпечаване с вода чрез напояване са валежите, температурата и относителната влажност на въздуха. В периода на двугодишното изследване, тези показатели се различават съществено, както по разпределение, така и стойностно.

2.1. Вегетационни валежи

По отношение на вегетационните валежи се установи, че 2020 година е средно - влажна с обезпеченост $P = 29\%$, а 2021 година средно-суха с обезпеченост $P = 67,7 \%$. Сумата на валежите през вегетационния период на 2020 година е 100,8 mm, като 43,75% от тях са с валеж по-малък от 4 mm, от мелиоративна гледна точка се счита, че този валеж е неефективен, а 56,25% са над 4 mm. През 2021 година сумата на валежите през вегетацията е 45,4 mm, като 63,63% от тях са с валеж по-малък от 4 mm, а едва 36,37% са над 4mm.

2.2. Температура на въздуха

През 2020 година сумата на температурите през вегетационния период е в размер на 676,1°C, с обезпеченост $P = 70,9\%$, което я характеризира като средно – хладна, докато през 2021г. тя е 705,7°C, с обезпеченост $P = 38,7\%$, което я определя като средно-топла.

2.3. Влажност на въздуха

Сумата на дефицита на насищане на въздуха през вегетационния период на първата година е $D = 178.03$ Нра, а за втората той е в размер на $D = 273,89$ Нра, със обезпеченост съответно $P = 87,1\%$ за 2020г., и $P = 29\%$ за 2021г. Според този параметър първата опитна година се характеризира като влажна, а втората като средно суха.

2.4. Индекс на сухота

Според класификацията на де Мартон, първата експериментална година се определя като полусуха с индекс $IDM = 12,1$, а втората като суха $IDM = 4,8$, което от своя страна означава че напояването е задължителна агротехническа практика.

V. РЕЗУЛТАТИ

1. Поливен режим

При стартиране на опита, след засаждане на разсада, почвата се приведе до влажност при ППВ при всички варианти, включително и неполивния, като се даде изравнителна поливка. През първата експериментална година реализираните напоителни норми са както следва: - при варианта 100% m – 61 mm; 80% m – 48,8 mm и 60% m – 36,6 mm, при капковото напояване, а при микродъждуването съответно - 100% m – 67 mm; 80% m – 53,6 mm и 60% m – 40,2 mm. През втората опитна година подадената напоителна норма при капковото напояване е съответно: при варианта 100% m – 105 mm; 80% m – 84 mm и 60% m – 63 mm, а при микродъждуването - варианта 100% m – 110 mm; 80% m – 88 mm и 60% m – 66 mm. В таблица 1 са представени осреднените стойности на брой поливки, средната нетна поливна и напоителна норма, по варианти за двете опитни години – съответно за капково напояване и микродъждуване.

Таблица 1.

Брой поливки, средна поливна и напоителна норма при капково напояване и микродъждуване, по варианти, за експерименталния период

Вариант	Капково напояване			Микродъждуване		
	100% m	80% m	60% m	100% m	80% m	60% m
М, mm	83,0	66,4	49,8	88,5	70,8	53,1
среден брой поливки	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5
m, mm	9,8	7,8	5,9	10,4	8,3	6,2

2. Добиви

Представените в таблица 2 осреднени данни на добива по варианти и години, при двете поливни техники, показват, че за условията на експеримента регулирания поливен режим, оказва съществено въздействие върху продуктивността на салата, сорт „Зимна маслена глава“.

Таблица 2.

**Влияние на капковото напояване и микродъждуването върху добива от салата
средно за 2020 - 2021 година**

2020-2021г.	Капково напояване				Микродъждуване			
		Спрямо вариант 100%т				Спрямо вариант 100%т		
Вариант	Добив kg / da	Y +/-	%	Доказаност	Добив kg / da	Y +/-	%	Доказаност
100% т	5672	St	100	St	5757	St	100	St
80% т	4853	-819	85,6	***	4963	-794	86,2	*
60% т	4384	-1288	77,3	***	4481	-1276	77,8	**
неполивен	1390	-4282	24,5	***	1390	-4367	24,1	***
	GD при P: 5%=243,9 kg/da; 1%=369,5 kg/da; 0,1%=593,9 kg/da;				GD при P: 5%=589 kg/da; 1%=892,3 kg/da; 0,1%=1434,4 kg/da;			

Продуктивността на салата при неполивни условия се определя главно от количеството и разпределението на валежите по време на вегетационния й период. Средно за периода на изследване, добивът получен при варианта, при който не е реализирано напояване е 1390 kg/da. Допълнителният добив, установен вследствие на проведения регулиран поливен режим се различава съществено от този при неполивни условия, като тази разлика е представена в таблица 3.

Таблица 3.

**Допълнителен добив при капковото напояване и микродъждуването средно за
2020 - 2021 година**

2020-2021г.	Капково напояване				Микродъждуване			
		Спрямо неполивния вариант				Спрямо неполивния вариант		
Вариант	Добив kg da	Y +/-	%	Доказа ност	Добив kg/da	Y +/-	%	Доказа ност
100% т	5672	4282	408,03	***	5757	4367	414,3	***
80% т	4853	3463	349,1	***	4963	3573	357,1	***
60% т	4384	2994	315,4	***	4481	3091	322,5	***
неполивен	1390	St	100,0	St	1390	St	100,0	St
	GD при P: 5%=243,9 kg/da; 1%=369,5 kg/da; 0,1%=593,9 kg/da;				GD при P: 5%=589 kg/da; 1%=892,3 kg/da; 0,1%=1434,4 kg/da;			

Увеличението на добива по варианти при капковото напояване е както следва: при варианта 100% m – 408,03%; 80% m – 349,1% и 60% m – 315,4%, а при микродъждуването, съответно: 100% m – 414,3%; 80% m – 357,1% и 60% m – 322,5%. Статистически се доказва, че дори и подаването на по-малка напоителна норма от максималната, води до значително повишаване на добива от салата, в сравнение с неполивния вариант. Растенията реагират на подадените количества вода и независимо от редуцията на поливната норма с до 40%, се отчита намаление на добива приблизително с 23-26% и при двете техники за микронапояване. Добивът, получен при неполивни условия е по-малък спрямо този, при поливни условия с 315 до 414 %.

3. Продуктивност на напоителната норма и загуби на добив в зависимост от приложения регулиран поливен режим

От резултатите, представени в таблица 4 и 5, може да се обобщи, че при капковото напояване най – голям допълнителен добив при изразходването на 1 mm вода, т.е. най-висока продуктивност на напоителната норма, се получава при варианта 60% m – 62,2 kg/m³, а при микродъждуването – 59,5 kg/m³. С почти равни стойности е продуктивността при вариантите 100% m – 53,3 kg/m³, 80% m – 53,1 kg/m³ при капковото напояване, а при микродъждуването 100% m – 50,5 kg/m³, 80% m – 51 kg/m³. Средно за двете години загубите на добив при вариантите 80% и 60% m, както и варианта без напояване са - 14,5%, 22,7% и 75,5% – за капково напояване, а за микродъждуването съответно - 13,8 %, 22,1% и 75,9%.

Таблица 4.

Продуктивност на напоителната норма и загуби на добив в следствие на водния дефицит средно за 2020 - 2021 година при капково напояване

Вариант	Общ добив	Допълнителен добив		Загуби на добив		Напоителна норма		Продуктивност на напоителната норма
	kg/da	kg/da	%	kg/da	%	mm	%	kg/m ³
100% m	5672	4282	487,2	St.	St.	83	100	53,3
80% m	4853	3463	419,3	-819	85,5	66,4	80	53,1
60% m	4384	2994	370,0	-1288	77,3	49,8	60	62,2
неполивен	1390	St.	St.	-4282	24,5	0	-	-

Таблица 5.

Продуктивност на напоителната норма и загуби на добив вследствие на водния дефицит средно за 2020 - 2021 година при микродъждване

Вариант	Общ добив	Допълнителен добив		Загуби на добив		Напоителна норма		Продуктивност на напоителната норма
	kg/da	kg/da	%	kg/da	%	mm	%	kg/m ³
100%<i>m</i>	5757	4367,5	495,1	St.	St.	88,5	100	50,5
80%<i>m</i>	4963	3573,5	429,5	-794	86,2	70,8	80	51,0
60%<i>m</i>	4481	3091,5	380,0	-1276	77,9	53,1	60	59,5
неполивен	1390	St.	St.	- 4367	24,1	-	-	-

Прилагането на диференциран поливен режим чрез система за микронапояване води до изменение на ефективността на напоителната норма. Това изменение е в рамките на 15 до 18% и показва, че независимо от големината на редуциране на обемите вода и техниката, чрез която се осъществява това намаление, ефективността е от този порядък.

4. Връзка „Добив – Напоителна норма“

Зависимостта е определена на база данните за относителният добив и относителната напоителна норма. По метода на най-малките квадрати, с помощта на програмният продукт “YIELD”, са определени параметрите на зависимостта по представените в методичната част формули, както при капковото напояване, така и при микродъждването.

4.1 Връзка „Добив - Напоителна норма“ при капково напояване

Установяването на връзката „добив-напоителна норма“ при салата, отглеждана в условия на воден дефицит е необходима за анализиране на ефективността от приложение поливен режим, начина му на реализиране и прогнозиране на потенциалните добиви от културата при подобни условия.

Исходните данни, необходими за изчисляване на зависимостта са представени на таблица 6, както по години, така и средно за периода на изследване.

Таблица 6.

Исходни данни за установяване връзката „Вода - Добив“ при капково напояване

Година	Вариант	Y kg/da	ΔY kg/da	$\frac{Y}{Y_0}$	$\frac{\Delta Y}{\Delta Y_0}$	$\frac{M}{M_0}$
2020	100% m	5573	3634	1	1	1
	80% m	4693	2754	0,842096	0,757843	0,8
	60% m	4500	2561	0,807465	0,704733	0,6
	неполивен	1939	0	0,347928	0	0
2021	100% m	5770	4930	1	1	1
	80% m	5012	4172	0,868631	0,846247	0,8
	60% m	4267	3427	0,739515	0,695132	0,6
	неполивен	840	0	0,145581	0	0
средно	100% m	5672	4282	1	1	1
	80% m	4853	3463	0,855594	0,808734	0,8
	60% m	4384	2994	0,7729	0,699206	0,6
	неполивен	1390	0	0,244997	0	0

**Y – добив; ΔY – допълнителен добив; Y/Y_0 – относителен общ добив; $\Delta Y/\Delta Y_0$ – относителен-допълнителен добив; M/M_0 – относителна напоителна норма*

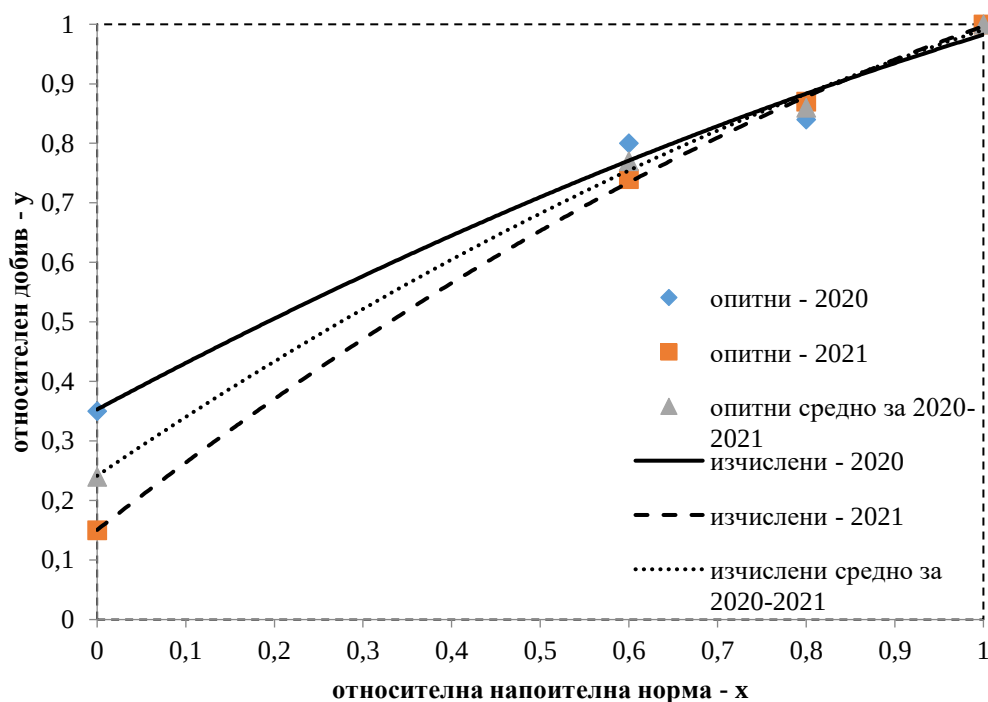
4.1.1 Връзка „Общ добив – напоителна норма“ при капково напояване, изразена чрез регресионното уравнение - $y = ax^2 + bx + c$

Връзката „Общ добив – напоителна норма“ е установен чрез регресионен анализ на опитните данни с помощта на софтуерният продукт “Microsoft Office Excel”. Получените резултати по години и средно за експерименталния период са представени графично на фигура 1, а изведените уравнения и стойностите на коефициента на детерминация са представени в таблица 7.

Изпъкналите параболи изразени с уравнение от втора степен ($y = ax^2 + bx + c$), много точно изразяват зависимостта, като апроксимират опитните данни с много висок коефициент на детерминация $R^2 > 0,99$, както по години така и средно за експерименталния период (Таблица 7).

Фигура 1.

Връзка „Общ добив – напоителна норма“ по уравнението - $y = ax^2 + bx + c$, при капково напояване



Според получените криви, при норма 80-85% m добивът може да достигне до 90-95% от максималния за съответната година. Средно за експерименталния период, при напояване на салатените растения с 50% m, може да се достигне 78% от максимално получения добив. Използвайки полученото квадратно уравнение може да се прогнозира, че дори с увеличение на напоителната норма с 50% от средната максимална, добивът ще се увеличи с 18%, което от гледна точка на ефективното използване на водата не е препоръчително.

Таблица 7.

Параметри на връзката „Общ добив – напоителна норма“ по уравнение:

$y = ax^2 + bx + c$, при капково напояване

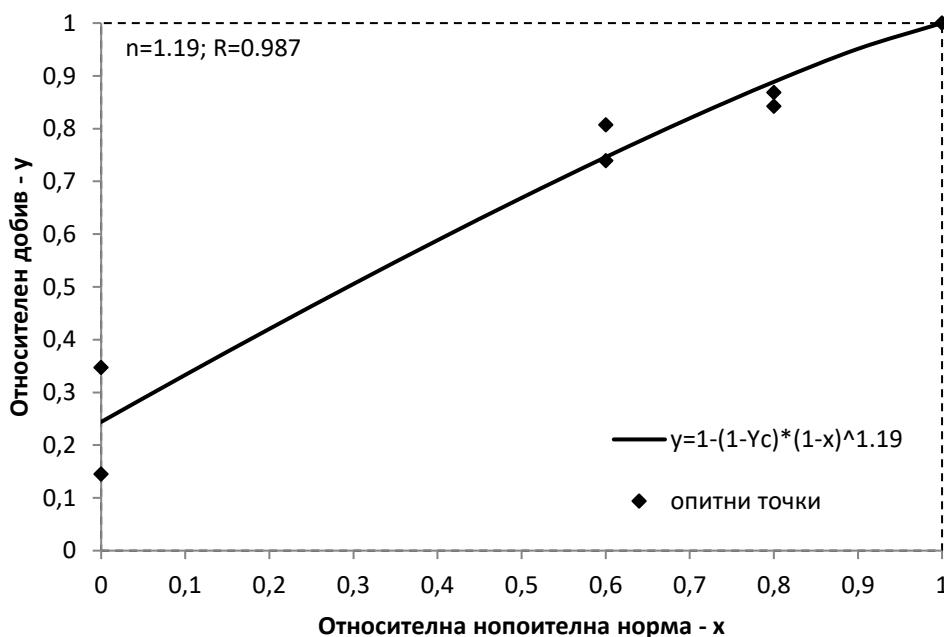
Година	$y = ax^2 + bx + c$	R^2
2020	$y = -0,1678x^2 + 0,7975x + 0,3529$	0,987
2021	$y = -0,2645x^2 + 1,0137x + 0,2415$	0,997
Средно	$y = -0,3177x^2 + 1,1638x + 0,1506$	0,999

4.1.2 Връзка „Общ добив – напоителна норма“ при капково напояване, изразена чрез степенната формула на Д. Давидов – $y = 1 - (1 - Y_c)(1 - x)^n$

Връзката между общия добив и напоителната норма, средно за експерименталния период, определена по степенната формула на Д. Давидов е представена на фигура 2. Графично, връзката е описана посредством крива, представляваща изпъкнала параболоа, която осреднява опитните точки при степенен показател $n = 1,19$, и много висок коефициент на корелация $R = 0,987$. Според получената крива при реализиране на 80-85% от оптималната норма (100% m), може да се получи добив 90-95% от максималния.

Фигура 2.

Връзката „Относителен добив – относителна напоителна норма“, изразена по степенната формулата на Д. Давидов $y = 1 - (1 - Y_c)(1 - x)^n$, при капково напояване



4.2 Връзка „Добив – напоителна норма“ при микродъждоване

В таблица 8 са представени изходните данни, необходими за изчисляване на зависимостта.

Таблица 8.

Исходни данни за установяване връзката „Вода – Добив“, при микродъждоване

Година	Вариант	Y kg/da	ΔY kg/da	$\frac{Y}{Y_0}$	$\frac{\Delta Y}{\Delta Y_0}$	$\frac{M}{M_0}$
2020	100% m	5640	3702	1	1	1
	80% m	4783	2845	0,84805	0,768504	0,8
	60% m	4547	2609	0,806206	0,704754	0,6
	неполивен	1938	0	0,343617	0	0
2021	100% m	5873	5033	1	1	1
	80% m	5142	4302	0,875532	0,854759	0,8
	60% m	4414	3574	0,751575	0,710113	0,6
	неполивен	840	0	0,143027	0	0
средно	100% m	5757	4367,5	1	1	1
	80% m	4963	3573,5	0,862069	0,818203	0,8
	60% m	4481	3091,5	0,778338	0,707842	0,6
	неполивен	1389	0	0,241292	0	0

*Y – добив; ΔY – допълнителен добив; Y/Y_0 – относителен общ добив; $\Delta Y/\Delta Y_0$ – относителен-допълнителен добив; M/M_0 – относителна напоителна норма

4.2.1 Връзка „Общ добив – напоителна норма“ при микродъждоване, изразена чрез регресионното уравнение – $y = ax^2 + bx + c$

Както бе споменато при капковото напояване и тук връзката „Общ добив – напоителна норма“ е установена чрез регресионен анализ на опитните данни по години и средно за експерименталния период, представена на фигура 3. Изведените уравнения и коефициентите на детерминация са представени в таблица 9.

Графично зависимостта както по години, така и средно за експерименталния период е изразена чрез криви, изпъкнали параболи, подчинени на уравнението – $y = ax^2 + bx + c$, като същите апроксимират експерименталните данни с много висок коефициент на детерминация – за 2020 година – $R^2 = 0,989$; за 2021 година – $R^2 = 0,996$; средно за експерименталния период – $R^2 = 0,999$ (Таблица 9).

Според кривите, описващи зависимостта при реализиране на норма 80% т, полученият добив е 90% от максималния.

Фигура 3.

Връзка „Общ добив – напоителна норма“ по уравнението – $y = ax^2 + bx + c$, при микродъждване

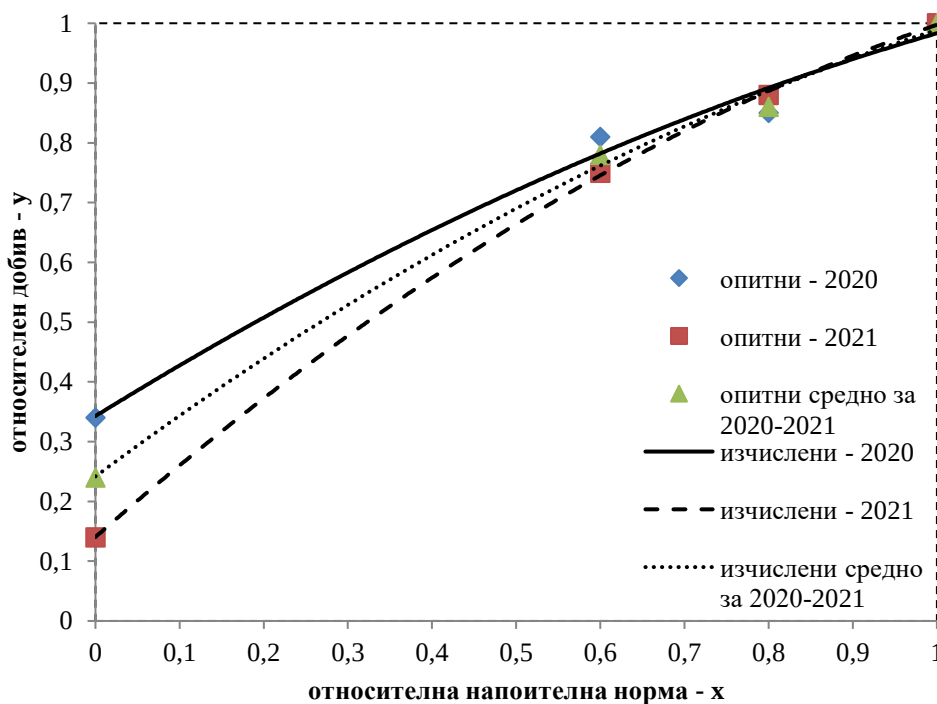


Таблица 9.

Параметри на връзката „Общ добив – напоителна норма“ по уравнение:

$$y = ax^2 + bx + c, \text{ при микродъждване}$$

Година	$y = ax^2 + bx + c$	R^2
2020	$y = -0,2293x^2 + 0,8698x + 0,3428$	0,989
2021	$y = -0,2983x^2 + 1,0456x + 0,2418$	0,996
Средно	$y = -0,3791x^2 + 1,236x + 0,1404$	0,999

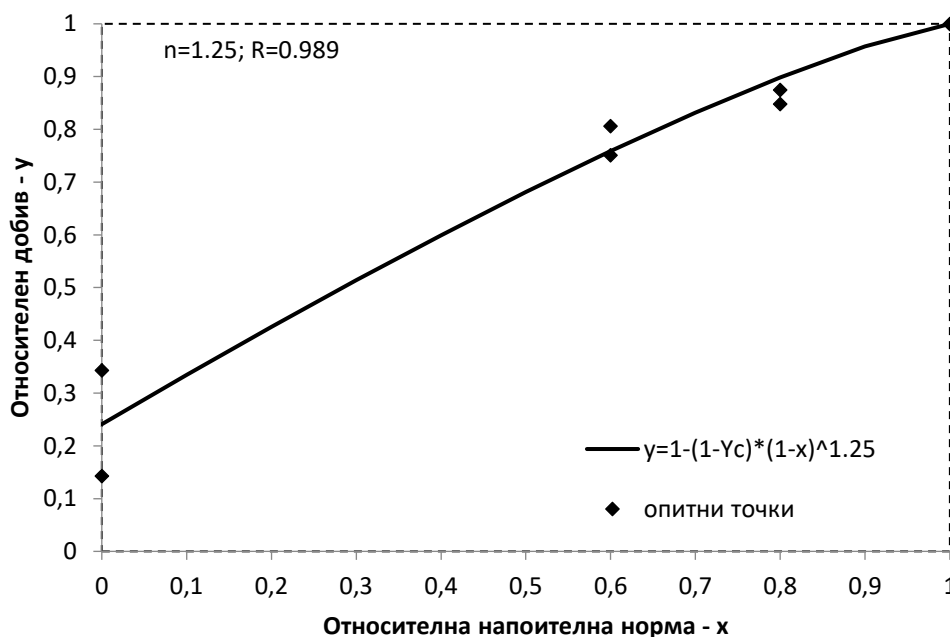
4.2.2 Връзка „Общ добив – напоителна норма“ при микродъждване, изразена чрез степенната формула на Д. Давидов – $y = 1 - (1 - Y_c)(1 - x)^n$

Представената на фигура 4, изпъкнала парабола много добре осреднява експерименталните точки при степенен показател $n = 1,25$ и много висок коефициент

на корелация $R = 0,989$. Според получената крива, добивът може да достигне 90-95% от максималния, само при норма 90% m.

Фигура 4.

Връзката „Относителен добив – относителна напоителна норма“, изразена по степенната формулата на Д. Давидов $y = 1 - (1 - Y_c)(1 - x)^n$, при микродъждване



Продуктивността на салатата, както вече беше доказано се влияе до голяма степен от прилагания поливен режим. Потвърждават го и изведените зависимости за връзката между относителното намаление на добива спрямо относителното намаление на напоителната норма. Изведената зависимост, която се изразява чрез уравнение от втора степен позволява да се прогнозира евентуалното намаление на добива при подаване на по-малки количества вода спрямо тези, определени като максимални.

5. Евапотранспирация

5.1 Влияние на регулирания поливен режим върху сумарните и средноденонощните стойности на евапотранспирацията

Максимална ЕТ, средно за периода на експеримента се получава при вариантите със 100% m и при двете поливни техники. При неполивния вариант се констатира намаление на сумарната ЕТ с 38,7% и 42,4%, съответно при капковото

напояване и микродъждуването (таблица 10). Прилагането на регулиран поливен режим с поливни норми от 60% и 80% m, води до понижение на водоразхода на салатните растения. С редуцирането на поливната норма с 20% от оптималната, при капковото напояване се постига намаление е едва 7,2%, а при микродъждуването 9,8%. Полученото намаление на сумарната ЕТ при варианта 60% m, напояван капково е 20,7% и 22,9%, съответно при микродъждуването, като почти със същото процентно намаление (22,7% при капковото напояване и 22,1% при микродъждуването) са отчетени и загубите на добив при съответната поливна техника.

Таблица 10.

Сумарна евапотранспирация на салата по варианти при капково напояване и микродъждуване средно за 2020 - 2021 година

2020-2021г.	Капково напояване				Микродъждуване			
	Варианти				Варианти			
<i>Показатели</i>	<i>100% m</i>	<i>80% m</i>	<i>60% m</i>	<i>неполивен</i>	<i>100% m</i>	<i>80% m</i>	<i>60% m</i>	<i>неполивен</i>
ЕТ, mm	108,6	100,8	86,1	66,6	115,6	104,3	89,1	66,6
Спрямо вариант 100% m, в %	100	92,8	79,3	61,3	100	90,2	77,1	57,6
Спрямо вариант неполивен, в %	163,2	151,5	129,4	100	173,6	156,6	133,9	100,0

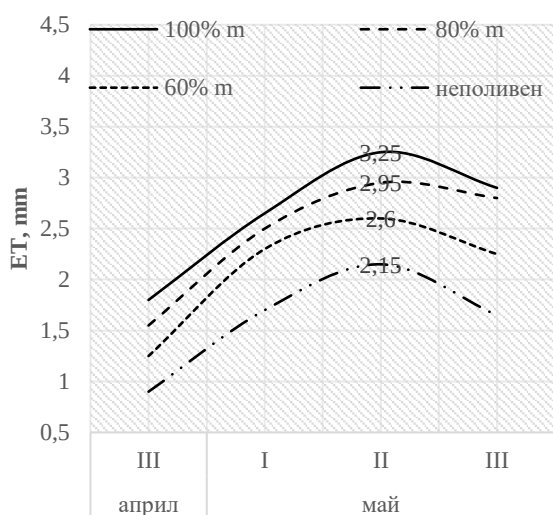
5.2 Средноденонощен ход на ЕТ

Осреднените стойности за двете опитни години, графично представени на фигура 5 и 6, показват че през втората десетдневка на месец май, средноденонощните стойности на евапотранспирацията и при двете поливни техники достига своя максимум.

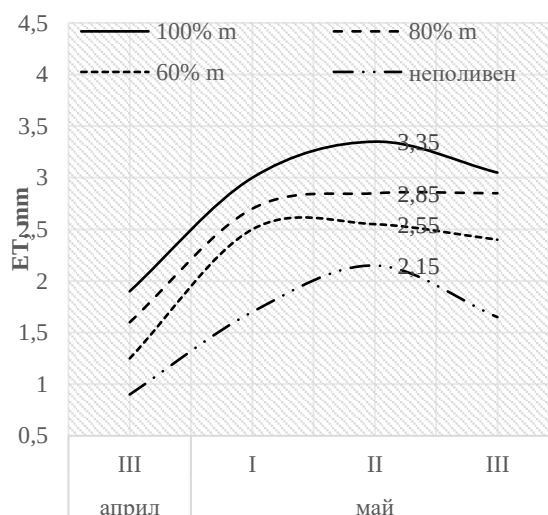
Същия този период се отличава с интензивно нарастване на листната розетка и завиването на главите на салатните растения. Размера на средноденонощните стойности на ЕТ при оптимално напояваните варианти е съответно 3,25 mm при капковото напояване и 3,35 mm при микродъждуването. Вариантите 80% m са със съответните максимални средноденонощни стойности на ЕТ - 2,95 mm и 2,85 mm, при капково напояване и микродъждуване, а тези с 60% m – 2,6 mm и 2,55 mm

съответно. Максималната средноденонощна стойност на ЕТ при неполивния вариант е 2,15 mm.

Фигура 5.
Средноденонощен ход на ЕТ средно за
2020-2021 година при
капково напояване



Фигура 6.
Средноденонощен ход на ЕТ средно за
2020-2021 година при
микродъждване



5.3 Среднодекаден ход на ЕТ, изразен с регресионни уравнения при капково напояване, средно за експерименталния период

Резултатите получени чрез регресионен анализ на опитните данни по варианти за среднодекадния ход на ЕТ, средно за периода на изследване, са представени графично на фигура 7, а изведените уравнения и коефициентите на детерминация (R^2) са нанесени в таблица 11.

Графично, среднодекадният ход на ЕТ по време на вегетационния период на културата, по варианти е изразен чрез криви, изпъкнали параболи, изразени чрез уравнение от втора степен от вида: $y = ax^2 + bx + c$ (Фигура 7). Същите апроксимират опитните данни с много висок коефициент на детерминация (Таблица 11).

Фигура 7.

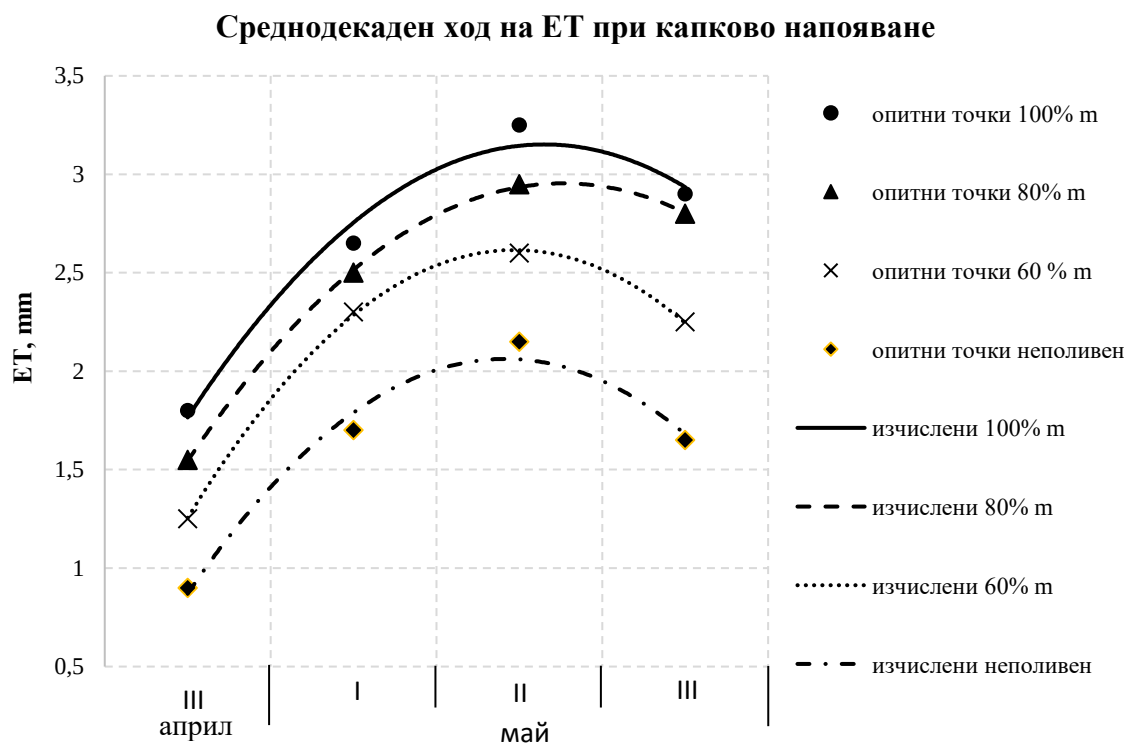


Таблица 11.

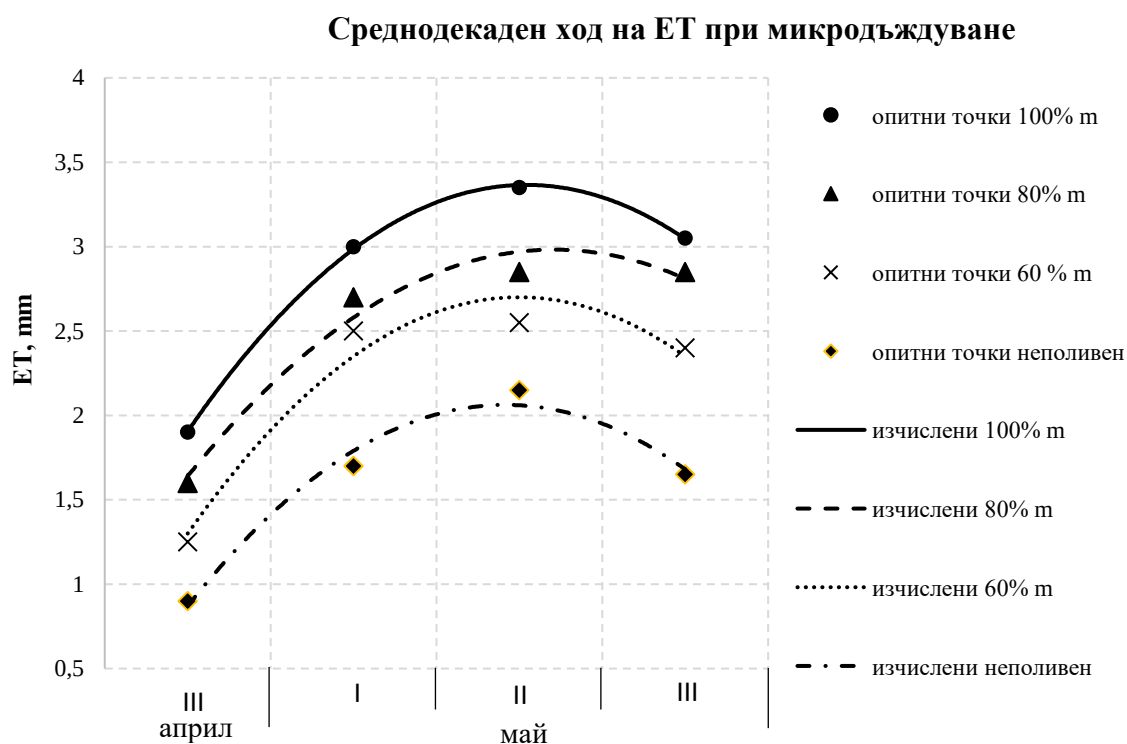
Регресионни уравнения и коефициенти на детерминация при капково напояване по варианти, осреднени за 2020-2021 година

Вариант	Регресия от вида: $y = ax^2 + bx + c$	R^2
100% m	$y = -0,3x^2 + 1,89x + 0,175$	0,979
80% m	$y = -0,275x^2 + 1,795x + 0,025$	0,999
60% m	$y = -0,35x^2 + 2,08x - 0,475$	0,999
неполивен	$y = -0,325x^2 + 1,895x - 0,7$	0,978

5.4 Среднодекаден ход на ЕТ, изразен с регресионни уравнения при микродъждуване, средно за експерименталния период

Както при капковото напояване получените резултати чрез регресионен анализ на опитните данни, по варианти, са графично представени на фигура 8, а изведените уравнения и коефициентите на детерминация (R^2) в таблица 12.

Фигура 8.



Среднодекадният ход на ЕТ по време на вегетационния период на културата, изразен чрез криви, изпъкнали параболи, изразени с квадратно уравнение от вида: $y = ax^2 + bx + c$, много добре описват изменението на водоразхода на салатните растения по варианти (Фигура 8). Като същите апроксимират опитните данни с много висок коефициент на детерминация, при варианта 100% m той е $R^2=0,999$; следван от варианта 80% m - $R^2=0,971$; 60% m - $R^2=0,957$ и неполивния вариант - $R^2=0,978$ (Таблица 12).

Таблица 12.

Регресионни уравнения и коефициенти на детерминация, при микродъждване по варианти, осреднени за 2020-2021 година

Вариант	Регресия от вида: $y = ax^2+bx+c$	R^2
100% m	$y = -0,35x^2+2,13x+0,125$	0,999
80% m	$y = -0,275x^2+1,765x+0,15$	0,971
60% m	$y = -0,35x^2+2,1x-0,45$	0,957
неполивен	$y = -0,325x^2+1,895x-0,7$	0,978

5.5 Формиране на ET

Формирането на евапотранспирацията зависи както от климатичната характеристика на дадена година, така и от приложения поливен режим и конкретната култура.

В таблица 13 и 14 са представени елементите (воден запас – W, използваемите валежи – N и напоителната норма – M), формиращи евапотранспирацията на салата за слоя 0-20 m.

Таблица 13.

Формиране на ET при капково напояване

	<i>Варианти</i>		<i>ET</i>	<i>W</i>	<i>N</i>	<i>M</i>
2020	100%t	mm	106,6	4	41,6	61
		%	100	3,8	39,0	57,2
	80%t	mm	96,4	3,8	43,8	48,8
		%	100	3,9	45,4	50,6
	60%t	mm	86,7	3,5	46,6	36,6
		%	100	4,0	53,7	42,2
	неполивен	mm	69,6	7	62,6	-
		%	100	10,1	89,9	
2021	100%t	mm	110,6	3	2,6	105
		%	100	2,7	2,4	94,9
	80%t	mm	105,2	3,3	17,9	84
		%	100	3,1	17,0	79,8
	60%t	mm	85,5	2,8	19,7	63
		%	100	3,3	23,0	73,7
	неполивен	mm	63,5	22,1	41,4	-
		%	100	34,8	65,2	

Таблица 14.

Формиране на ЕТ при микродъждване

	Варианти		ET	W	N	M
2020	100% <i>m</i>	mm	113,2	4,2	42	67
		%	100	3,7	37,1	59,2
	80% <i>m</i>	mm	101,8	3,9	44,3	53,6
		%	100	3,8	43,5	52,7
	60% <i>m</i>	mm	89,4	3,5	45,7	40,2
		%	100	3,9	51,1	45,0
	неполивен	mm	69,6	7	62,6	-
		%	100	10,1	89,9	
2021	100% <i>m</i>	mm	117,9	4,1	3,8	110
		%	100	3,5	3,2	93,3
	80% <i>m</i>	mm	106,7	3,9	14,8	88
		%	100	3,7	13,9	82,5
	60% <i>m</i>	mm	88,8	3,5	19,3	66
		%	100	3,9	21,7	74,3
	неполивен	mm	63,5	22,1	41,4	-
		%	100	34,8	65,2	

През първата и втората опитна година, при оптимално напояваните варианти, и при двете поливни техники, основна роля при формиране на евапотранспирацията има напоителната норма (Таблица 13 и 14). В процентно отношение, тя заема 57,2% за 2020 година и 94,9% за 2021 година при капковото напояване, и 59,2% и 93,3% съответно при микродъждването. Тази значителна разлика е обяснима по отношение обезпечеността с валежи през вегетационния период, като 2020г. се характеризира като средно влажна, а 2021г. – средно суха. Процентното участие на използваемите валежи при капковото напояване през първата година е 39%, а през втората 2,4%, при микродъждването – 37,1% и 3,2%. Участието на водния запас и при двете техники на напояване е минимално, като при капковото напояване за 2020 година е 3,8%, а при микродъждването 3,7%, за 2021 година процентното участие е съответно 2,7 и 3,5%.

При редуциране с 20% на нормите спрямо оптималния вариант – 100% m, и при двете поливни техники, тенденцията се запазва като в процентно отношение по-висок дял при формиране на ЕТ заема напоителната норма. При капковото напояване за 2020 година той е 50,6%, а за 2021 година 79,8%, при микродъждуването съответно – 52,7% и 82,5%. При този вариант се наблюдава увеличение на използваемите валежи, доближаващи се в процентно отношение до напоителните норми – през първата година при капковото напояване – 45,4%, а при микродъждуването – 43,5%. През втората година дялът на използваемите валежи е сравнително по-малък от първата, като при капковото напояване е 17%, а при микродъждуването 13,9%. Наблюдава се леко увеличение на участието на водния запас при капковото напояване за 2020 година което е 3,9%, а при микродъждуването 3,8%, а през 2021 година съответно - 3,1% и 3,7% (Таблица 13 и 14).

При варианта 60% m, през първата опитна година, върху формирането на ЕТ и при двете техники на напояване по-висок дял заемат използваемите валежи. При капковото напояване те са 53,7%, а при микродъждуването 51,1%, следвани от напоителната норма съответно – 42,2% и 45%, а участието на водният запас – 4% и 3,9%. През втората реколтна година, падналите валежи са двойно по-ниски спрямо първата, поради което доминиращ дял при формиране на ЕТ заема напоителната норма. При капковото напояване процентното и участие е 73,7% а при микродъждуването 74,3%. Използваемите валежи при капково напояване и микродъждуване заемат съответно – 23% и 21,7%, а водният запас - 3,3% и 3,9% (Таблица 13 и 14).

При неполивния вариант формирането на ЕТ се дължи изцяло на използваемите вегетационни валежи. През първата година те заемат 89,9%, а през втората 65,2%, като участието на водния запас е съответно 10,1% и 34,8% (Таблица 13 и 14).

5.6 Продуктивност на ЕТ

Продуктивността на ЕТ представлява отношението на получения добив от единица площ, при изразходването на 1 mm вода. В таблица 15 са представени данните, необходими за изчисляването на този показател, средно за експерименталния период.

Средно за експерименталния период най - висока продуктивност на ЕТ е получена при капковото напояване – 52,22 kg/m³ при реализиране на 100% m. Вариантът 60% m и при двете поливни техники, отчита почти равна продуктивност, съответно за капковото напояване - 50,9 kg/m³, за микродъждуването - 50,28 kg/m³. Продуктивността при варианта 80% m е с много близки стойности средно за експерименталните години, съответно при капковото напояване – 48,16 kg/m³; при микродъждуването – 47,59 kg/m³. Най-ниска продуктивност е изчислена при неполивният вариант (Таблица 15).

Таблица 15.

Продуктивност на ЕТ при капково напояване и микродъждуване средно за експерименталния период

2020-2021г.	Капково напояване				Микродъждуване			
	Варианти				Варианти			
	100% m	80% m	60% m	неполи вен	100% m	80% m	60% m	неполи вен
Добив, (kg/da)	5672	4853	4384	1390	5757	4963	4481	1390
ЕТ, (mm)	108,6	100,8	86,1	66,55	115,55	104,25	89,1	66,55
Продуктивност на ЕТ (kg/m ³)	52,22	48,16	50,90	20,54	49,82	47,59	50,28	20,54

6. Връзка „Добив – ЕТ“

За установяване на въздействието на условията на воден стрес, създадени от приложените поливни режими с редукция на поливните норми, е изследвана зависимостта „добив-евапотранспирация“.

6.1 Капково напояване

В таблица 16 са представени изходните данни за добива и сумарната ЕТ при капковото напояване, с помощта на които е установена връзката „Добив – ЕТ“. С програмният продукт „YIELD“, по метода на най-малките квадрати са обработени експерименталните данни за относителния добив и относителната ЕТ. За единица е приет оптималният вариант – 100% m, при който е получен най-висок добив.

Таблица 16.

Исходни данни за връзката „Добив - ЕТ“ при капково напояване

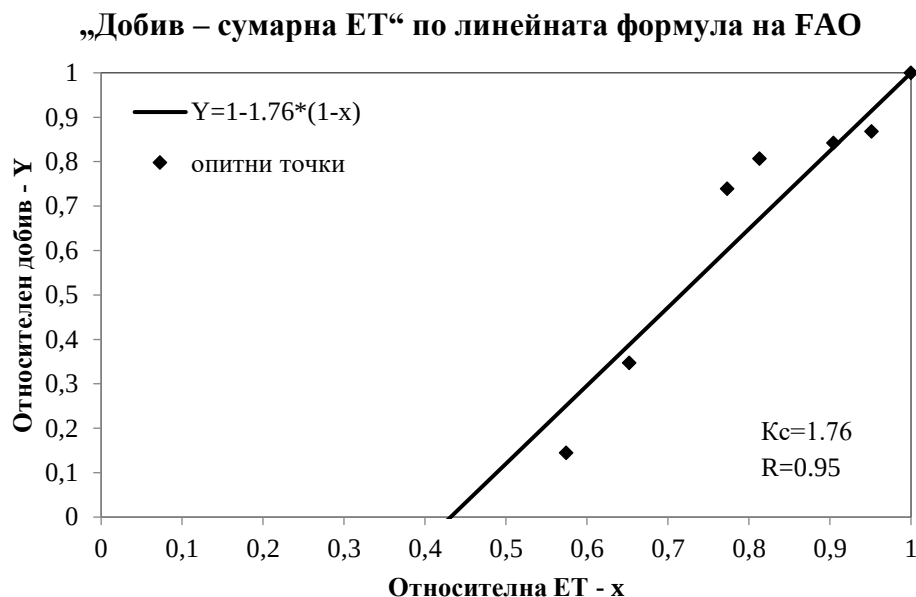
Година	Вариант	Y kg/da	$\frac{Y}{Y_0}$	ET, mm	$\frac{ET}{ET_0}$
2020	100% <i>m</i>	5573	1	106,6	1
	80% <i>m</i>	4693	0,84	96,4	0,90
	60% <i>m</i>	4500	0,81	86,7	0,81
	неполивен	1939	0,35	69,6	0,65
2021	100% <i>m</i>	5770	1	110,6	1,00
	80% <i>m</i>	5012	0,87	105,2	0,95
	60% <i>m</i>	4267	0,74	85,5	0,77
	неполивен	840	0,15	63,5	0,57
средно	100% <i>m</i>	5672	1,00	108,6	1,00
	80% <i>m</i>	4853	0,86	100,8	0,93
	60% <i>m</i>	4384	0,77	86,1	0,79
	неполивен	1390	0,24	66,55	0,61

*Y – добив; Y/Y_0 – относителен общ добив; ET – сумарна евапотранспирация;
 ET/ET_0 – относителна сумарна евапотранспирация

6.1.1 Връзка „Добив – сумарна ЕТ“ при капково напояване, по формулата на ФАО

На фигура 9 са представени обобщените опитните данни, както по години, така и средно експерименталния период, които са осреднени с линейната зависимост на ФАО. Коефициентът на добива е $K_s = 1,76$, което означава, че да се получи някакъв, дори и минимален добив е необходимо водоразхода да е около 40-45%, спрямо максималния, като в конкретния случай е спрямо отчетените най-високи стойности на ЕТ при оптималният вариант – 100% *m*. Коефициентът на корелация е много висок $R = 0,95$.

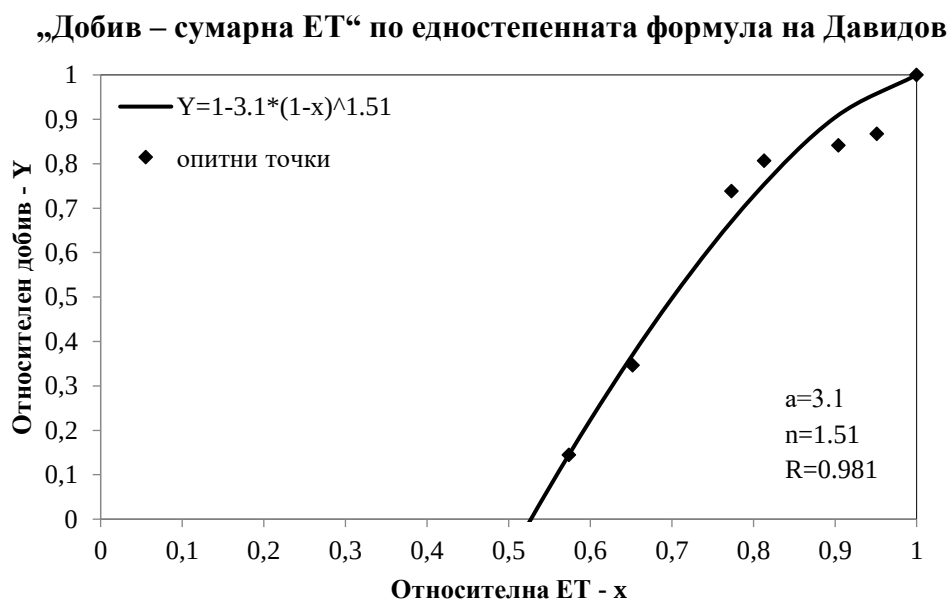
Фигура 9.



6.1.2 Връзка „Добив – сумарна ЕТ“ при капково напояване, по едностепенната формула на Д. Давидов

Графично при нея зависимостта е изразена чрез парабола, която дава възможност при конкретна стойност на ЕТ да се прогнозира какъв би бил добива. Полученият от формулата коефициент на добива е – $a=3,1$, а степенният показател – $n=1,51$ и много висок коефициент на корелация $R=0,981$ (Фигура 10). При така получената зависимост минимален добив може да се получи при стойности над 50-55% от максималният водоразход.

Фигура 10.

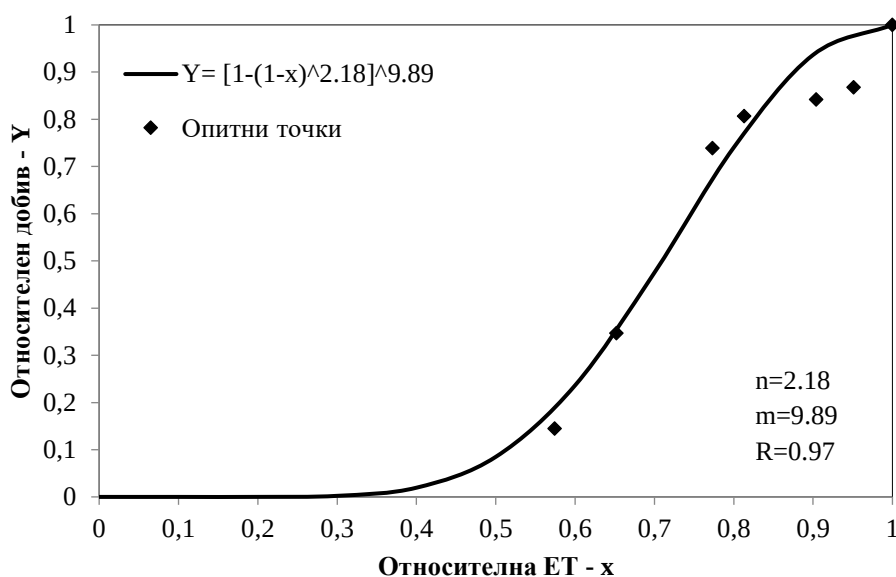


6.1.3 Връзка „Добив – сумарна ЕТ“ при капково напояване, по двустепенната формула на Д. Давидов

По формулата са изчислени степенните показатели $n=2,18$, $m=9,89$, като отново е получен висок коефициент на корелация $R=0,97$. Резултатите графично са изобразени на фигура 11, като са представени с S-образна крива, която отчита плавното изменение на относителният добив с нарастване на относителната сумарна евапотранспирация.

Фигура 11.

„Добив – сумарна ЕТ“ по двустепенна формула на Д. Давидов



Най-висок коефициент на корелация се получава при анализиране на данните за добива и ЕТ при салата, по едностепенната формула на Давидов.

6.2 Микродъждване

Зависимостта при микродъждването също е определена на база данните за относителният добив и относителната ЕТ, отново с помощта на програмният продукт „YIELD“, представени на таблица 17. За единица е приет оптималният вариант – 100% m , при който е получен най-висок добив.

Таблица 17.

Изходни данни за връзката „Добив - ЕТ“ при микродъждване

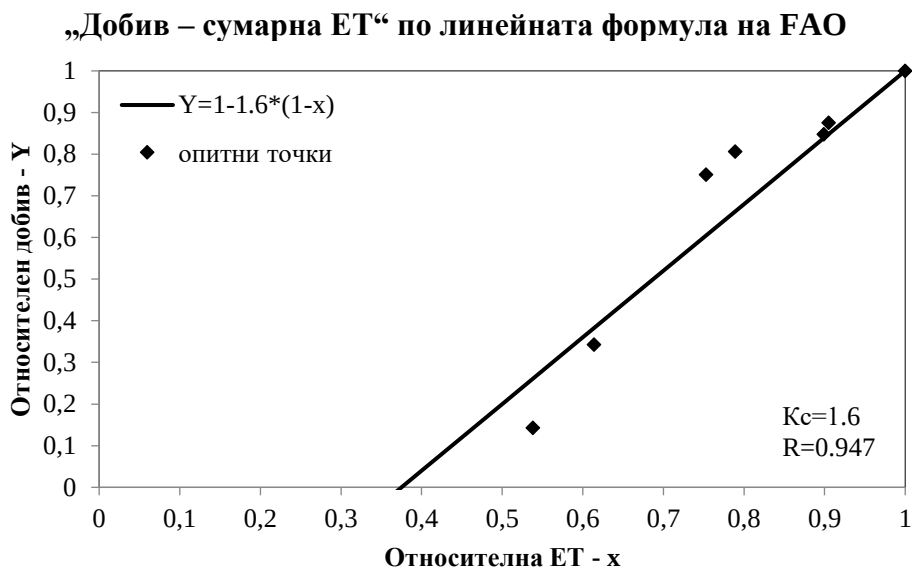
Година	Вариант	Y kg/da	$\frac{Y}{Y_0}$	ET, mm	$\frac{ET}{ET_0}$
2020	100%	5640	1	113,2	1
	80%	4783	0,85	101,8	0,90
	60%	4547	0,81	89,4	0,79
	неполивен	1938	0,34	69,6	0,61
2021	100%	5873	1	117,9	1
	80%	5142	0,88	106,7	0,91
	60%	4414	0,75	88,8	0,75
	неполивен	840	0,14	63,5	0,54
средно	100%	5757	1	115,6	1
	80%	4963	0,86	104,3	0,90
	60%	4481	0,78	89,1	0,77
	неполивен	1389	0,24	66,6	0,58

*Y – добив; Y/Y_0 – относителен общ добив; ET – сумарна евапотранспирация;
 ET/ET_0 – относителна сумарна евапотранспирация

6.2.1 Връзка „Добив – сумарна ЕТ“ при микродъждване, по формулата на ФАО

Графично линейната зависимост на ФАО, при микродъждването е изобразена на фигура 12, като са представени осреднените данни както по години, така и средно за експерименталният период. Полученият коефициент на добива е $K_s = 1,6$, с висок коефициент на корелация $R = 0,947$. За разлика от капковото напояване, от получените резултати при микродъждването, може да се отчете, че за получаването на минимален добив е необходимо сумарната ЕТ да е в границите 35-40%, спрямо максималната.

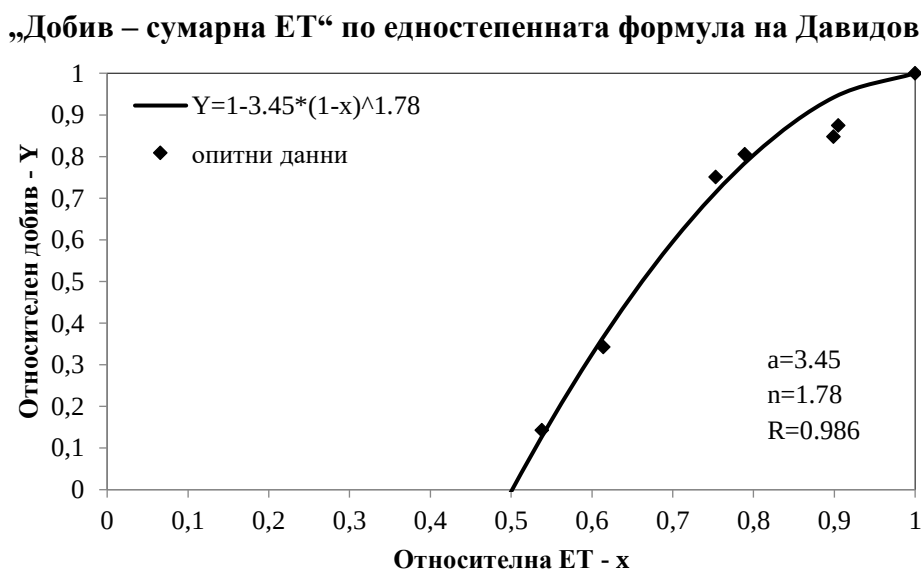
Фигура 12.



6.2.2 Връзка „Добив – сумарна ЕТ“ при микродъждване, по едностепенната формула на Д. Давидов

На фигура 13 е представена връзката между относителният добив и относителната сумарна ЕТ, като отново са използвани осреднените данни, както по формулата на FAO, но изчислени по едностепенната формула на Д. Давидов. Графично зависимостта е изразена чрез парабола. Полученият от формулата коефициент на добива е $a=3,45$, със степенен показател – $n=1,78$ и много висок коефициент на корелация $R=0,986$, показват че за получаването на минимален добив е необходим 50% от максималният водоразход.

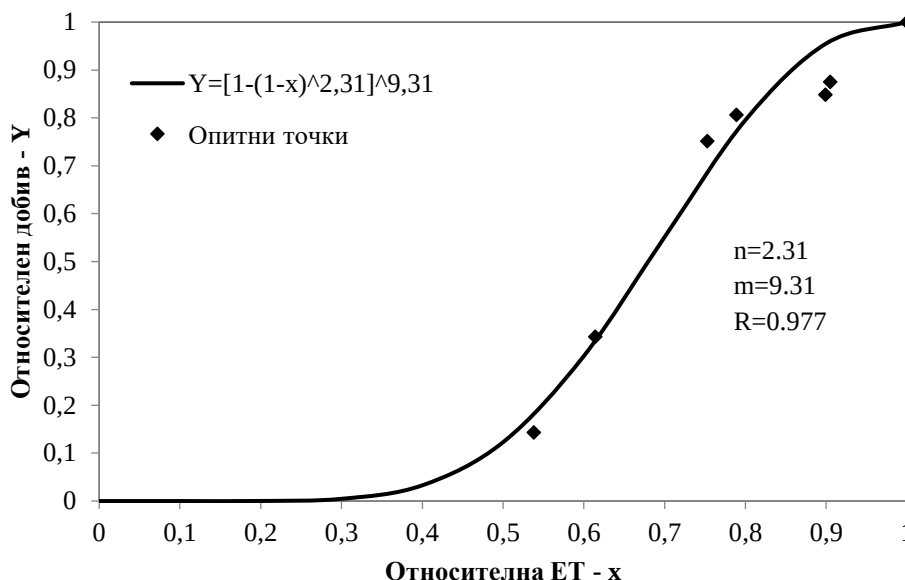
Фигура 13.



6.2.3 Връзка „Добив – сумарна ЕТ“ при микродъждоване, по двустепенната формула на Д. Давидов

Фигура 14.

„Добив – сумарна ЕТ“ по двустепенната формула на Д. Давидов



Чрез двустепенната формула на Д. Давидов са обработени същите опитни данни, използвани при предходните формули. Изчислени са степенните показатели $n=2,31$, $m=9,31$, с висок коефициент на корелация $R=0,977$. Резултатите графично са изобразени с S-образна крива представена на фигура 14, отчитаща изменението на относителният добив с промяна на относителната сумарна ЕТ, което повишава точността на апроксимация.

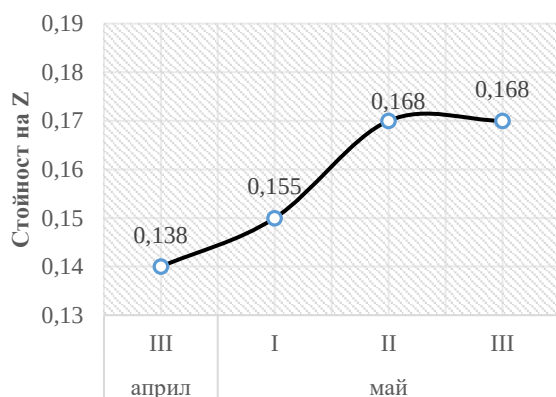
7. Биофизични коефициенти

7.1 Стойности на биофизичния коефициент Z

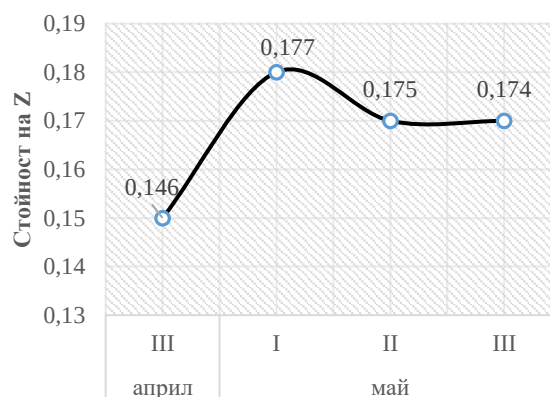
Биофизичният коефициент Z, наричан още коефициент на сумарното водопотребление, е определен на база реалната евапотранспирация на отглежданата култура и температурните суми по време на вегетационния период.

Варирането на реалната ЕТ, съответно при капковото напояване и микродъждоването, по време на вегетационния период дава своето отражение и върху получените осреднени стойности на биофизичния коефициент Z, графично представени на Фигура 15 и 16.

Фигура 15.
Стойност на биофизичния коефициент Z, средно за експерименталния период, при капково напояване



Фигура 16.
Стойност на биофизичния коефициент Z, средно за експерименталния период, при микродъждване

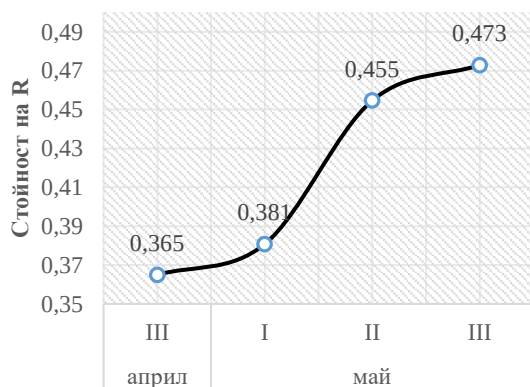


7.2 Стойности на коефициента R

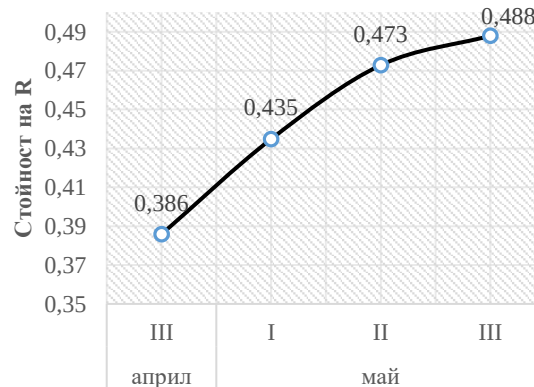
Дефицита на насищане на въздуха с водни пари е важен и определящ фактор върху протичането на евапотранспирацията. Посредством коефициента R, много автори го препоръчват за индиректното определяне на ET.

Динамиката на дефицита на насищане на въздуха с водни пари през опитните години, независимо от поливната техника, дава своето отражение върху осреднените стойности на коефициента R, представени на фигура 17 и 18.

Фигура 17.
Стойност на биофизичния коефициент R, изчислен по десетдневки средно за експерименталния период, при капково напояване



Фигура 18.
Стойност на биофизичния коефициент R, изчислен по десетдневки средно за експерименталния период, при микродъждване

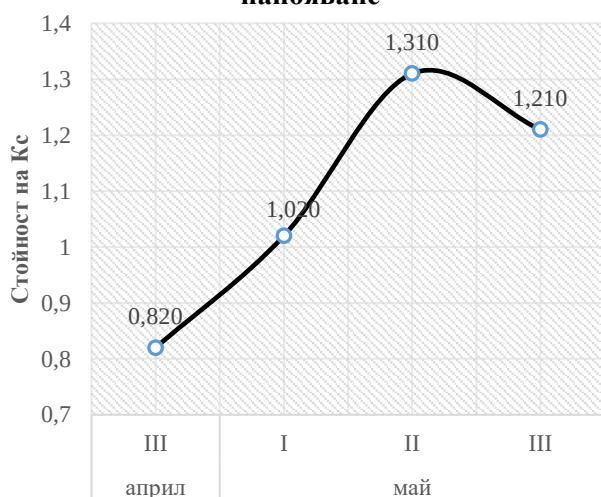


7.3 Стойности на коефициента K_s

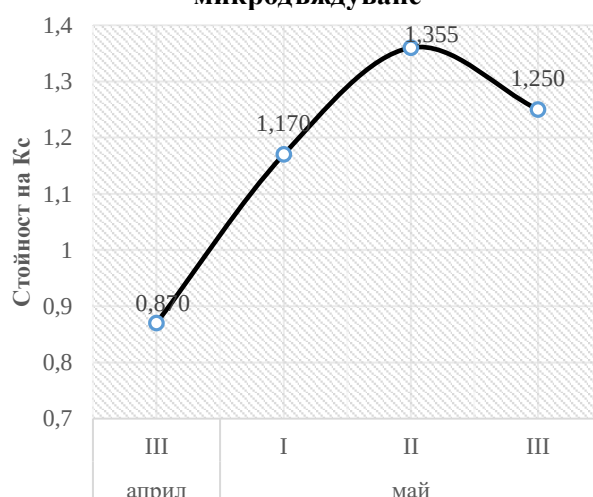
Еталонната евапотранспирация (ETo) е показател за изпарителната сила на атмосферата и се изчислява за култура-еталон, която отразява потенциала на средата да изпарява вода, съобразно климатичните условия по време на вегетационният период.

Средно за експерименталния период, нарастването на коефициента K_s по време на вегетационният период, е представен на фигури 19 и 20, максимални стойности достига през втората десетдневка на месец май, съответно при капковото напояване – 1,31, а при микродъждуването – 1,355. От направения анализ може да се направи извода, че решаващо значение за формиране на стойностите на коефициента K_s има водоразхода на културата.

Фигура 19.
Стойност на биофизичния коефициент K_s ,
изчислен по десетдневки средно за
експерименталния период, при капково
напояване



Фигура 20.
Стойност на биофизичния коефициент K_s ,
изчислен по десетдневки средно за
експерименталния период, при
микродъждуване



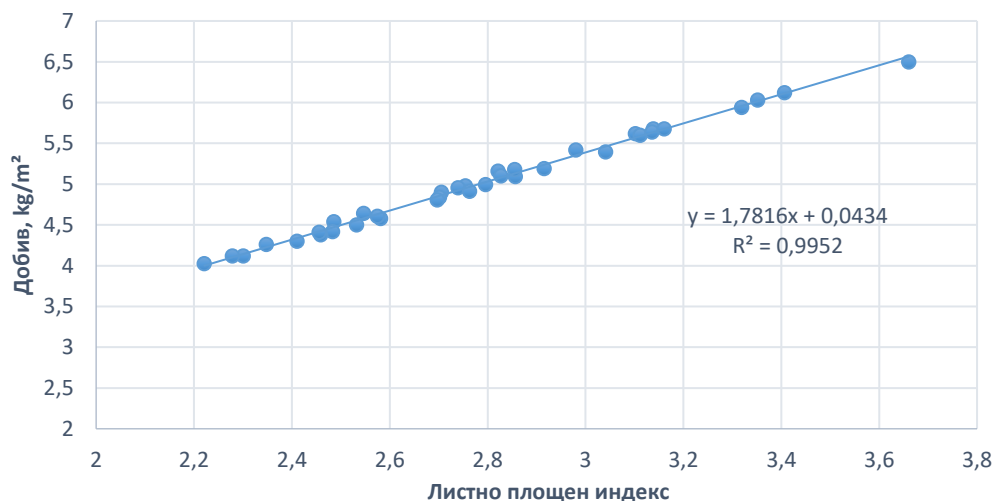
8. Влияние на регулирания поливен режим върху листната площ (ЛП) и листно-площния индекс

Като са използвани всички експериментални данни по варианти, години и поливни техники е изведена зависимост между листно-площния индекс (ЛПИ) и добива, представена на фигура 21. Същата се изразява най-добре с линейно уравнение от вида $y=1,7816x+0,434$, при много висок коефициент на детерминация ($R^2=0.995$), където x е ЛПИ, а y - добив. Чрез уравнението от графиката, може да се

прогнозира добива в зависимост от това, как се развива листната маса и каква е стойността на ЛПИ, като точността е много висока.

Фигура 21.

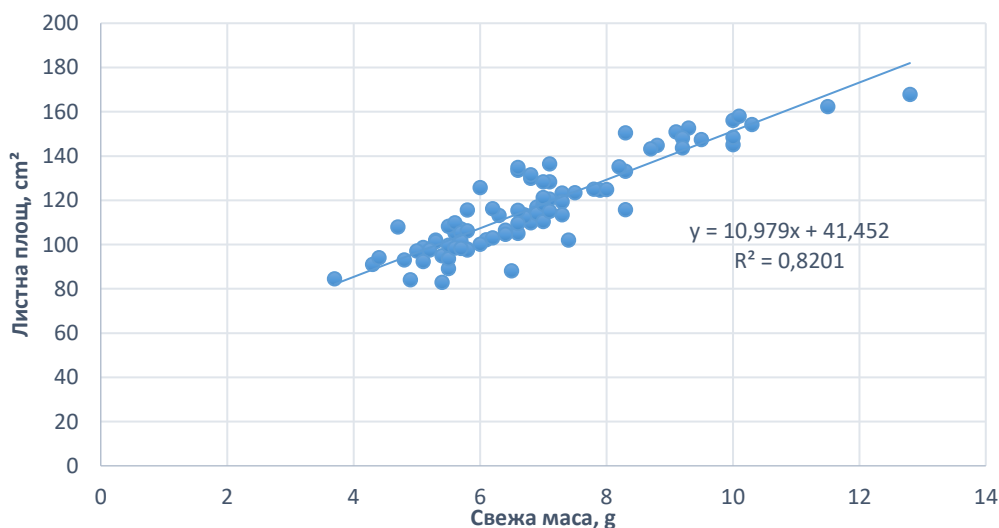
Зависимост между ЛПИ и добива



В хода на обработката и анализа на експерименталните данни са установени и някои полезни за практиката зависимости, които биха улеснили процедурите, свързани с установяването на някои показатели. Така, например, отчитането на листната площ е важно за получаване информация относно фотосинтетичните показатели и общото състояние на растенията, но в същото време, то е сложен и трудоемък процес. За целта е установена зависимост, която дава възможност за бързо и лесно определяне листната площ (ЛП) на салатата, на база данни за масата на листата. Според резултатите, може да бъде използвана масата на свежите листа (Фигура 22), както и тази на сухите листа (Фигура 23).

Фигура 22.

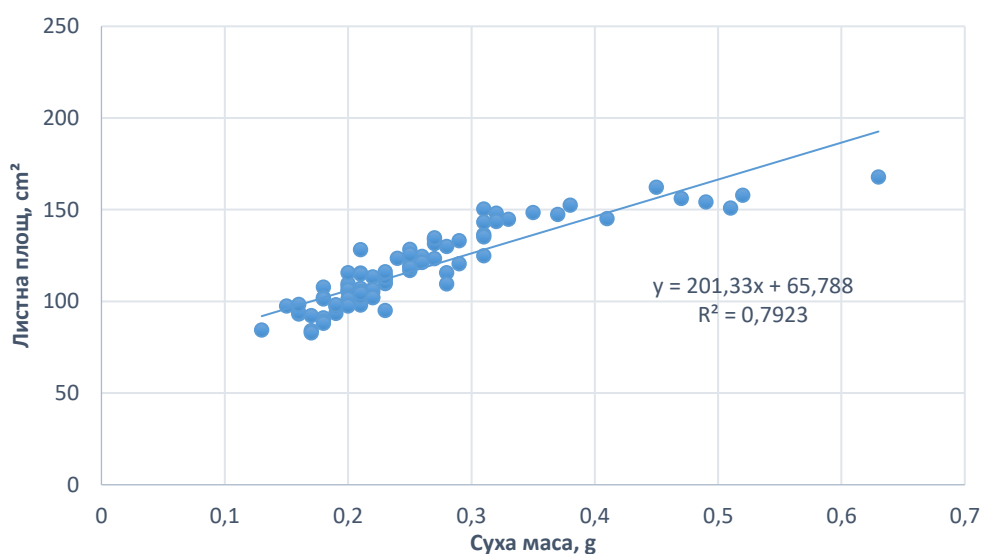
Зависимост между ЛП и свежата маса на листата



И в двата случая зависимостта е линейна средно при $R^2 \geq 0.8$, което означава, че използваемостта им е еквивалентна. Предимство обаче, би следвало да се даде на зависимостта със свежата листна маса, тъй като отпада необходимостта от изсушаване на листата. Това от своя страна спестява много време и енергийни разходи.

Фигура 23.

Зависимост между ЛП и сухата маса на листата



9. Икономически анализ

Един от на-важните аспекти при провеждане на регулиран поливен режим при салата е да се оцени икономическата му ефективност, т.е. кои варианти на напояване при съответната поливна техника са печеливши, рентабилни и доходни.

Получените резултати за добива средно за експерименталния период при капковото напояване и микродъждуването, дават възможност да бъде представена икономическа оценка при различни варианти на напояване.

Най-важните показатели (общ приход, общи разходи, общ доход (печалба), себестойност, норма на рентабилност, норма на доходност), характеризиращи икономическата ефективност, при използването на съответната поливна техника са представени на таблици 18 и 19.

Таблица 18.

Икономически резултати от проведения регулиран поливен режим с капково напояване на салата – средно за периода на изследване

Варианти	100%	80%	60%	неполивен
Добив, кг/дка	5672	4853	4384	1390
Средна цена, лв./кг	1,60	1,60	1,60	1,60
Общ приход, лв./дка	9075,20	7764,80	7014,40	2224,00
Общи разходи, лв./дка	4350,8	4346,6	4342,5	4330
Себестойност, лв./кг	0,77	0,90	0,99	3,12
Норма на рентабилност, %	108,6	78,6	61,5	-48,6
Норма на доходност, %	130,4	111,7	101,0	32,1
Общ доход (печалба), лв./дка	4724,4	3418,2	2671,9	-2106,0

Таблица 19.

Икономически резултати от проведения регулиран поливен режим с микродъждване на салата – средно за периода на изследване

Варианти	100%	80%	60%	неполивен
Добив, кг/дка	5757	4963	4481	1390
Средна цена, лв./кг	1,60	1,60	1,60	1,60
Общ приход, лв./дка	9211,2	7940,8	7169,6	2224
Общи разходи, лв./дка	4352,1	4347,7	4343,3	4330
Себестойност, лв./кг	0,76	0,88	0,97	3,12
Норма на рентабилност, %	111,6	82,6	65,1	-48,6
Норма на доходност, %	132,3	114,2	103,2	32,1
Общ доход (печалба), лв./дка	4859,1	3593,1	2826,3	-2106

VI. ИЗВОДИ

1. Прилагането на регулиран поливен режим при салата, сорт „Зимна маслена глава“, чрез две техники за микронапояване, показва че най-високи добиви се получават при 100% m и поддържане на висока почвената влажност. За осъществяването му, в зависимост от климатичните условия се препоръчва напояването през пролетния период да се извършва през 2-3 дни с поливна норма 8-10 mm. При този вариант се отчитат и най-добри икономически резултати.

2. Редуцирането на поливните норми понижава продуктивността на салатените растения. Напояване, извършено с поливна норма 80 и 60% m намалява добива на културата средно с 14,4% и 22,7%, при капковото напояване и 13,8% и 22,2%, съответно при микродъждуването. От икономическа гледна точка, може да се препоръча напояването да се извършва с норма 80% m, в условие на ограничени водни ресурси, като нормата на доходност при прилагане с капково напояване е 111,7%, а при микродъждуването – 114,2%.

3. Икономически не е оправдано отглеждането на салата при неполивни условия, тъй като в зависимост от степента на засушаване, загубите на добив са значителни в сравнение с вариантите, при които е осигурена 100% от необходимата поливна норма.

4. Продуктивността на напоителната норма при оптимално напояването варианти на двете поливни техники е много близка, почти равна на тези, напоявани с 80% m. Най-висока продуктивност на напоителната норма, средно за експерименталния период се констатира при варианта 60% m, съответно при капковото напояване – $62,2 \text{ kg/m}^3$, а при микродъждуването – $59,5 \text{ kg/m}^3$.

5. Връзката „Добив-Напоителна норма“ е с висок коефициент на детерминация, средно за експерименталния период и при двете техники за микронапояване $R^2=0,99$. Изразена чрез степенната формула на Давидов, графически зависимостта „Добив-Напоителна норма“, се изразява с изпъкнала парабола със степенен показател $n=1.19$ и коефициент на корелация $R=0.987$, при капковото напояване, а при микродъждуването: $n=1.25$ и $R=0.989$.

6. В условията на експеримента оптимално напояването варианти на изпитания сорт салата, изразходват и най-големи количества вода, съответно при капковото напояване водоразходът е средно 108,6 mm, а при микродъждуването 115,6 mm. Реализирането на по-ниски поливни норми, спрямо оптимално приетите при капково напояване понижава водоразхода на културата, при вариант 80% m

намалението на ЕТ е 7,2%, а при 60% m - 20,7%. При микродъждуването стойностите на ЕТ са съответно 9,8% и 22,9%.

7. Най-висок денонощен водоразход на културата е отчетен през втората декада на месец май, което съвпада с интензивното нарастване на салатните растения. Максимални стойности на средноденонощната ЕТ са установени при варианта 100% m, съответно при капковото напояване – 3,25 mm, и 3,35 mm при микродъждуването, а минимални при неполивния вариант – 2,15 mm.

8. Участието на напоителната норма преобладава и доминира при формиране на ЕТ, особено при вариантите, напоявани със 100% и 80% m. При варианта с 40% редукия на поливната норма, това участие е в диапазона от 42,2% до 73,7% при капковото напояване и от 45% до 74,3% при микродъждуването.

9. Най-висока продуктивност на ЕТ при капковото напояване е отчетена при варианта 100% m – 52,2 kg/m³, докато при микродъждуването е установена при варианта 60% m – 50,28 kg/m³. Най-ниска е при неполивни условия.

10. Връзката „Добив-ЕТ“ е представена най-точно чрез едностепенната формула на Давидов, графически изразена чрез крива, при степенен показател $n=1.51$, коефициент на добива $a=3,1$ и висок коефициент на корелация $R=0.981$ при капково напояване; $n=1.78$, коефициент на добива $a=3,45$ и висок коефициент на корелация $R=0.986$, съответно при микродъждуването. Коефициентите на добива, изчислени по линейната формула на ФАО, определят салатата като чувствителна към воден дефицит ($K_s=1,76$ при капково напояване и $K_s=1,6$ при микродъждуване).

11. Независимо, че при капковото напояване са реализирани по-малки обеми вода през вегетацията на салата, добивите в сравнение с микродъждуването са по-малки с около 1,5 %. При този начин на напояване се получават по-високи стойности на продуктивност на поливната вода – от 4,7% до 5,3% и по-висока продуктивност на евапотранспирацията – от 1,2% до 4,8 %, което го определя като по-икономичен по отношение на ефективността на използване на поливната вода, в сравнение с микродъждуването.

12. Препоръчва се използването на биофизичният коефициент Z, установен на база температурната сума и евапотранспирацията, за индиректно определяне ЕТ на салатните растения и при двете поливни техники.

13. Установената линейна зависимост $y=1,7816x+0,434$, между добива и листно-площния индекс, може да се използва за прогнозиране на добива на салата.

НАУЧНИ И НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

1. За първи път в България е изследвано влиянието на регулирания поливен режим с две техники за микронапояване (капково и микродъждуване) върху продуктивността на салата, сорт „Зимна маслена глава“, с практически приложими резултати.
2. Установени са елементите на регулирания поливен режим, при съответната поливна техника, и реакцията на културата по отношение на прилагането му, в години с различна обезпеченост на валежите.
3. Определени са параметрите на зависимостта „Добив-Напоителна норма“ и „Добив-ЕТ“, чрез съществуващи математически модели, при съответната поливна техника.
4. Определена е чувствителността на салата към воден дефицит, с установения по формулата на ФАО и едностепенната формула на Давидов, коефициент на културата, при две техники за микронапояване.
5. Изчислени са биофизичните коефициенти на ЕТ на салата - R , Z и K_s . Препоръчва се използването на биофизичният коефициент Z , за индиректно определяне ЕТ на салатните растения и при двете поливни техники.
6. Установени са зависимости между свежата маса, листната площ, листно-площния индекс и добива, чрез които може да се прогнозира очаквания добив от салата.
7. Определена е икономическата ефективност от прилагането на регулиран поливен режим при две техники за микронапояване.

СПИСЪК С НАУЧНИ ПУБЛИКАЦИИ ВЪВ ВРЪЗКА С ДИСЕРТАЦИЯТА

1. Hristova, N., & Meranzova, R. (2022). Yield of Lettuce Grown in Conditions of Water Deficit. Добив от салата отглеждана в условия на воден дефицит. *Journal of Mountain Agriculture on the Balkans* , Vol. 25, Issue 3, pp. 268–280. ISSN 1311-0489 (Print), ISSN 2367-8364 (Online).
2. Hristova, N., Meranzova, R., & Dimov, K. (2021). Establishing the Evapotranspiration of Lettuce, with Differentiated Irrigation Regime. Установяване евапотранспирацията на салата, при диференциран поливен режим. *Journal of Mountain Agriculture on the Balkans*, Vol. 24, Issue 5, pp. 396–407. ISSN1311-0489 (Print), ISSN 2367-836 (Online).
3. Hristova, N., Meranzova, R., & Dimov, K. (2021). Influence of Water Quality on the Weight of Lettuce, Maritima Variety. Влияние на качеството на водата върху теглото на салата, сорт Маритима. *Journal of Mountain Agriculture on the Balkans*, Vol. 24, Issue 4, pp. 411–428. ISSN1311-0489 (Print), ISSN 2367-836 (Online).