

## פלפל בבקעת הירדן – דיוק ההשקיה בבתי צמיחה תוך התחשבות בשלבי ההתפתחות הצמחים ובמתח המים בקרקע.

אפרים צפלבניץ, זיוה גלעד, אוהד נוריאל, אחיעם מאיר - מו"פ בקעת הירדן, תחנת צבי דויד סילברמן – משרד החקלאות וביטחון המזון, שהמ.  
ד"ר יוסי טנאי - המחלקה למדעי הקרקע, מינהל המחקר החקלאי, מכון וולקני  
ד"ר כרמית זיו, גינת רפאל – המכון לחקר תוצרת חקלאית, מנהל המחקר החקלאי.

### תקציר

בשנים 22/23-24/25 התבצע מחקר לבחינת ממשקי השקיה בגידול פלפל בלוקי בחורף בבית רשת בבקעת הירדן. הטיפולים בניסוי היו: ביקורת מסחרית לפי ההמלצות, השקיה כמו במסחרי עם טפטפות בספיקה נמוכה (0.8 לעומת 1.6 ליטר/שעה), השקיה לפי דרישה (מתח סף לפתיחה של המים לפי ממוצע של 2 תחנות טנסיומטרים בעומק 20 ס"מ ומתח סף לסגירה לפי ממוצע של 2 תחנות של טנסיומטרים בעומק 40 ס"מ), השקיה לפי התאדות הנמדדת במכשיר גרופיט המוצב במבנה הגידול כתחנה מטאורולוגית בגובה 3 מ', השקיה לפי גרופיט+ אלגוריתם שמתחשב גם בהשתנות גובה הצמח במהלך העונה לקבלת נתוני פנמן מונטיס יותר מדויקים. מתוצאות הניסויים עולה שבממוצע כל הטיפולים שיפרו את היעילות של השימוש במים, אבל כשלוש חשבו גם את השפעת הטיפולים על היבול והאיכות נראה שישנם 2 טיפולים שיכולים לשפר את התוצאות ביחס לטיפול המסחרי, הטיפולים הם: השקיה לפי מסחרי בספיקה נמוכה והטיפול שבו משתמשים בנתוני פנמן מונטיס שמתקבלים ממכשיר גרופיט שממוקם בגובה 3 מ'. טיפולים אלה מגדילים את יעילות השימוש במים ומשפרים את היבול והאיכות ביחס לטיפול המסחרי. בבדיקות להשפעת הטיפולים על כושר אחסון היו הבדלים בהשפעת הטיפולים בין השנים. בסה"כ הטיפול של הספיקה הנמוכה היה טיפול לא פחות טוב מהטיפול המסחרי גם בהקשר של כושר אחסון, לעומת זאת הטיפול של ההשקיה לפי גרופיט היה פחות טוב בשנה הראשונה והשנייה, לעומת זאת בשנה השלישית היה בטיפול זה פחות פרי מצומק והערכת המוצקות הייתה יותר גבוהה.

### מבוא

גידול הפלפל (*Capsicum annuum* L.) מהווה נדבך מרכזי בכלכלת בקעת הירדן, אזור המתאפיין בתנאי עקה תרמית קיצוניים ובמחסור במים איכותיים. האתגר המרכזי העומד בפני המגדלים הוא השגת איזון אופטימלי בין חיסכון במים לבין שמירה על יבול גבוה ואיכות פרי מעולה. בספרות המקצועית מודגש כי פלפל הוא אחד הגידולים הרגישים ביותר לעקות מים (Kirnak et al., 2003), וכי ניהול השקיה לא מדויק עלול להוביל לנזקים פיזיולוגיים כגון סידוקים בפרי, מחסור בסידן ופרי "דבלן" (מצומק).

בשנים האחרונות הוכח כי השימוש בנתוני אקלים הנמדדים בתוך מבנה הגידול (Micro-climate) תורם משמעותית לייעול צריכת המים בהשוואה להסתמכות על תחנות מטאורולוגיות חיצוניות (טנאי, 2018; טנאי וחובי, 2021). המחקר הנוכחי בחן את המערכת הטכנולוגית הזמינה "גרופיט" (Grofit), המציעה פתרון ניטור בעלות נמוכה, במטרה להנגיש את ההשקיה המדויקת למגדל הבודד. במקביל, שולבה שיטת "השקיה לפי דרישה" (Irrigation On Demand - IOD) המבוססת על מתח המים בקרקע. השימוש בטנסיומטרים מאפשר מדידה ישירה של כוח תאחיזת המים בקרקע המושפע מיניקת השורשים, ובכך מספק אינדיקציה מדויקת יותר לצורכי הצמח המשתנים (מוטס, 2012).

היבט נוסף וקריטי שנבחן במחקר תלת-שנתי זה (עונות 22/23, 23/24, 24/25) הוא השפעת ספיקת הטפטפות על היבול, איכות הפרי וחיי המדף. מחקרים בתחום ההשקיה המדויקת מצביעים על כך שספיקות נמוכות (למשל 0.8 ליטר/שעה) מאפשרות רמת אחידות גבוהה יותר בהרטבת חתך הקרקע ושיפור ביעילות קליטת הנוטריינטים (Sacks et al., 2014). ממצאי המחקר בבקעה מחזקים תפיסה זו, שכן טיפולי הספיקה הנמוכה הפגינו עליונות במדדי מוצקות הפרי ובצמצום איבוד המשקל לאחר קטיף.

## מטרות המחקר

מחקר זה מבקש לבדוק תמונה אינטגרטיבית של השפעת ממשקי ההשקיה השונים על היבול הכללי, איכות הפרי, וחיי מדף, תוך שימת דגש על פיתוח מקדמי השקיה דינמיים המותאמים לשלבי ההתפתחות השונים של הצמח בתנאי המיקרו-אקלים הייחודיים של בקעת הירדן.

## מהלך המחקר ושיטות עבודה

### 1. אתר הניסוי ותנאי הגידול

הניסוי נערך בקרקע מקומית (קרקע בינונית כבדה), במשך שלוש עונות עוקבות בתחנת הניסיונות של מו"פ בקעת הירדן. הגידול בוצע בתוך בית רשת המייצג את תנאי הגידול המקובלים באזור. שתילה באוגוסט, גידול עד סוף מאי. הזן: שנה ראשונה - קנון, שנים ב' ו- ג' קונפידרו (החלפת הזן בוצעה בגלל שמבחינה מסחרית הקנון ירד והקונפידרו הפך להיות הזן המרכזי)..

מבנה הניסוי: הניסוי נערך במבנה של בלוקים באקראי עם 4 חזרות לכל טיפול. כל חלקת ניסוי כללה שורת צמחים באורך 10 מ' (כל הנתונים נאספים מ-5 המרכזיים בכל חזרה)

### 2. תיאור הטיפולים

לאורך שנות המחקר נבחנו חמשה טיפולים מרכזיים להשוואת ממשקי השקיה:

**טיפול מסחרי (ביקורת):** השקיה לפי המלצות דפי ההדרכה של שה"מ לבקעת הירדן, המבוססות על נתוני התאדות מתחנה מטאורולוגית חיצונית וחישוב פנמן-מונטיס (אפרים צפלבץ, 2022).

**מסחרי בספיקה נמוכה:** כמות מים זהה לטיפול המסחרי, אך הניתנת באמצעות טפטפות בספיקה של 0.8 ליטר/שעה (לעומת 1.6 ליטר/שעה בשאר הטיפולים).

**השקיה לפי זרישה (IOD):** השקיה אוטונומית המופעלת על ידי חיישני מתח מים (טנסיומטרים). הפתיחה לפי ממוצע של 2 תחנות של טנסיומטרים בעומק 20 ס"מ, מתח הסף לפתיחת מים מבוסס על המקובל אצל החקלאים: עד לחנטה של 3-4 פירות 40 סנטיבר, אחרי חנטה של 3-4 פירות מתח הסף לפתיחת מים עומד על 30 סנטיבר בלבד. מתח הסף לסגירת מים עומד על 10 סנטיבר בלבד בממוצע ל 2 תחנות בעומק 40 ס"מ.

**השקיה לפי Grofit (גרופיט)+אלגוריתם:** התאדות מחושבת המתקבלת מנתוני חיישן גרופיט שנמצא בתוך המבנה בגובה 3.5 מ' עם נתוני רוח קבועים 0.2 מ' לשנייה, ובנוסף באמצעות אלגוריתם למידת מכונה ונתוני גובה הצמחים מעדכנים את הפנמן מונטיס של המבנה. בדומה למיקום של הסנסורים בתחנה מטאורולוגית במחקרים קודמים (טנאי, 2018), המקדם ביחס לנתונים משתנה במהלך העונה.

**השקיה לפי Grofit (גרופיט):** השקיה המבוססת על נתוני מיקרו-אקלים (טמפרטורה, לחות וקרינה) הנמדדים בתוך מבנה הגידול עצמו ע"י מכשיר Grofit+ נתון קבוע של רוח (0.2 מ' לשנייה), שנכנס לנוסחא לחישוב התאדות פנמן מונטיס בתוך המבנה. המכשיר ממוקם בגובה 3.5 מ', בדומה למיקום של הסנסורים בתחנה מטאורולוגית במחקרים קודמים גם בטיפול זה המקדם ביחס לנתונים משתנה במהלך העונה.

### 3. ניטור ובקרה

**מדידת כמויות מים** : בכל טיפול הותקנו מדי מים נפרדים למעקב מדויק אחר הצריכה היומית והעונתית.  
**מתח מים בקרקע** : בכל הטיפולים הותקנו טנסיומטרים דיגיטליים (בנוסף לאלו ששימשו להפעלה בטיפול ה-IOD) כדי לעקוב אחר זמינות המים בחתך הקרקע.

**נתוני אקלים** : חיישני גרופיט מדדו את תנאי הסביבה ברמת פירוט גבוהה.

### 4. מדדי בדיקה (פרמטרים שנבחנו)

**יבול** : קטיף ידני שבועי לאורך העונה. הפרי סווג ליבול ליצוא (איכות א'), יבול מקומי ופסילה.  
**איכות פרי וחיי מדף** : בסיום הקטיף נלקחו מדגמים לבדיקת : איבוד משקל (באחוזים) לאחר תקופת אחסון, מוצקות הפרי (הערכה ויזואלית ומכנית), פגמים פיזיולוגיים : פרי מצומק ("דבלן") וכתמי שיש (Stip).  
**בדיקות קרקע ועלים** : במהלך העונה נלקחו דגימות לבדיקת מוליכות חשמלית (EC) וריכוזי יסודות (כלוריד, נתרן, חנקן וכו') כדי לבחון את רמת ההמלחה בטיפולים השונים.

### 5. ניתוח סטטיסטי

הנתונים עובדו באמצעות ניתוח שונות (ANOVA). השוואת ממוצעים בוצעה באמצעות מבחן Tukey או t-test ברמת מובהקות של 5%.

## תוצאות

**כמויות מים** - בטבלה מס' 1 מרוכזים הנתונים של כמויות המים והמקדם בכל שלב גידול, כמו כן הסה"כ של כמויות המים במ"ק לד' לעונה בשנה הראשונה של הניסוי (2022/23).

### טבלה 1. סיכום כמויות מים (מ"ק/ד') והמקדם, לפי תקופת גידול וסה"כ לעונה 2022/2023

סה"כ כמויות המים (מ"ק לד' לעונה)	תקופות גידול									טיפולים
	עד סיום העונה		15/3/23 - 28/2/23		עד לפריסת רשת צל באביב		עד לחנטה של 3-4 פירות		משתילה ועד הפעלת הטיפולים	
	26/5/23 - 16/3/23				27/2/23 - 2/11/22		2/10/22 - 1/11/22		14/8/22-1/10/22	
	מקדם	כמות מים (מ"ק לד')	מקדם	כמות מים (מ"ק לד')	מקדם	כמות מים (מ"ק לד')	מקדם	כמות מים (מ"ק לד')	כמות מים (מ"ק לד')	
872	1.1	369	0.8	61	1.0	215	0.5	85	142	מסחרי
872	1.1	369	0.8	61	1.0	215	0.5	85	142	מסחרי ספיקה נמוכה
1195	1.1	396	1.4	103	1.4	310	1.3	217	169	השקיה לפי דרישה
675	1.5	243	1	30	1.0	177	1.0	76	149	גרופיט+ אלגוריתם
816	2.0	309	1.2	61	1.2	225	1.2	76	145	גרופיט

מטבלה 1 ניתן ללמוד שבשנה הראשונה של הניסוי הטיפול של ההשקיה לפי דרישה נתן יותר מים מכמות המים שניתן בטיפול המסחרי בכל השלבים של הגידול, בסה"כ בקנה מידה של שנה הוא נתן 323 מ"ק לד' יותר, לעומת זאת הטיפול שקיבל מים לפי גרופיט+ אלגוריתם נתן 200 מ"ק לד' פחות מכמות המים שניתנה בטיפול המסחרי והטיפול שנתן מים רק לפי הגרופיט נתן 56 מ"ק לד' פחות מכמות המים שניתנה בטיפול המסחרי.  
 בטבלה מס' 2 מרוכזים הנתונים של השפעת הטיפולים על כמויות המים והמקדם וסה"כ של כמויות המים במ"ק לד' בעונה השנייה של הניסוי (2023/24).

טבלה 2. סיכום כמויות מים (מ"ק/ד') והמקדם, לפי תקופת גידול וסה"כ לעונה 2023/2024

סה"כ כמויות המים (מ"ק/ד'//עונה)	תקופות גידול						טיפולים	
	עד סיום העונה		עד לפריסת רשת צל באביב		עד לחנטה של 4-3 פירות			משתילה ועד הפעלת הטיפולים
	10/5/24 - 23/2/24		22/2/24 - 8/10/23		7/10/23 - 21/9/23			-14/8/23 20/9/23
	מקדם	כמות מים (מ"ק לד')	מקדם	כמות מים (מ"ק לד')	מקדם	כמות מים (מ"ק לד')		כמות מים (מ"ק לד')
956	1.1	411	1.0	348	0.6	55	142	מסחרי
956	1.1	411	1.0	348	0.6	55	142	מסחרי ספיקה נמוכה
642	0.5	176	0.7	256	0.6	59	151	השקיה לפי דרישה
660	1.5	241	1.0	251	1.0	47	121	גרופיט+ אלגוריתם
856	2.0	337	1.2	331	1.2	68	120	גרופיט

מטבלה 2 ניתן ללמוד שבשנה 2023/24 הטיפול של ההשקיה לפי דרישה נתן 314 מ"ק לד' פחות מכמות המים שקיבל הטיפול המסחרי. הירידה בכמות המים בטיפול של ההשקיה לפי דרישה נובעת מירידה בתקופת החורף והאביב. הטיפול של ההשקיה לפי גרופיט+ אלגוריתם נתן בשנה הנוכחית פחות 300 מ"ק לד' מכמות המים בטיפול המסחרי וזאת לעומת העונה הקודמת שבה הוא נתן פחות 200 מ"ק לד'. הטיפול של הגרופיט נתן פחות 40 מ"ק לד' מהכמות שניתנה בטיפול המסחרי (בשנה הנוכחית העלנו את המקדם של הטיפול הזה ביחס לנתוני הגרופיט בשלב יותר מוקדם בעונה).

סיכום כמויות המים והמקדם בכל שלב גידול ובסיכום העונה בכ"א מהטיפולים בעונה 24/25 מרוכז בטבלה 3.

טבלה 3. סיכום כמויות מים (מ"ק/ד') והמקדם, לפי תקופות גידול וסה"כ לעונה 2024/2025

סה"כ כמויות המים (מ"ק/ד'//עונה)	תקופות גידול						טיפולים	
	עד סיום העונה		עד לפרישת רשת צל		עד לחנטה של 4-3 פירות			משתילה ועד הפעלת הטיפולים
	27/2/25-5/5/25		4/10/24-26/2/25		8/9/24-4/10/24			8/9/2024
	מקדם	כמות מים (מ"ק לד')	מקדם	כמות מים (מ"ק לד')	מקדם	כמות מים (מ"ק לד')		כמות מים (מ"ק לד')
781	1.1	342	1	296	0.6	63	80	מסחרי
781	1.1	342	1	296	0.6	63	80	מסחרי ספיקה נמוכה
713	0.7	207	1.2	354	0.7	76	76	השקיה לפי דרישה
498	1.5	166	1.1	190	1.1	71	71	גרופיט+ אלגוריתם
774	2	251	1.2	403	1.2	39	81	גרופיט

מטבלה 3 ניתן ללמוד שבעונה (24/25) כמויות המים בטיפול של ההשקיה לפי דרישה היו הרבה יותר קרובות לכמויות המים בטיפול המסחרי, לעומת זאת בטיפול שקיבל השקיה לפי גרופיט+ אלגוריתם כמויות המים היו פחותות בכ 300 קוב לד' ביחס לכמויות המים בטיפול המסחרי וזה בדומה למה שהיה בעונה הקודמת (23/24). הטיפול שקיבל השקיה לפי גרופיט היה בעונה הנוכחית כמעט זהה לכמויות המים בטיפול המסחרי.

## יבול - כמות ואיכות

בטבלה מס' 4 מרוכזים הנתונים של השפעת הטיפולים על היבול והאיכות בעונה 2022/23

### טבלה 4. השפעת טיפולי ההשקיה על היבול והאיכות בעונה 22/23

הטיפול	סה"כ יבול ק"ג/מ"ר	סוג א' (ק"ג/מ"ר)	משקל פרי ממוצע (גרם)	התפלגות גודל ב-%			
				M	L	XL	XL-G
מסחרי	9.9 אב	8.8 אב	158 אב	11.6 אב	37.1	38.8	12.6 בג
מסחרי ספיקה נמוכה	11.1 אב	10.4 אב	168 אב	9.0 אב	31.7	39.5	19.8 אב
השקיה לפי דרישה	<b>11.6 א</b>	<b>10.8 א</b>	<b>171 א</b>	6.6 ב	33.2	38.4	<b>21.7 א</b>
גרופיט+ אלגוריתם	9.9 אב	8.9 אב	158 אב	12.5 א	38.7	38.1	10.7 ג
גרופיט	9.2 ב	8.2 ב	155 ב	12.9 א	40.0	35.9	11.2 בג

• אותיות שונות באותו טור מלמדות על הבדל מובהק ברמה של 5% במבחן t-test student

מטבלה 4 ניתן ללמוד שהיבול הכללי, היבול ליצוא וגודל הפרי בטיפול שקיבל השקיה לפי דרישה היה גבוה באופן מובהק מהיבול הכללי, היבול ליצוא וגודל הפרי מהטיפול שקיבל השקיה לפי גרופיט, שאר הטיפולים לא נבדלו באופן מובהק מטיפול הביקורת ומהטיפול שקיבל השקיה לפי גרופיט. לגבי ההשפעה של הטיפולים על התפלגות הגודל, ניתן לראות שבטיפול של ההשקיה לפי דרישה יש יותר פרי גדול באופן מובהק ביחס ל % הפרי הגדול בכל הטיפולים האחרים, מלבד הטיפול של ההשקיה בספיקה נמוכה. לגבי % הפרי הקטן, ניתן לראות שבטיפול שקיבל השקיה לפי דרישה % הפרי הקטן היה נמוך באופן מובהק מ % הפרי הקטן בטיפול שקיבל השקיה לפי גרופיט עם או בלי אלגוריתם. בטבלה 5 מרוכזים הנתונים של השפעת הטיפולים על % הפרי הדבילן במהלך חודש מאי.

### טבלה 5. השפעת טיפולי ההשקיה על % הפרי הדבילן במהלך חודש מאי

הטיפול	% פרי דבילן בקטיף		
	28/5/23	8/5/23	1/5/23
מסחרי	15 אב	12	14
מסחרי בספיקה נמוכה	14 אב	15	10
השקיה לפי דרישה	<b>6 ב</b>	17	8
גרופיט+אלגוריתם	12 אב	12	12
גרופיט	16 א	15	9

• אותיות שונות באותו טור מלמדות על הבדל מובהק ברמה של 5% במבחן t-test student

מטבלה 5 ניתן ללמוד שבקטיף שהתבצע בסוף חודש מאי היה הבדל מובהק בין הטיפולים. בקטיף זה הייתה רמת הפרי הדבילן בטיפול שקיבל השקיה לפי גרופיט גבוהה באופן מובהק מרמת הפרי הדבילן בטיפול שקיבל השקיה לפי דרישה. שאר הטיפולים בניסוי לא נבדלו באופן מובהק מטיפול הקצה.

בטבלה 6 מרוכזים הנתונים של היבול והאיכות בעונה 23/24.

### טבלה 6. השפעת טיפולי ההשקיה על היבול והאיכות בעונה 23/24

הטיפול	סה"כ יבול (ק"ג/מ"ר)	סוג א' (ק"ג/מ"ר)	משקל פרי ממוצע (גרם)	התפלגות גודל ב-%			
				M	L	XL	XL-G
מסחרי	10.18 אב	9.68 אב	241	1	12	27	64
מסחרי בספיקה נמוכה	11.18 א	10.86 א	245	1	12	23	63
השקיה לפי דרישה	<b>9.51 ב</b>	<b>9.16 ב</b>	240	0	10	27	63
גרופיט+ אלגוריתם	10.14 אב	9.76 אב	238	1	10	25	63
גרופיט	11.34 א	10.80 א	243	1	9	27	60

• אותיות שונות באותו טור מלמדות על הבדל מובהק ברמה של 5% במבחן t-test student

מטבלה 6 ניתן ללמוד שבעונה 23/24 היבול הכללי והיבול ליצוא בטיפול של ההשקיה לפי דרישה היה נמוך באופן מובהק מהיבול בטיפול שקיבל השקיה לפי גרופיט. לגבי משקל הפרי הממוצע וההתפלגות לא היה הבדל מובהק בין הטיפולים.

בטבלה מס' 7 מרוכזים הנתונים של היבול והאיכות בעונה 24/25.

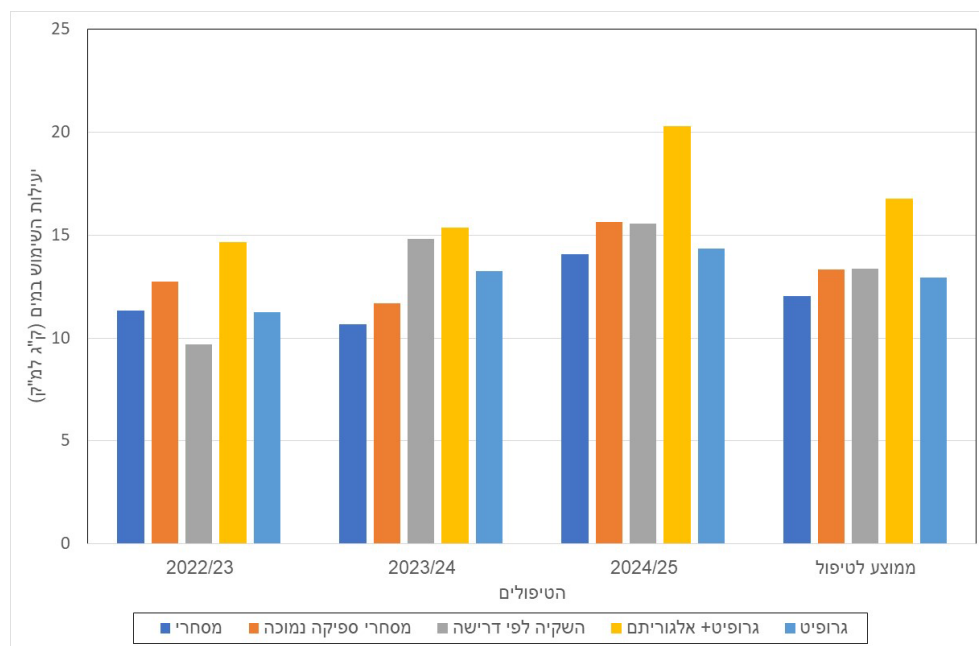
טבלה 7. השפעת טיפולי ההשקיה על היבול והאיכות בעונה 24/25

טיפולים	סה"כ יבול (ק"ג/מ"ר)	סוג א' (ק"ג/מ"ר)	משקל פרי ממוצע (גרם)	התפלגות גודל ב-%			
				M	L	XL	XL-G
מסחרי	11.0 אב	10.7 אב	238 אב	1 אב	9 א	25 ב	65 א
ספיקה נמוכה	12.2 א	12.0 א	244 א	1 אב	9 א	25 ב	65 א
השקיה לפי דרישה	11.1 אב	10.6 אב	232 בג	2 א	11 א	25 ב	62 אב
גרופיט+ אלגוריתם	10.1 ב	9.8 ב	224 ג	2 א	12 א	29 א	57 ב
גרופיט	11.1 אב	10.8 אב	235 אב	0 ב	11 א	28 אב	61 אב

• אותיות שונות באותו טור מלמדות על הבדל מובהק ברמה של 5% במבחן t-test student

מטבלה 7 ניתן ללמוד שבעונה 24/25 היבול הכללי והיבול ליצוא בטיפול של ההשקיה בספיקה נמוכה היה גבוה באופן מובהק מהיבול הכללי והיבול ליצוא בטיפול של ההשקיה לפי גרופיט+ אלגוריתם. בעונה זו היה הבדל מובהק גם במשקל הפרי הממוצע וגם בהתפלגות הגודל של הפרי. הפרי בטיפול של ההשקיה בספיקה נמוכה היה גדול באופן מובהק מהיבול בטיפול של ההשקיה לפי דרישה ומהטיפול של ההשקיה לפי גרופיט+ אלגוריתם, כמו כן הפרי בטיפול המסחרי ובטיפול של הגרופיט גייכ היה יותר גדול באופן מובהק מהפרי בטיפול של הגרופיט+ אלגוריתם. לגבי התפלגות הגודל ניתן לראות ש% הפרי הגדול (XL-G) היה גבוה באופן מובהק בטיפול המסחרי ובטיפול של ההשקיה בספיקה נמוכה.

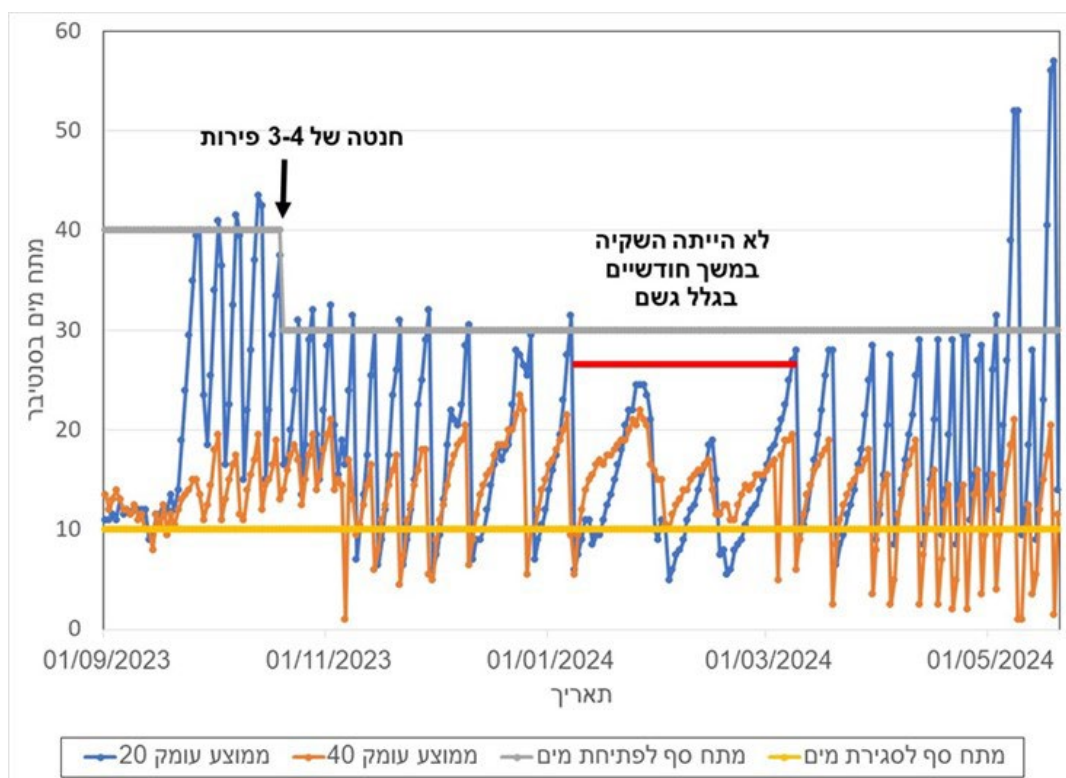
איור מס' 1 מסכם את טבלאות 1-6 ונותן את יעילות השימוש במים בכל שנה ובממוצע ל 3 שנים. (יעילות השימוש במים=משקל בק"ג/השקיה במ"ק)



איור 1- השפעת טיפולי ההשקיה על היעילות של השימוש במים בכל שנות המחקר

מאיור 1 ניתן ללמוד שהטיפול של הגרופיט+ אלגוריתם היה הטיפול היעיל ביותר בשימוש במים, גם בניחות לפי שנים וגם בממוצע לטיפול, לעומת זאת הטיפול של ההשקיה לפי דרישה היה הכי פחות טוב בשנה הראשונה של המחקר, ובשנים הבאות הוא השתפר. הטיפול המסחרי בממוצע לכל השנים היה הטיפול הכי פחות יעיל בניצול מי ההשקיה וזאת למרות שבשנה הראשונה הוא היה יותר טוב מהטיפול של ההשקיה לפי דרישה. הטיפול של ההשקיה לפי המסחרי בספיקה נמוכה הגדיל את היעילות של השימוש במים, בהשוואה לטיפול המסחרי (בספיקה רגילה), גם בניחות לפי שנים וגם בממוצע לכל השנים של הניסוי.

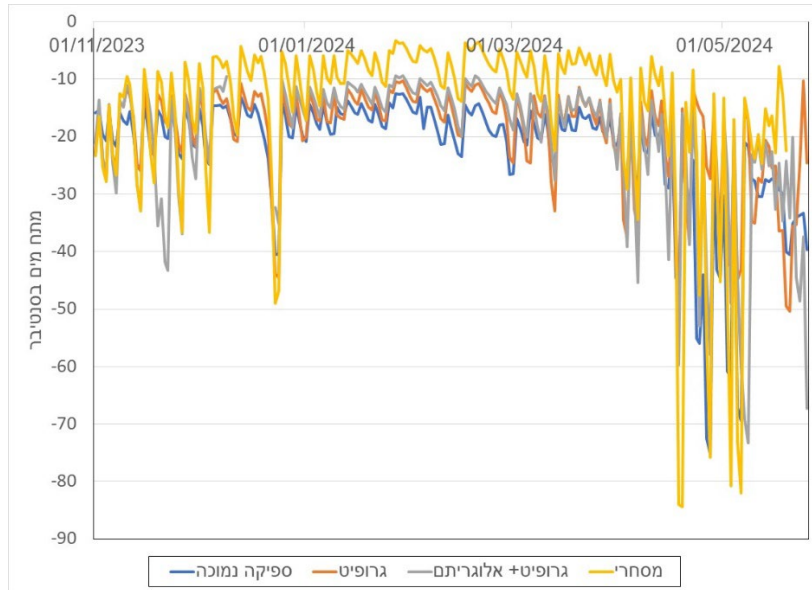
**מתח המים בקרקע** - בעונה 24/25 אין לנו את נתוני הטנסיומטרים בטיפולים שבהם הטנסיומטרים שימשו לבקרה בלבד וזאת עקב העובדה שהאתר של VIRIDX נפל באמצע העונה (החברה פשטה את הרגל) לכן בדו"ח זה מובאים רק הנתונים של עונה 23/24 (השנה השנייה של הניסוי). באיור 2 מרוכזים הנתונים של הטנסיומטרים בטיפול של ההשקיה לפי דרישה (הטנסיומטרים בטיפול זה היו תוצרת עמיטנס ולכן מתח המים מוצג בערכים חיוביים).



איור 2. מתח המים בקרקע בעומקים 20 ו-40 ס"מ בטיפול של ההשקיה לפי דרישה

מאיור 2 ניתן ללמוד שמתח המים הממוצע בקרקע בעומק 20 ס"מ היה בהתאם לתוכנית: עד חנטה של 3-4 פירות המתח הממוצע היה 40 סנטיבר ובהמשך הוא עמד על 30 סנטיבר בלבד. מהגרף ניתן ללמוד שהחל מתחילת ינואר ועד העשירי למרץ (שבעים יום) מתח המים לא הגיע לערכים שקבענו ולכן המים לא נפתחו. כל התנודות במתח המים בתקופה זו נובעים מגשמים שהיו באותה תקופה. החל מתחילת מאי היו בשטח אירועים של מתח מים גבוה מהתכנון שהגיע ל 50 סנטיבר בעומק 20 ס"מ. לגבי הערכים בעומק 40 ס"מ, ניתן לראות שבאופן מעשי היו הרבה אירועים שהמתח ירד מתחת ל 10 סנטיבר.

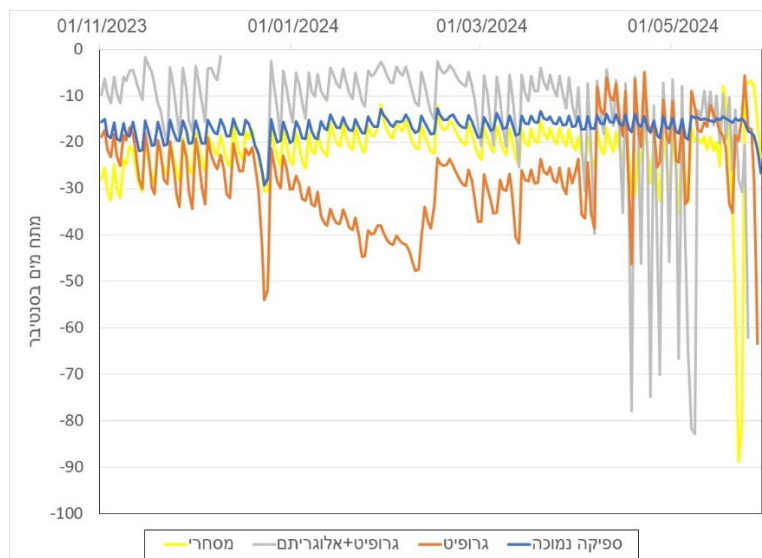
באיור מס' 3 מרוכזים הנתונים של מתח המים בעומק 20 ס"מ בכל הטיפולים מלבד הטיפול של ההשקיה לפי דרישה שמופיע באיור מס' 2.



**איור 3.** השפעת הטיפולים על מתח המים בקרקע בעומק 20 ס"מ

מאיור 3 ניתן ללמוד שבטיפול המסחרי מתח המים בטיפול המסחרי מגיע לסביבות ה 10 סנטיבר בטיפול של הספיקה הנמוכה ולסביבות 10 סנטיבר בטיפול המסחרי (למרות שהם קבלו אותה כמות מים!) כשלעומת זאת אחרי ההשקיה מתח המים בטיפול המסחרי יורד לסביבות 5 סנטיבר (יותר מהירידה בכל הטיפולים האחרים). בשה"כ הערכים במהלך העונה היו יחסית נמוכים ובאף אחד מהטיפולים לא נשמר ערך שדומה לערך הסף שקבענו לפתיחת מים בטיפול של ההשקיה לפי דרישה. החל מתחילת אפריל הערכים בכל הטיפולים עולים ומגיעים גם ל 60 ו 70 סנטיבר ורק בטיפול של הגרופיט הערכים נשארים יחסית נמוכים (בתחום המומלץ).

באיור מס' 4 מרוכזים הנתונים של מתח המים בקרקע בעומק 40 סנטיבר.



**איור 4.** השפעת הטיפולים על מתח המים בקרקע בעומק 40 ס"מ

מאיור 4 ניתן ללמוד שבמהלך העונה מתח המים בקרקע בעומק 40 ס"מ בטיפול של הגרופיט היה יחסית גבוה ולעומת זאת בטיפולים האחרים הערכים יחסית נמוכים (לא עולים על 20 סנטיבר), לעומת זאת החל מתחילת אפריל הערכים בטיפול הגרופיט+ אלוגריתם עולה מאוד (מגיע ל 70 סנטיבר), לעומת הטיפולים האחרים שנשארים יחסית נמוכים, בסוף מאי גם בטיפול המסחרי הערכים עלו. גם בעומק הזה מתח המים לא הגיע לערכים שהוגדרו לסגירת מים בטיפול של ההשקיה לפי דרישה.

**בדיקות עלים** - בטבלה מס' 8 מרוכזים הנתונים של השפעת הטיפולים על הרמה של יסודות ההזנה בעלים בסיום העונה האחרונה של הניסוי (6/5/2025).

טבלה 8 : השפעת הטיפולים על רמת יסודות ההזנה והכלוריד בעלים בסיום הניסוי (עונה 24/25).

טיפול	חנקן (%)	זרחן (%)	אשלגן (%)	מגניום (%)	כלוריד (%)	ברזל (מ"ג/ק"ג)	אבץ (מ"ג/ק"ג)	מנגן (מ"ג/ק"ג)
מסחרי	3.89	0.27 א	3.87 ב	0.68 ב	0.21	119	53.0 אב	65.9 אב
ספיקה נמוכה	4.20	0.26 א	4.10 א	0.66 ב	0.18	117	45.4 ג	56.0 ג
השקיה לפי דרישה	4.20	0.25 אב	4.00 אב	0.75 א	0.23	131	55.7 א	60.1 בג
גרופיט+ אלגוריתם	3.75	0.23 ב	3.50 ג	0.74 א	0.17	128	49.8 בג	64.3 אב
גרופיט	4.25	0.26 א	4.03 אב	0.70 אב	0.20	135	54.1 אב	67.5 א

\* אותיות שונות באותו טור מצביעות על הבדל מובהק ברמה של 5% במבחן student's tTest.

מטבלה 8 ניתן ללמוד שברמת **החנקן** בעלים לא היה הבדל מובהק בין הטיפולים, לעומת זאת הרמה של **הזרחן** בעלים בטיפול המסחרי ובטיפול שקיבל השקיה לפי גרופיט היה גבוה באופן מובהק מרמת הזרחן בעלים בטיפול שקיבל השקיה לפי גרופיט+ אלגוריתם. לגבי **האשלגן** ניתן לראות שרמת האשלגן בעלים בטיפול שקיבל השקיה בספיקה נמוכה היה גבוה באופן מובהק מרמת האשלגן בעלים בטיפול שקיבל השקיה לפי גרופיט+ אלגוריתם, כמו כן רמת האשלגן במסחרי הייתה גבוהה באופן מובהק מרמת האשלגן בטיפול שקיבל השקיה לפי גרופיט+ אלגוריתם.

**מגניום** – הרמה של המגניום בטיפול של ההשקיה לפי דרישה ובטיפול של ההשקיה לפי גרופיט+ אלגוריתם הייתה גבוהה באופן מובהק מהרמה של המגניום בטיפול המסחרי ובטיפול של ההשקיה בספיקה נמוכה.

**כלוריד** - ניתן לראות שאין הבדל מובהק בין הטיפולים, כמו כן הרמה בכל הטיפולים יחסית נמוכה.

**ברזל** - ניתן לראות שאין הבדל מובהק בין הטיפולים, כמו כן הרמה ש הברזל בכל הטיפולים יחסית גבוהה.

**אבץ** - הרמה של האבץ בטיפול של ההשקיה לפי דרישה גבוה מהרמה של האבץ בטיפול של ההשקיה בספיקה נמוכה ומהטיפול של ההשקיה לפי גרופיט+ אלגוריתם. למרות ההבדלים בסה"כ באף טיפול לא היה רמה של מחסור באבץ.

**מנגן** - הרמה של המנגן בטיפול של ההשקיה לפי גרופיט היה גבוה באופן מובהק מהרמה של המנגן בטיפול של ההשקיה בספיקה נמוכה ומהטיפול של ההשקיה לפי גרופיט+ אלגוריתם, גם לגבי המנגן בסה"כ אין מצב של מחסור באף אחד מהטיפולים.

**כּוּשֵׁר אַחֲסוּן** - בטבלה מס' 9 מרוכזים הנתונים של השפעת הטיפולים על כּוּשֵׁר אַחֲסוּן של הפלפל בעונה 24/25.

טבלה 9 : השפעת הטיפולים על כּוּשֵׁר אַחֲסוּן של הפלפל

הטיפול	מדד הופעה (1-5)‡	איבוד משקל (%)	הערכת מוצקות (1-5)	שיעור פרי מצומק (%)	שיעור פרי עם כתמי שיש (%)
ביקורת	א 3.0	ב 3.7	ג 2.8	אב 9.8	אב 3.5
ספיקה נמוכה	א 3.0	ג 3.2	אב 2.9	אב 8.5	א 6.1
השקיה לפי דרישה	ב 2.8	א 4.0	ג 2.8	א 14.7	ב 2.4
גרופיט + אלגוריתם	ב 2.8	ב 3.5	א 3.0	אב 12.2	ב 2.1
גרופיט	ב 2.9	ב 3.5	א 3.0	ב 6.6	אב 5.2

- אותיות שונות באותו טור מצביעות על הבדל מובהק ברמה של 5% במבחן student's tTest.
- מדד הופעה מ-1 איכות ירודה ל-5 איכות פרימיום. סף מינימלי למכירה הוא 2.5.

מטבלה 9 ניתן ללמוד שמדד ההופעה בטיפול המסחרי ובטיפול של הספיקה הנמוכה היה גבוה באופן מובהק ממדד ההופעה בטיפולים האחרים. לגבי איבוד המשקל ניתן לראות שאיבוד המשקל בטיפול של הספיקה הנמוכה היה נמוך באופן מובהק מאיבוד המשקל בכל הטיפולים האחרים, כמו כן איבוד המשקל בטיפול של ההשקיה לפי דרישה היה גבוה מאיבוד המשקל בכל הטיפולים האחרים. לגבי הערכת המוצקות ניתן לראות שהערכת המוצקות בטיפול של ההשקיה לפי גרופיט ובטיפול של ההשקיה לפי גרופיט + אלגוריתם הרמה הייתה גבוהה באופן מובהק מהרמה בטיפול של ההשקיה לפי דרישה. הנתון הזה הוא בהתאמה לנתון של % הפרי המצומק שהיה גבוה באופן מובהק מהנתון של % הפרי המצומק בטיפול של ההשקיה לפי גרופיט. לגבי שיעור הפרי עם כתמי שיש ניתן לראות שבטיפול של ההשקיה לפי דרישה ובטיפול של ההשקיה לפי גרופיט + אלגוריתם הרמה הייתה נמוכה באופן מובהק מהרמה בטיפול של ההשקיה בספיקה נמוכה.

**בדיקות קרקע** - בטבלה מס' 10 מרוכזים הנתונים של השפעת הטיפולים על הרמה של יסודות ההזנה ויסודות המליחות בחתך הקרקע בסיום הניסוי בעונה 24/25.

טבלה 10 : השפעת הטיפולים על הרמה של יסודות ההזנה ויסודות המליחות בחתך הקרקע בסיום הניסוי (מאי 2025)

הטיפול	מוליכות חשמלית (דצי"מ/מ')	כלוריד (מא"ק/ל')	ח. חנקתי (מ"ג/ק"ג)	זרחן (מ"ג/ק"ג)	אשלגן (מא"ק/ל')
<b>עומק מדגם 0-20 ס"מ</b>					
מסחרי	ב 1.15	3.64	ב 22.5	אב 178	ב 0.71
מסחרי בספיקה נמוכה	א 1.51	4.86	א 47.5	אב 179	א 0.99
השקיה לפי דרישה	ב 1.10	3.89	ג 8.3	ב 165	ב 0.53
גרופיט + אלגוריתם	ב 1.05	4.60	ג 7.8	ב 162	ג 0.26
גרופיט	ב 1.13	4.18	ב 26.5	א 207	א 0.99
<b>עומק מדגם 20-40 ס"מ</b>					
מסחרי	1.12	4.67	אב 16.4	133	ב 0.59
מסחרי בספיקה נמוכה	1.30	4.79	א 22.4	113	ב 0.51
השקיה לפי דרישה	1.17	5.68	ב 12.1	127	ב 0.38
גרופיט + אלגוריתם	1.07	4.78	ב 9.2	120	ב 0.20
גרופיט	1.18	4.88	אב 20.5	149	א 0.92

\* אותיות שונות באותו טור מצביעות על הבדל מובהק ברמה של 5% במבחן student's tTest.

מטבלה 10 ניתן ללמוד שבסיום הניסוי רמת המוליכות החשמלית בעומק 0-20 ס"מ בטיפול המסחרי בספיקה נמוכה, הייתה גבוהה באופן מובהק מרמת המוליכות החשמלית בכל הטיפולים האחרים, ההבדל ברמת המוליכות החשמלית נובע מהבדל מובהק ברמת החנקן והאשלגן ולעומת זאת ברמת הכלוריד אין הבדל מובהק בין הטיפולים.

בעומק 20-40 ס"מ אין הבדל מובהק בין הטיפולים ברמת המוליכות החשמלית והכלוריד ולעומת זאת ברמת החנקן והאשלגן ההבדלים עדיין מובהקים. בסה"כ למרות ההבדלים ברמת המוליכות החשמלית, הרמה בפועל איננה רמה בעייתית באף אחד מהטיפולים. רמת החנקן החנקתי בשכבה העליונה בטיפול של ההשקיה המסחרית בספיקה נמוכה נחשבת כרמה גבוהה לעומת זאת בטיפולים של ההשקיה לפי דרישה והשקיה לפי גרופיט+ אלגוריתם הרמה נמוכה. זרחן- רמת הזרחן בכל הטיפולים נחשבת כרמת עודף גדול, האשלגן נמצא בתחום שבו צריך לדשן בכל הטיפולים.

הדו"ח הנוכחי מסכם שלוש עונות של עבודה בנושא של ממשקי השקיה בגידול פלפל בבקעת הירדן. בפועל הטיפול שהושקו בטפטפות בספיקה נמוכה ובכמויות לפי ההמלצות הקיימות היום (מסחרי) היה בכל השנים יותר טוב מהטיפול המסחרי, גם ביבול (תוספת 1.0-1.2 טון לדי לעונה) וגם ביעילות השימוש במים. לטיפול זה הייתה נטייה להמלחה יותר גבוהה בקרקע, ביחס לטיפול המסחרי. יתכן שתוספת 10% מים היתה משפרת את הטיפול, אף הדבר לא נבדק בניסוי הנוכחי. כמו כן באופן מוחלט, גם בטיפול זה ההמלחה לא הייתה גבוהה. לגבי הטיפול שקיבל השקיה לפי הטנסיומטרים (השקיה לפי דרישה), ניתן לראות שכמויות המים היו שונות בין השנים וזאת למרות שערכי הסף לפתיחה וסגירת מים היו דומים, כמו כן מהתוצאות של היבול והאיכות בעונה השנייה של הניסוי (23/24) נראה שלא ניתן לסמוך על הקריטריון של מתח המים בקרקע כקריטריון יחידי לפתיחת המים, כפי שראינו שבשנה זו בגלל גשמים בינואר פברואר המים לא נפתחו במשך 70 יום וכנראה שכתוצאה מזה היבול בטיפול זה נפגע באופן מובהק הן ביחס לטיפול של ההשקיה בספיקה נמוכה והן ביחס לטיפול שקיבל השקיה ביחס לנתונים שהתקבלו ממכשיר הגרופיט. התוצאה שהתקבלה בניסוי זה לא פוסלת את השימוש המסחרי המקובל בטנסיומטרים ככלי עזר בבקרת ההשקיה בגידול פלפל, אולי עם עדכון נוסף של ערכי הסף. ממעקב הטנסיומטרים בטיפולים האחרים של הניסוי נראה אולי שכדאי להוריד את ערך הסף לפתיחת מים בתקופה המרכזית של הגידול כשהצמח נושא הרבה פירות ויתכן שהוא צריך יותר מים זמינים ופחות אוורור של הקרקע.

בשנה הראשונה של הניסוי הטיפול של הגרופיט נתן יבול ואיכות נמוכים באופן מובהק מהיבול והאיכות בטיפול של ההשקיה לפי דרישה. כמו כן רמת הפרי הדבילן בטיפול זה הייתה גבוהה באופן מובהק מהרמה בטיפול של ההשקיה לפי דרישה. נראה שהסיבה להבדל ברמת הפרי הדבילן היא כמויות המים היותר גדולות שניתנו בטיפול של ההשקיה לפי דרישה בשלב של היציאה מהחורף, לאחר פריסת רשת שחורה 40% צל, פריסת הרשת הורידה משמעותית את ההתאדות שנמדדה ע"י הגרופיט עקב ירידה משמעותית ברמת הקרינה. עקב כך החלטנו לעלות את מקדם ההשקיה ביחס לנתוני הגרופיט ל 2.0 מיד לאחר פריסת הרשת (סוף פברואר), וכך התבצע בשנים הבאות של הניסוי. העלייה במקדם בטיפול של ההשקיה לפי גרופיט הביאה לכך שבשנה השנייה של הניסוי (23/24) זה היה הטיפול הטוב ביותר ובשנה השלישית (24/25), הוא היה בין הטיפולים הטובים. הטיפול של ההשקיה לפי גרופיט+ אלגוריתם היה הטיפול היעיל ביותר בשימוש במים, אבל היבול והאיכות בטיפול זה היו יותר נמוכים, בטיפול זה נקבע מקדם השקיה נמוך 1-1.5 בכל שלבי הגידול, זאת לאור בדיקות זרימת מים בצמח שהתבצעו במחקר קודם. כנראה שטיפול זה דורש כיוול נוסף של המקדמים כדי שנוכל להשתמש בנתון של גובה הצמחים בנוסחה של הפנמן מונטיס בתוך המבנה. לגבי הבדיקות עלים שבוצעו בניסוי, לא נראה שהטיפולים החסכוניים גרמו להמלחה משמעותית בצמח, כמו כן לא נראה שהיה מחסור בולט ביסודות הזנה שקשורים לטיפולי ההשקיה בניסוי. בסה"כ במוצע לכל השנים של הניסוי הנוכחי, כל הטיפולים הגדילו את היעילות בשימוש במים, אבל אם משכללים את הנתונים האלה עם הנתונים של היבול והאיכות ישנם שני טיפולים שנראה שכדאי לבדוק אותם ברמה מסחרית: הטיפול של ההשקיה בספיקה נמוכה והטיפול של הגרופיט.

טנאי, י. (2018). "שימוש בנתוני אקלים בתוך מבנה הגידול להגדלת יעול השימוש במים". מו"פ בקעת הירדן.

טנאי, י. וחובי (2021). "הקמת תחנות מטאורולוגיות סטנדרטיות במבני גידול". המכון למדעי הצמח, מינהל המחקר החקלאי.

זקס, מ. וחובי (2014). "גידול פלפל בהשקיה בטפטוף של מים מליחים באמצעות השקיה אוטונומית". שה"מ, משרד החקלאות.

מוטס, י (2012). מוטס טנסיומטרים בע"מ. מדריך להשקיה נכונה ושימוש בטנסיומטרים

Kirnak, H., et al. (2003). "The effects of different irrigation regimes and nitrogen levels on yield and fruit quality of bell pepper." *Agricultural Water Management*

Dalla Costa, L. and Gianquinto, G. (2002). "Water consumption and efficiency of processing tomato as affected by irrigation scheduling." *Acta Horticulturae*