

פיתוח אומדני תצרוכת מים ומדדי השקיה, מבוססים על נוסחת פנמן-מונטית, לגידול פלפל בבתי רשת וחממות

יוסף טנאי, שבתאי כהן - המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מינהל המחקר החקלאי אפרים ציפילביץ, זיוה גלעד, אחיעם מאיר - מו"פ בקעת הירדן דוד סילברמן - שה"מ, משרד החקלאות. יצחק אסקירה, אורי אדלר - מועצת הצמחים.

מבוא

בשנים האחרונות התרחב בארץ גידול פלפל בבתי רשת, והשטח הנוכחי של גידול פלפל מוגן איכותי ליצוא בחורף עומד על מעל 20,000 דונם בערבה ובבקעת הירדן. מקובל להשתמש בסוגים שונים של רשתות, החל מרשת צפופה, 50-מ"ש, למניעת חדירת מזיקים, דרך רשת ארוגה פנינה, 15% צל, ועד רשת צל שחורה, המיועדות להפחתת הקרינה ועומס החום בעונות החמות. מגדלים בארץ בעיקר בשני סוגי בתי גידול: 1. בית רשת בנוי מרשת חיצונית קבועה (רשת נגד חרקים או לשיפור תנאי אקלים) ובנוסף רשת צל מתחתיה או מעליה בתקופות החמות יותר; 2. חמרשת - בית צמיחה מכוסה רשתות בתחילת העונה ובסופה, כאשר בתחילת נובמבר מוחלפת הרשת בפוליאתילן לתקופת החורף. השפעות הכיסוי על המיקרואקלים מגוונות, ותלויות בעיקר במאפייני הכיסוי (סוג החומר, צבעו, תצורת המבנה והגג) ובגידול. כל המחקרים שנעשו עד היום הצביעו על כך שכיסויים מפחיתים את הקרינה ומהירות הרוח בהשוואה לגידול חשוף, בעוד שהממצאים על שינויים בטמפרטורה ולחות האוויר כתוצאה מכיסוי הגידול אינם חד משמעיים (Tanny, 2013). כיום יש בארץ ובעולם ידע רב על דרישות ההשקיה של גידולים חשופים, אשר מתבססת על התאדות פוטנציאלית מנתונים מטאורולוגיים או יגית, מותאמים למצב הגידול בעזרת מקדמים אמפיריים לשטח פתוח והיזון חוזר מטנסיומטרים בקרקע או לזימטרים במצע מנותק. לעומת זאת הידע על השקיה של גידולים מכוסים מועט, ומוגבל למספר גידולים באזורים ספציפיים (Möller, Tanny, Li, & Cohen, 2004) (Moratíel & Martínez-Cob, 2012). דרישות ההשקיה של גידולים חקלאיים נקבעות לפי מספר גורמים: סוג הגידול, המיקרואקלים, סוג הקרקע ואיכות המים. הגידול תחת רשת משנה את המיקרואקלים של הצמחים, ומספר מחקרים קודמים הראו שינויים אלה וכן את האפשרות של הגדלת יעילות השימוש במים תחת רשתות (Josef Tanny, 2013). לדוגמה, במחקר שערכנו בגידול בננה בבתי רשת בעמק הירדן (טנאי וחובריו, דו"ח מסכם 304-0285, 2009) מצאנו כי ניתן להפחית את ההשקיה בכ - 30%, בהשוואה לגידול חשוף, וזאת ללא פגיעה משמעותית ביבול, ועם שיפור באיכות. ממצאי מחקר זה משמשים היום כהנחיות השקיה למגדלי בננה באזור. מחקר אחר שביצענו במטע תפוח מכוסה ברשת (דו"ח מסכם למדען הראשי מסי 304-0326, 2011) הראה שבמנת ההשקיה המרבית הייתה הפחתה של כ 10-15% בקצב זרימת המים בגזע של עצים מכוסים לעומת עצים חשופים, ללא הבדל ביבול. במחקר שביצענו בכרם ענבי מאכל מכוסה ברשת בבקעת הירדן (Pirkner, Dicken, & Tanny, 2014), נמדדה האופוטורנספירציה של כלל הגידול, והתוצאות הושוו עם מספר מודלים ממשפחת פנמן-מונטית. המודל שהיה בהתאמה הטובה ביותר עם המדידות, הוצג כמודל המומלץ לחיזוי האופוטורנספירציה בתנאים שנבדקו. במחקר שערכה קבוצת המחקר שלנו על תצרוכת המים של פלפל בבית רשת 50 מש פותח מודל פנמן-מונטית מותאם לבית הרשת והערכים המחושבים היו בהתאמה טובה עם המדידות (Möller et al., 2004).

תצרוכת המים לגידול פלפל חשוף בתנאי אקלים חיצוני חושבה באופן תיאורטי. הממצאים הראו כי בגידול המכוסה האוטרנספירציה הייתה נמוכה בכ - 50% בהשוואה לערך המחושב לגידול החשוף. במחקרים קודמים השתמשנו במספר מודלים לחיזוי השפעת האקלים על התאדות ייחוס. אפילו שהמודלים כולם מטפלים בכל האספקטים הרלוונטים באופן תיאורטי, החיזויים שלהם שונים. לכן, יש צורך לקבוע באופן אמפירי, איזה מודל מעריך יותר טוב את הצריכה של הגידול הספציפי במבנה נתון.

מטרות המחקר:

מטרות המחקר הן:

- (א) פיתוח אומדני תצרוכת מים של פלפל בבית רשת ובחממה תוך שימוש במודל מסוג פנמן-מונטית שיותאם לבתי הגידול שייבדקו.
- (ב) קביעת מקדמי ההשקיה לפלפל בבתי רשת וחממות, לפי התאדות יחוס מחושבת לפי נוסחת פנמן-מונטית FAO56 ולפי המודלים המותאמים שיפותחו במחקר זה, על בסיס תנאי אקלים פנימיים וחיזויים, תוך השוואה למקדמי ההשקיה של פלפל ללא רשת.

המטרות העיקריות לשנה ב':

- א. הרחבת מערך הניסוי במו"פ בקעת הירדן כולל מערכות ההשקיה, גידול הפלפל והצבת החיישנים.
- ב. בחינת השקיה לפי המודל הנבחר משנה א' לכל סוג מבנה.
- ג. בחירת מודל פנמן-מונטית המתאים ביותר לכל סוג מבנה – בית רשת וחמרשת.

מהלך המחקר ושיטות עבודה

מערך הניסוי וטיפולי ההשקיה: הניסוי בוצע בתחנת צבי במו"פ בקעת הירדן בשש מנהרות עבירות (רוחב המנהרה 10 מ' ואורך 45 מ'). הכנת שטח – משתת בערוגות הקיימות, פיזור 3 מ"ק/ד', קומפוסט זבל בקר, שטיפה של 100 מ"ק/ד' בהמטרה, תיחוח, פריסת פלסטיק שקוף על כל השטח לצורך חיטוי סולרי והזרמת אדיגן בערוגות (באמצעות שלוחות הטפטוף). שתילה 15/8/16, זן – גלעד (הזרע סידס). בשתילה, מנהרות 1,2,3 כוסו ברשת 17 מאש ורשת 40% צל שחורה. מבנים 4,5,6 כוסו ברשת 50 מש ורשת 40% צל שחורה. רשת הצל הוסרה ב - 20/9/16. ב - 8/11/16 הוחלפה רשת המאש ביריעת פלסטיק במבנים 4,5,6. ב - 23/2/17 הותקנה רשת 40% צל על הפלסטיק (מבנים 4,5,6) וב-8/3/17 הותקנה רשת צל 40% על רשת-17 מאש (מבנים 1,2,3).

במבנים 1,2 (רשת) ו- 5,6 (חמרשת) הופעלו ארבעה טיפולי ההשקיה הבאים:

	טיפול		בית רשת מקדם השקיה*		חמרשת – מקדם השקיה*	
	10/16-02/17	03/17-05/17	10/16-02/17	03/17-05/17	10/16-02/17	03/17-05/17
1 פנמן חיצוני שעת	0.74	0.74+20%	0.72	0.72	0.72	0.72-20%
2 פנמן פנימי לפי רגשי המדידה במבנה	0.79	**0.79+30%	0.7	0.7	0.7	**0.7+30%
3 פנמן חיצוני משקי	0.8	1.1	0.8	0.8	0.8	1.1
4 60% מפנמן חיצוני	60% מטיפול 3	60% מטיפול 3	60% מטיפול 3	60% מטיפול 3	60% מטיפול 3	60% מטיפול 3

- מקדמי ההשקיה לטיפולים 1 ו-2 נקבעו לאור תוצאות שנאספו בניסוי בעונה 2015/16.
 - **מקדם השטיפה הועלה מ 20% ל 30% עקב חשש כי כמות המים נמוכה מידי וגורמת לפגיעה בפרי.
- במבנים 4 (חמרשת) ו- 3 (בית רשת) – השקיה אחידה כל העונה לפי הנוהל המסחרי (טיפול 3)

הטיפולים הופעלו בשלוש ערוגות מרכזיות (מתוך 5 ערוגות, ראה תצלום 1-א) בכל מבנה: אורך חלקת טיפול 7 מ', אורך חלקה לקטיף 4 מ'. הטיפולים הופעלו ב- 20/10/16, לאחר סיום חנטה של גל ראשון. כל טיפול הופעל ב- 8 חזרות (4 חזרות בכל מבנה). כמויות המים המצטברות שניתנו כהשקיה בכל מבנה וטיפול מוצגות בטבלה 1 ובאיור 2.

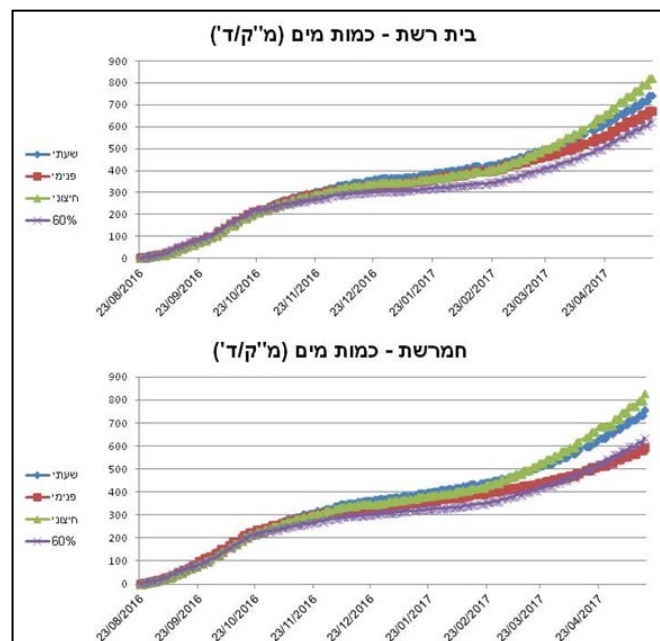


<p>איור 1-ב: מראה כללי של 6 המבנים בהם נערך הניסוי. צולם ב- 15.9.2016, כאשר המבנים היו מכוסים ברשת צל שחורה. רשת הצל הוסרה ב- 20.9.16, ונפרשה מחדש בסוף פברואר-תחילת מרץ 2017.</p>	<p>איור 1-א: מבנה בית הרשת לאחר השתילה (15.9.2016). שלוש השורות המרכזיות שמשו כטיפולים ושתי השורות הקיצוניות כשורות גבול.</p>
---	--

טבלה 1 - כמויות מים שניתנו בפועל לפי הטיפולים (מ"ק/ד')

כמויות מים במ"ק/ד' 15/8/16-15/5/17		
טיפול השקיה	בית רשת*	חמרשת
פנמן שעתי חיצוני	762	778
פנמן פנימי	692	596
פנמן חיצוני משקי	841	830
60% מפנמן חיצוני	643	635

* לבית הרשת יש להוסיף גשם שנמדד - 100 מ"מ.



איור 2: כמויות מים מצטברות לפי טיפולים (מ"ק/ד'). בית הרשת קיבל 100 מ"ק/ד' נוספים עקב גשמים (לא מוצג בגרף). המודל החיצוני הוא המשקי.

מדידות מיקרו-מטאורולוגיות, מדידת צריכת מים, וחישוב המודלים

בכל מבנה הוצבו חיישנים מיקרו-מטאורולוגיים לחישוב אווטרנספירציה לפי נוסחת פנמן-מונטית'. הוצב מד רוח אולטרא-סוני תלת צירי, חיישני טמפרטורה ולחות אוויר, מד קרינה נטו ומד קרינה גלובאלית. החיישנים הוצבו בגובה של כ- 2 מ' מעל מישור העתקת האפס (zero plane displacement), כפי שנדרש בנוסחת פנמן-מונטית'. החיישנים מדדו ברציפות, בתקופה 31.5.2017-26.10.2016 (כ-7 חודשים). נערכה מדידה כל שניה, וערכים ממוצעים של 10 דקות נרשמו על אוגר נתונים. נמדדה זרימת מים בגבעולי הצמחים באותם מבנים עם המדידות המטאורולוגיות. הזרימה נמדדה בשיטת Heat-Pulse, ב- 12 צמחים בכל מבנה. המדידה נערכה בתקופה 30.4.2017-9.3.2017 (חמרשת) 21.3.2017-1.5.2017 (בית רשת) עם 2 החלפות של צמחים. נתונים מטאורולוגיים חיצוניים נלקחו מתחנה של השירות המטאורולוגי הנמצאת כ- 200 מ' מאתר הניסוי. חושבו המודלים הבאים המבוססים על נוסחת פנמן-מונטית':

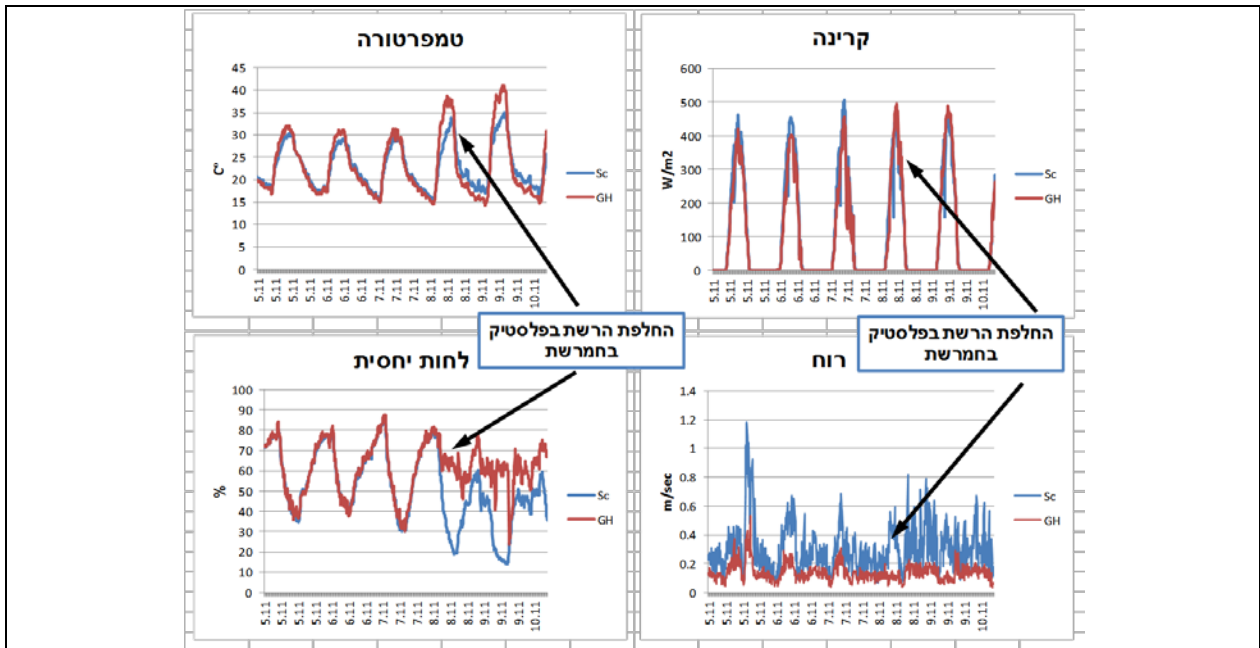
ETrb	ETpt	ETgr	ETscr	ET	ET _{FAO56} *	כינוי המודל תיאור
החלפת ההתנגדות האווירודינמית לפי פילוג רוח לוגריתמי, בהתנגדות לפי שכבת גבול. (Pirkner et al., 2014)	התאדות במצב שיווי משקל. (Priestley & Taylor, 1972)	מותאם לחממה. כולל התנגדות התלויה בקצב חילופי האוויר בין החממה לסביבה החיצונית. (Fuchs, 1993)	מותאם לבית רשת, כולל התנגדות שכבת גבול עקב הרשת. (Möller et al., 2004)	מודל פנמן מונטית' סטנדרטי עם התנגדות גידול של פלפל. (Allen et al., 1998)	התאדות ייחוס לגידול דשא מושקה היטב. משמש כערך ייחוס לקביעת השקיה. (Allen et al., 1998)	

*הערה: המודל FAO56, חושב בשלושה אופנים (טבלה 3 בהמשך), חיצוני יומי (משקי), חיצוני שעותי, פנימי שעותי.

תוצאות

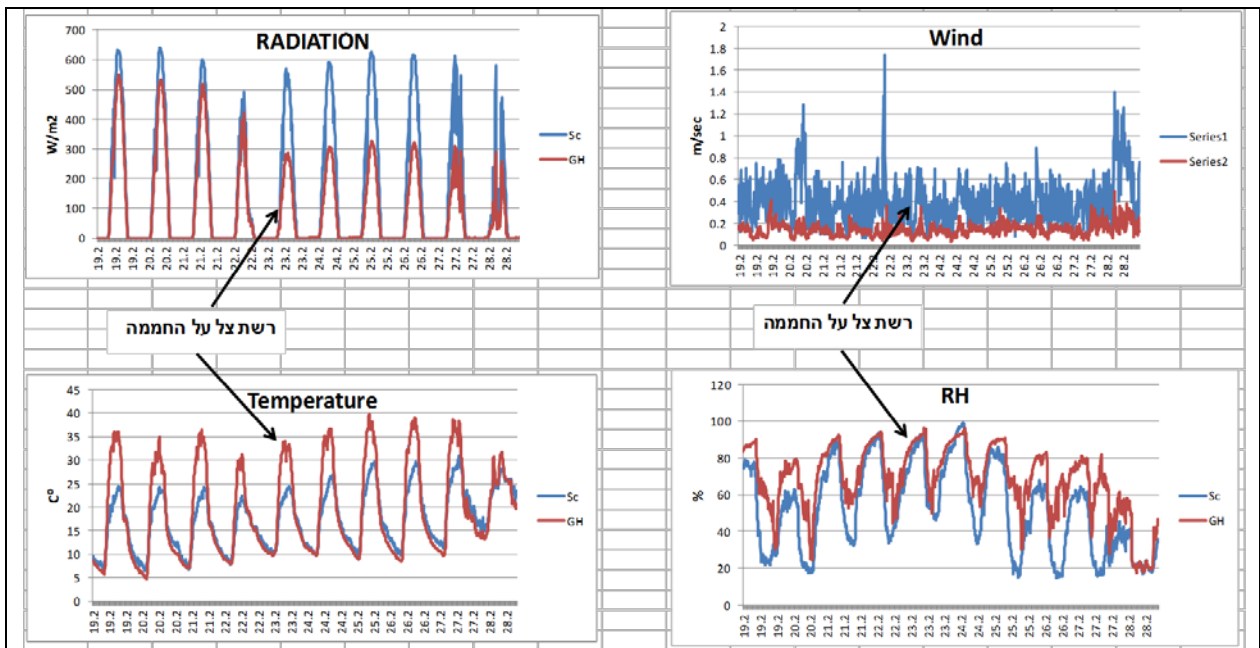
נתונים מיקרו-מטאורולוגיים

בשלושת האיורים הבאים מוצגות ההשפעות של שינויים בכיסוי הגג על המיקרו-אקלים במבנים. איור 3 מציג את השפעת החלפת הרשת בגג החמרשת בכיסוי פלסטיק שהתבצע לקראת החורף, ב- 8.11.16. ניתן לראות כי פריסת כיסוי הפלסטיק במקום הרשת גרמה לעלייה בטמפרטורה ובלחות היחסית (ביחס לבית הרשת), כנראה עקב הפחתת קצב האוורור במבנה. הייתה עליה מסוימת בקרינה מאחר והפלסטיק שנפרס היה חדש וללא אבק ביחס לרשת. לא נמצאה השפעה משמעותית על מהירות הרוח. (ראה הערה בכותרת איור 3).



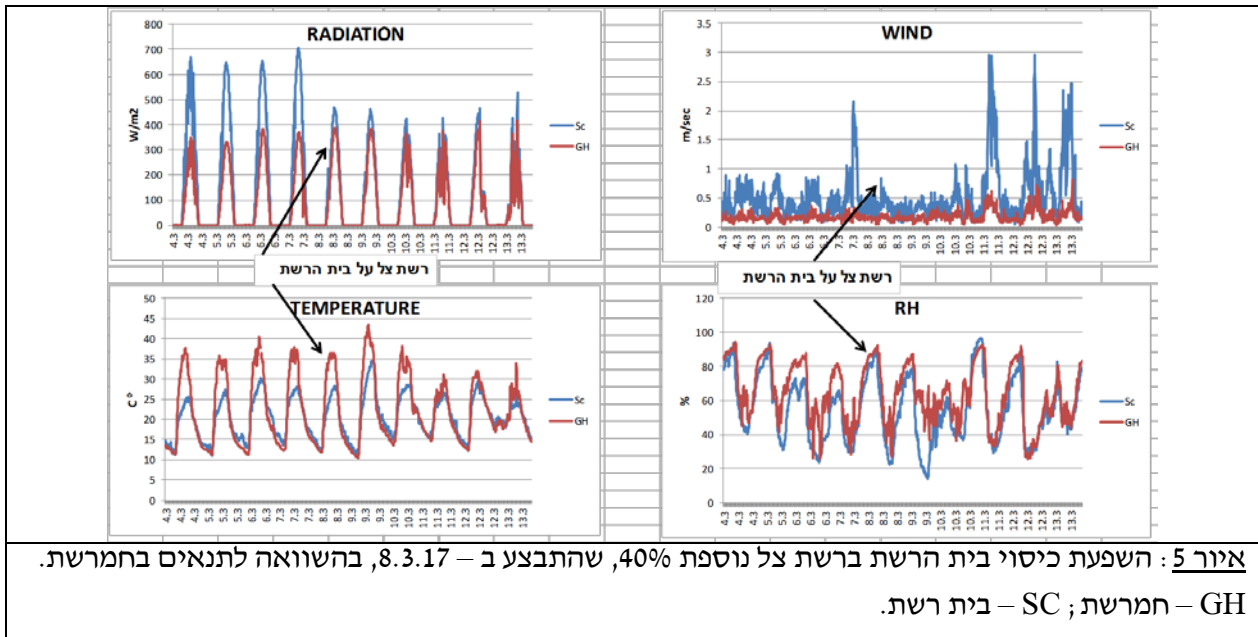
איור 3: השפעת החלפת הרשת בגג החמרשת בכיסוי פלסטיק שהתבצע ב- 8.11.16, בהשוואה לתנאים בבית הרשת. GH – חמרשת; SC – בית רשת. הערה: הכיסוי בפלסטיק כמעט לא שינה את מהירות הרוח בחמרשת כי מבנה זה היה מכוסה בתחילה ברשת 50 מש בעוד בית הרשת כוסה ברשת 17 מש.

איור 4 מציג את השפעת כיסוי החמרשת ברשת צל נוספת בשיעור הצללה של 40%. ניתן לראות בברור את ההפחתה המשמעותית בקרינה, כצפוי. לעומת זאת, לא נצפו השפעות משמעותיות על שאר משתני המיקרוקלים.



איור 4: השפעת כיסוי הפלסטיק בגג החמרשת ברשת צל נוספת 40%, שהתבצע ב- 23.2.17, בהשוואה לתנאים בבית הרשת. GH – חמרשת; SC – בית רשת.

איור 5 מציג את השפעת כיסוי בית הרשת ברשת צל נוספת בשיעור הצללה של 40%. ניתן לראות בברור את ההפחתה המשמעותית בקרינה, כצפוי, וההשוואה עם רמת הקרינה בחממה (שם נפרשה רשת הצל כשבועיים מוקדם יותר). גם כאן, לא נצפו השפעות משמעותיות על שאר משתני המיקרוקלים.



טבלה 2 – סיכום נתוני הרגרסיות הליניאריות בין נתונים מטאורולוגיים פנימיים וחיצוניים. הנתון החיצוני בציר X והפנימי בציר Y. הנתונים הם עבור התקופה: 22.3.17-23.5.17 (כחודשיים).

Relation in-out (Out is X-axis)	שיפוע	חותך	r ²	מספר נקודות
Radiation GH (Wm ⁻²)	0.44	-2.48	0.98	8958
Radiation SC (Wm ⁻²)	0.42	0.32	0.98	8958
Wind speed GH (ms ⁻¹)	0.04	0.12	0.38	8958
Wind speed SC (ms ⁻¹)	0.25	0.09	0.69	8958
Temperature GH (°C)	0.70	8.7	0.08	8958
Temperature SC (°C)	0.89	1.15	0.29	8958
RH GH (%)	0.85	24.88	0.57	8958
RH SC (%)	1.09	0.46	0.99	8958

טבלה 2 מציגה את הקשרים בין משתנים מטאורולוגיים פנימיים וחיצוניים. הטבלה מראה כי בכל המשתנים, מקדם המתאם בין פנים לחוץ היה גבוה יותר בבית הרשת (SC) לעומת החמרשת (GH). זאת, כצפוי, עקב האינטראקציה הגבוהה יותר בין בית הרשת לסביבה החיצונית בהשוואה לחמרשת בה הסביבה הפנימית מבודדת יותר מהחיצונית עקב כיסוי הפלסטיק.

השוואה בין מדידת זרימת המים בגבעול למודלים

תוצאות ההשוואה בין המדידות למודלים השונים מרוכזות בטבלאות 3, 4, 5 להלן. הטבלאות מציגות תוצאות עבור 52 ימי מדידה בחמרשת, ו- 41 ימי מדידה בבית הרשת. טבלה 3 מציגה ערכים ממוצעים של מדידת זרימת המים בצמחים וערכי ET מחושבים לפי המודלים השונים.

טבלה 3 – ערך יומי מדוד ממוצע וערכים יומיים מחושבים ממוצעים של האופורטנספירציה.						
	חמרשת (מ"מ/יום)			בית רשת (מ"מ/יום)		
	mm/day		סטיית תקן	mm/day		סטיית תקן
Actually measured	1.54	±	0.43	1.44	±	0.32
ET _{FAO56} out Daily	4.38	±	0.97	4.74	±	0.83
ET _{FAO56} out Hourly	4.28	±	0.99	4.66	±	0.82
ET _{FAO56} in Hourly	2.30	±	0.53	2.46	±	0.39
ET scr	4.14	±	1.08	3.84	±	1.03
PM in (for Pepper)	2.28	±	0.63	2.28	±	0.68
ET gr	3.16	±	0.62	NA		NA
ET pt	2.62	±	0.69	2.20	±	0.45
ET rb	3.01	±	0.65	3.16	±	0.61

טבלאות 4 ו-5 מציגות (משמאל לימין): יחס יומי ממוצע בין ערך מדוד למחושב, סטיית התקן של ממוצע זה, מקדם המתאם R^2 עבור הרגרסיה בין ערך יומי מדוד למחושב, מקדם Nash-Sutcliff Coefficient (NSC), (J Tanny et al., 2008), שכלל שערכו קרוב יותר ל-1 ההתאמה טובה יותר, מקדם השיפוע של Cf של הרגרסיה הלינארית בין המדידה למודל, ומקדם NSC מתוקן לאחר יישום מקדם הרגרסיה.

טבלה 4: השוואה בין המדידה למודלים בחמרשת						
Model	Avg. daily ratio ET/HP	STDV	R ²	NSC	Cf	GH
						NSC Corrected
ET ₀ out D	2.81	0.65	0.77	-36.95	0.35	0.03
ET ₀ out H	2.78	0.52	0.74	-35.19	0.36	0.21
ET ₀ in H	1.53	0.22	0.62	-2.52	0.67	0.47
PM sc	2.64	0.73	0.62	-32.40	0.40	-0.31
PM in (P)	1.88	0.22	0.66	-7.60	0.55	-0.09
PM gr	2.11	0.29	0.60	-11.93	0.50	0.51
PM pt	1.74	0.31	0.15	-5.73	0.58	0.37
PM rb	1.99	0.22	0.80	-9.66	0.52	0.59

טבלה 5: השוואה בין המדידה למודלים בבית הרשת						
Model	Avg. daily ratio ET/HP	STDV	R ²	NSC	Cf	SC
						NSC Corrected
ET ₀ out D	3.17	0.82	0.69	-72.02	0.30	-0.19
ET ₀ out H	3.20	0.65	0.63	-70.41	0.31	0.04
ET ₀ in H	1.73	0.16	0.59	-0.19	0.59	0.54
PM sc	2.56	0.78	0.26	-41.45	0.36	-0.47
PM in (P)	2.53	0.28	0.69	-32.24	0.40	-13.11
PM pt	1.54	0.21	0.56	-4.07	0.65	0.36
PM rb	2.48	0.18	0.86	-30.03	0.41	0.63

יחס יומי ממוצע מציג מידת התאמה כלל-תקופתית ומקדם NSC מציג מידת התאמה יומית. היחסים היומיים גדולים מ-1, בעיקר במודלים המבוססים על נתונים חישוביים, וזאת עקב כך שהמדידה נערכה בזמן שהמבנים היו מכוסים ברשת צל שחורה (40%) שגרמה להבדל משמעותי בין האקלים הפנימי לחיצוני. ניתן לראות שבשני המבנים, המודל בעל R² הגבוה ביותר בין המדידה למודל היה PMrb, המבוסס על נתונים פנימיים והתנגדות שכבת הגבול. למודל זה גם סטיית תקן קטנה של הממוצע היומי. בחמרת התקבל מתאם יומי גבוה ביותר (0.59) ע"י מודל PMrb. המתאם התקופתי הטוב ביותר (1.53) התקבל עם מודל ET in H. בבית הרשת המתאם היומי הגבוה ביותר (0.63) היה גם כן עם המודל PMrb. התאמה תקופתית טובה ביותר (1.54) התקבלה ע"י מודל PMpt אך R² והמתאם היומי היו נמוכים יחסית.

יבול

החלקה נקטפה החל מ-13/11/16 עד 15/5/17 סה"כ 12 קטיפים. הפרי מוין לפי המקובל. במבנה החמרת פוטנציאל היבול של שלושת הטיפולים הראשונים דומה. השקיה לפי 60% מהכמות המסחרית פגעה בפוטנציאל היבול. נתוני היבול מבית הרשת מצביעים כי היבול מטיפולים 1 ו-2 היה גבוה יותר במובהק מטיפולים 3 ו-4. טבלה 6 מציגה את היבול שהתקבל בטיפולי ההשקיה השונים. (טבלה 6)

טבלה 6: השפעת טיפולי השקיה על פוטנציאל יבול בכל מבנה:

<u>חמרת</u>					
משקל פרי ג'	מס' פירות ליצוא	שוק מקומי (ק"ג/מ"ר)	יצוא (ק"ג/מ"ר)	כללי (ק"ג/מ"ר)	
176	א 53.4	א 1.0	א 9.4	א 10.4	1. פנמן שעתי חישובי
183	א 51.9	א 0.93	א 9.4	א 10.3	2. פנמן פנימי
173	א 53.6	א 1.1	א 9.3	א 10.4	3. פנמן חישובי משקי
177	ב 44.0	א 0.96	ב 7.8	ב 8.8	4. 60% מפנמן משקי

<u>בית רשת</u>					
משקל פרי ג'	מס' פירות ליצוא	שוק מקומי (ק"ג/מ"ר)	יצוא (ק"ג/מ"ר)	כללי (ק"ג/מ"ר)	
172	א 56.7	1.96	א 9.78	א 11.7	1. פנמן שעתי חישובי
169	אב 52.6	2.24	אב 8.87	א 11.1	2. פנמן פנימי
165	ב 48.8	1.96	ב 8.10	ב 10.1	3. פנמן חישובי משקי
167	ב 49.2	1.94	ב 8.16	ב 10.1	4. 60% מפנמן משקי

בדיקות קרקע

בטבלה מס' 7 מרוכזים נתוני המוליכות החשמלית והכלוריד בבדיקות קרקע שבוצעו לקראת סיום הניסוי. טבלה 7- השפעת טיפולי ההשקיה על רמת המוליכות החשמלית והכלוריד בחמרת ובבית רשת בבדיקות

קרקע שבוצעו לקראת סיום הניסוי.

סוג המבנה	הטיפול	מוליכות חשמלית (dS/m)	כלוריד (מא"ק/ל')	מוליכות חשמלית (dS/m)	כלוריד (מא"ק/ל')
חמרת	עומק 0-20 ס"מ	עומק 20-40 ס"מ			
	פנמן שעתי חישובי	א 1.68	ב 7.8	1.91	10.1
	פנמן פנימי	אב 1.83	ב 8.6	2.03	11.5
	פנמן חישובי משקי	א 2.15	א 11.0	2.02	10.9
בית רשת	60% מפנמן משקי	אב 1.92	אב 9.3	2.19	11.0
	פנמן שעתי חישובי	אב 1.62	א 7.5	2.08	א 11.0
	פנמן פנימי	א 2.43	א 7.7	2.05	אב 8.6
	פנמן חישובי משקי	ב 1.32	ב 6.1	1.59	ב 7.2
60% מפנמן משקי	אב 1.75	אב 5.4	2.13	אב 10.2	

® אותיות שונות באותו טור בכ"א מהמבנים מלמדות על הבדל מובהק ברמה של 5%.

מטבלה 7 ניתן ללמוד שבסה"כ ערכי המוליכות החשמלית והכלוריד בתמיסת הקרקע בסיום הניסוי לא היו גבוהים במיוחד באף אחד מהטיפולים באף אחד מהעומקים. למרות זאת אפשר לראות לגבי המוליכות החשמלית, בבית רשת בשכבה העליונה רמת המוליכות החשמלית במיצוי העיסה הרוויה בטיפול שקיבל השקיה לפי הפנמן הפנימי הייתה יותר גבוהה באופן מובהק מרמת המוליכות החשמלית בטיפול שקיבל השקיה לפי הפנמן החיצוני, לעומת זאת בשכבה התחתונה לא היה הבדל מובהק בין הטיפולים. לעומת זאת בחמרשת דווקא בטיפול שקיבל השקיה לפי הפנמן החיצוני רמת המוליכות החשמלית בשכבה העליונה הייתה יותר גבוהה.

לגבי הכלוריד בשכבה העליונה, ניתן לראות ג"כ שהרמה בחמרשת בטיפול שקיבל השקיה לפי הפנמן החיצוני הייתה יותר גבוהה מהרמה בטיפולים שקיבלו השקיה לפי פנמן שעתי או לפי הפנמן הפנימי. בבית רשת לעומת זאת לא היה הבדל בין הטיפולים בשכבה העליונה ובשכבה התחתונה הרמה של הכלוריד בטיפול שקיבל השקיה לפי פנמן חיצוני הייתה נמוכה באופן מובהק מהרמה בטיפול שקיבל השקיה לפי פנמן שעתי.

בדיקות עלים

בטבלה 8 מרוכזים הנתונים של רמת יסודות הזנה ויסודות מליחות בעלים בבדיקות שבוצעו לקראת סיום הניסוי.

סוג המבנה	הטיפול	ח. חנקתי (מ"ג/ק"ג)	זרחן (%)	אשלגן (%)	נתרן (%)	כלוריד (%)	בורון (מ"ג/ק"ג)	ברזל (מ"ג/ק"ג)	אבץ (מ"ג/ק"ג)	מנגן (מ"ג/ק"ג)
חמרשת	פנמן חיצוני	3903	0.29	3.63	0.07 אב	0.74	38.6	99.8	33.1	113
	פנמן שעתי	4181	0.28	3.83	0.08 א	0.74	36.2	91.7	32.0	102
	פנמן פנימי	4350	0.27	3.63	0.06 ב	0.82	38.3	95.9	34.2	108
	60% מפנמן חיצוני	4605	0.27	3.74	0.07 אב	0.72	37.1	96.9	34.6	113
בית רשת	פנמן חיצוני	5989	0.31	3.35	0.08	0.94	39.1	165	39.5	84
	פנמן שעתי	5311	0.31	3.43	0.09	0.82	40.9	147	39.6	83
	פנמן פנימי	5170	0.29	3.17	0.08	0.86	39.6	162	39.8	85
	60% מפנמן חיצוני	5820	0.30	3.41	0.09	0.94	40.4	145	42.1	84

® אותיות שונות באותו טור בכ"א מהמבנים מלמדות על הבדל מובהק ברמה של 5%.

מטבלה 8 ניתן ללמוד שאם מנתחים את ההשפעה של הטיפולים בכל מבנה בנפרד, ההבדל היחידי המובהק הוא ההבדל ברמת הנתרן בעלים בחמרשת, כשהרמה בטיפול שקיבל השקיה לפי הפנמן השעתי יותר גבוהה באופן מובהק מהרמה בטיפול שקיבל השקיה לפי הפנמן הפנימי. בכל שאר הנתונים אין הבדל מובהק בין הטיפולים. לעומת זאת אם משווים בין 2 סוגי המבנים ניתן לראות שהרמה של יסודות המליחות: כלוריד ונתרן יותר גבוהה בעלים של הפלפל שגדל בבית רשת לעומת הרמה בעלים של הפלפל שגדל בחמרשת. כמו כן גם הרמה של החנקן החנקתי, הזרחן והברזל יותר גבוהים בעלים של הפלפל שגדל בבית רשת לעומת העלים של הפלפל שגדל בחמרשת. בסה"כ הרמה של החנקן בעלים של הפלפל בחמרשת נמצאת בתחום הרצוי ולעומת זאת בבית רשת הרמה גבוהה, לגבי הזרחן הרמה בחמרשת בכל הטיפולים נמוכה במקצת ובבית רשת היא בתחום הרצוי, לגבי האשלגן הרמה ב-2 סוגי המבנים דומה והיא בתחום הרצוי, והבורון ג"כ דומה ב-2 סוגי המבנים ובשניהם הוא לא גבוה.

ממצאי היבול ומנת ההשקיה מראים כי ההשקיה לפי מודל פנמן פנימי PMrb (טיפול 2) הייתה נמוכה ב 28% (חמרשת) ו 18% (בית רשת) מההשקיה המשקית. טבלת היבול מראה כי לא נגרמה פגיעה ביבול. משמעות ממצא זה היא כי ניתן להגדיל את יעילות השימוש במים ע"י השקיה לפי מדדים מטאורולוגיים פנימיים שנמדדים בתוך המבנה. ממחקר שמתבצע במקביל (בדיקת איכות פרי אחרי הקטיף, פרופ' אלי פאליק, לא מוצג בדו"ח זה) ידוע לנו כי לא נמצא הבדל מובהק באיכות הפרי בין טיפולי ההשקיה. לממצאים אלה חשיבות רבה להגדלת יעילות השימוש במים.

גם לגבי הרמה של המליחות בקרקע ובעלים לא נראה שכמות המים היותר קטנה שניתנה בטיפול של ההשקיה לפי הפנמן הפנימי גרמה לאיזו שהיא בעיה מיוחדת של מליחות בקרקע או בצמחים. נבחנה ההתאמה בין מדידת זרימת הגזע בגבעולים של צמחי פלפל לבין 8 מודלים ממשפחת פנמן-מונטית'. בבחינה זו יש להדגיש כי המדידה מייצגת את הטרנספירציה ואילו החישוב את האופוטורנספירציה: ההנחה היא שאידוי מהקרקע נמוך כפי שקיבלנו במחקרים קודמים בגידול פלפל בבתי רשת. הממצאים הנוכחיים מראים כי בשני המבנים, המודל בעל מקדם מתאם R^2 גבוה ביותר בין משישה לחישוב (0.80 ו 0.86 – לחמרשת ובית רשת, בהתאמה), הוא PMrb. זהו המודל שגם נבחר כטיפול השקיה מס' 2, מאחר וגם בשנה א' של המחקר הוא נתן תוצאה טובה. נזכיר כי מודל פנמן-מונטית' בסיסי כולל התנגדות אווירודינמית המבוססת על פילוג רוח לוגריתמי המתאים לתנאים של שדה פתוח. במודל PMrb, מוחלפת התנגדות זו בהתנגדות שכבת גבול סמוך למשטח מישורי (עלה). העדיפות של מודל זה בהשוואה למודל הרגיל מראה כי שימוש בהתנגדות שכבת הגבול עדיף על התנגדות לפי פילוג רוח לוגריתמי שבפועל לא קיים במבנים הנחקרים כאן. יש לציין כי בשני המבנים, מודל ET FAO56 in Hourly, אשר כולל התנגדות לפי פילוג לוגריתמי גם נתן תוצאה סבירה, עם יחס יומי ממוצע של 1.53 ו-1.73, ומקדם NSC של 0.47 ו-0.54. בחמרשת ובבית הרשת, בהתאמה. אולם, בשני המבנים, התקבל עבור מודל זה R^2 נמוך יחסית (0.62 ו-0.59, בחמרשת ובבית רשת בהתאמה), כנראה כתוצאה מהשימוש בהתנגדות לפי פילוג לוגריתמי שפחות מתאימה למבנים מאשר התנגדות שכבת הגבול.

תודה לשולחן פלפל במועצת הצמחים ולקרן קיימת לישראל על השתתפותם במימון המחקר.