

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

Development of crop water requirements and irrigation factors, based on Penman-Monteith equation, for pepper cultivation in screenhouses and greenhouses

יוסף טנאי, שבתאי כהן, דניאל חדד - 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.

תקציר

הצגת הבעיה: 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. כיום יש בארץ ובעולם ידע רב על דרישות ההשקיה של גידולים חשופים, אשר מתבססת על התאדות פוטנציאלית מנתונים מטאורולוגיים או גיגית, מותאמים למצב הגידול. לעומת זאת הידע על השקיה של גידולים מכוסים מועט, ומוגבל למספר גידולים באזורים ספציפיים.

מטרות המחקר: (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 וחיצוניים, תוך השוואה למקדמי ההשקיה של פלפל ללא רשת.
שיטות עבודה: הניסוי בוצע בתחנת צבי במו"פ בקעת הירדן בארבע מנהרות עבירות (רוחב המנהרה 10 מ' ואורך 45 מ'). שתילי פלפל זן גלעד נשתלו ב- 10/8/15. מבנים שנבחנו: 2 מבנים "חמרשת" – (מבנים 1,2) - החלפת כסוי רשת מאש לכסוי פלסטיק; 2 מבנים בית רשת - (מבנים 3,4) – כיסוי רשת קבוע כל משך העונה. מבנה אחד מכל סוג השקייה אחידה ומבנה שני 4 רמות השקייה.

תוצאות עיקריות לתקופת הדו"ח: לכל מבנה נמצא המודל להערכת האופוטורנספירציה שמתאים ביותר למדידת הטרנספירציה בשיטת פולס החום. בחמרשת התקבל מתאם יומי גבוה ביותר (0.94) ע"י מודל ETscr, עם סטייה תקופתית קטנה יחסית של 6% (1.06). בבית הרשת התאמה תקופתית גבוהה ביותר (0.99) התקבלה ע"י מודל ETrb עם מתאם יומי סביר של 0.79. מדידות היבול הראו על האפשרות להפחית את מנת ההשקייה ביחס להמלצות, ללא פגיעה ביבול, כלומר להגדיל את יעילות השימוש במים.
מסקנות והמלצות לגבי יישום התוצאות: בחינה של מודלים שונים מאפשרת בחירה של מודל מתאים ביותר לכל סוג של מבנה. נראה שניתן להפחית את מנת ההשקייה ללא פגיעה ביבול. מנת ההשקייה המחושבת לפי נוסחת פנמן-מונטית כמעט זהה לזו לפי מדידות גיגית.

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 בפוליאתיילן 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 ליזימטרים 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 מס' 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 האוופוטנספירציה של כלל הגידול, והתוצאות הושוו עם מספר מודלים ממשפחת פנמן-מונטית. המודל שהיה בהתאמה הטובה ביותר עם המדידות, הוצג כמודל המומלץ לחיזוי האוופוטנספירציה בתנאים שנבדקו.

כמו כן נבנה מערך קשרים בין תנאי אקלים פנימיים וחיצוניים המאפשר יישום של המודל לפי תנאים חיצוניים מדודים בתחנה מטאורולוגית תקינה, הזמינה לחקלאים.

במחקר שערכה קבוצת המחקר שלנו על תצרוכת המים של פלפל בבית רשת 50 מש נמדדה האוופוטנספירציה של כלל הגידול והטרנספירציה של הצמחים בשיטות קורלציות הערבוליים וזרימת המים בגבעול, בהתאמה, עם התאמה טובה בין השיטות. 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 האוופוטנספירציה 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. לדוגמא, במחקר על התאדות ממאגרים, השווינו בין מודלים שונים לבין מדידות ישירות של התאדות ממאגר מים על מנת לקבוע איזה מודל הכי מתאים לעבודה שגרתית בחיזוי התאדות מהמאגר (J Tanny et al., 2011) (J Tanny et al., 2008).

מטרות המחקר כפי שהופיעו בהצעה המקורית:

מטרות המחקר הן: (א) פיתוח אומדני תצרוכת מים של לפלל בבית רשת ובחממה תוך שימוש במודל מסוג פנמן-מונטית שיותאם לבתי הגידול שייבדקו. (ב) קביעת מקדמי ההשקיה לפלל בבתי רשת וחממות, לפי התאדות יחוס מחושבת לפי נוסחת פנמן-מונטית FAO56 ולפי המודלים המותאמים שיפותחו במחקר זה, על בסיס תנאי אקלים פנימיים וחיצוניים, תוך השוואה למקדמי ההשקיה של לפלל ללא רשת. המטרות העיקריות לשנה א': א. הקמת מערך הניסוי במו"פ בקעת הירדן כולל מערכות ההשקיה, גידול הפלפל במבנים והצבת החיישנים. ב. בחירת מודל פנמן-מונטית המתאים ביותר לכל סוג מבנה – בית רשת וחמרת.

פירוט עיקרי הניסויים והתוצאות לתקופת הדו"ח

מערך הניסוי וטיפולי ההשקיה:

הניסוי בוצע בתחנת צבי במו"פ בקעת הירדן בארבע 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 10/8/15, זן – גלעד (הזרע סידס). בשתילה, כל מנהרה כוסתה ברשת 17 מאש ורשת 30% צל שחורה. רשת הצל הוסרה ב- 28/9/15 וב- 8/11/15 הוחלפה הרשת מאש ביריעת פלסטיק במבני החמרת (1 ו-2). ב- 16.2.16 הותקנה רשת 30% צל על הפלסטיק ועל רשת ה- 17 מאש.

טיפולים:

2 מבנים חמרת – (מבנים 1,2) - החלפת כסוי רשת מאש לכסוי פלסטיק ;
2 מבנים בית רשת - (מבנים 3,4) – כיסוי רשת קבוע כל משך העונה.
מבנים 2 (חמרת) ו- 3 (בית רשת) – השקיה אחידה כל העונה לפי טיפול 1.
במבנים 1 (חמרת) ו-4 (בית רשת) בוצעו ארבעה תת-טיפולי ההשקיה הבאים:
1. ביקורת - מדידת התאיידות לפי גיגית חיצונית עם מקדם גידול לפי ההמלצות האזוריות; 2. 75% מטיפול 1; 3. התאדות מחושבת – פנמן-מונטית' בתנאים חיצוניים עם מקדם גידול לפי ההמלצות האזוריות; 4. 60% מטיפול 3. הטיפולים הופעלו בשלוש ערוגות מרכזיות (מתוך 5 ערוגות, ראה תצלום 1-א ומפה) בכל מבנה: אורך חלקת טיפול 7 מ', אורך חלקה לקטיף 4 מ' (במרכז השביל טמון לעומק פלסטיק להפרדה בין הטיפולים). הטיפולים הופעלו ב- 13/10/15, לאחר סיום חנטה של גל ראשון. היות ועקב סערה ונזק לא היו נתוני פנמן-מונטית' בתחנה החל מנובמבר, נתוני ההשקיה לטיפול 3 היו לפי 77% מהנתון הנמדד בתחנה בביצת ארגמן (מבוסס על מתאם משנים קודמות). כל טיפול הופעל ב- 4 חזרות. כמויות המים המצטברות בכל מבנה וטיפול מוצגות בטבלה 1 ובאיור 2.



איור 1-ב: חיישנים מיקרו-מטאורולוגיים מותקנים מעל לצמחי הפלפל בבית הרשת. ניתן לראות את מד הרוח האולטרא-סוני, מד טמפרטורה ולחות אוויר, מד קרינה נטו ואוגר נתונים (קופסה לבנה) מחובר לעמוד.

איור 1-א: מבנה בית הרשת לאחר השתילה. ניתן לראות את חמש שורות הצמחים. שלוש השורות המרכזיות שמשו כטיפולים ושתי השורות הקיצוניות כשורות גבול.

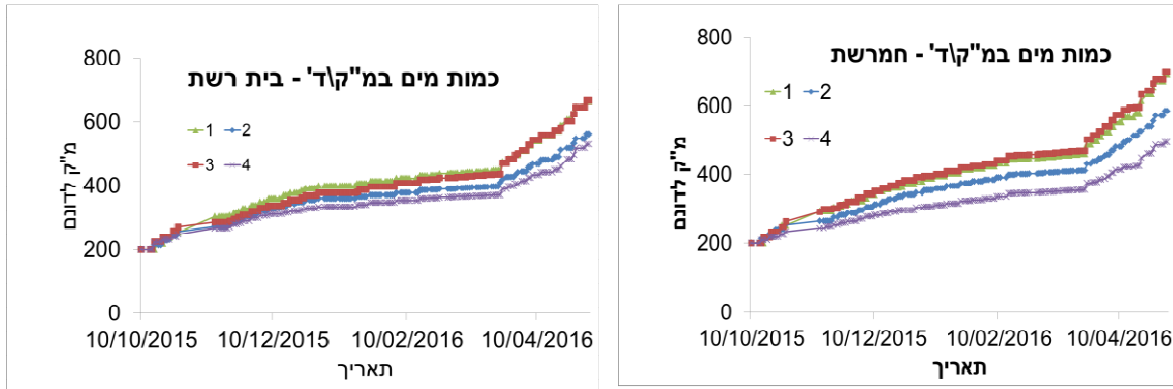
מפת טיפולי ההשקיה

5	4	3	2	1
שוליים		טיפול 3		שוליים
	טיפול 2	טיפול 4	טיפול 1	
	טיפול 1	טיפול 1	טיפול 2	
	טיפול 4	טיפול 2	טיפול 3	
	טיפול 3	טיפול 3	טיפול 4	
	טיפול 4	טיפול 2	טיפול 1	

טבלה 1 - כמויות מים שניתנו בפועל לפי הטיפולים - (עד הפעלת הטיפולים - השקיה אחידה כ-200 מ"ק/ד' לכל הטיפולים).

כמויות מים במ"ק/ד'		
13/10/15-5/5/16		
מבנה 1 (חמרשת)	מבנה 4 (בית רשת)*	טיפול השקיה
490	466	מס' 1 - ביקורת, לפי נתוני גיגית חיצונית עם מקדם גידול
386	363	מס' 2 - 75% מטיפול 1
500	467	מס' 3 - פנמן חיצוני ומקדם גידול
294	330	מס' 4 - 60% מטיפול 3

• לבית הרשת יש להוסיף גשם שנמדד - 110 מ"מ.



איור 2: כמויות מים מצטברות בשני המבנים. ימין – מבנה 1 (חמרשת); שמאל – מבנה 4 (בית רשת). כל הטיפולים קיבלו השקייה אחידה של 200 מ"קדונם עד תחילת ההשקייה הדיפרנציאלית. בית הרשת קיבל 110 מ"קדונם נוספים עקב גשמים (לא מוצג בגרף).

מדידות מיקרו-מטאורולוגיות, מדידת צריכת מים, וחישוב המודלים

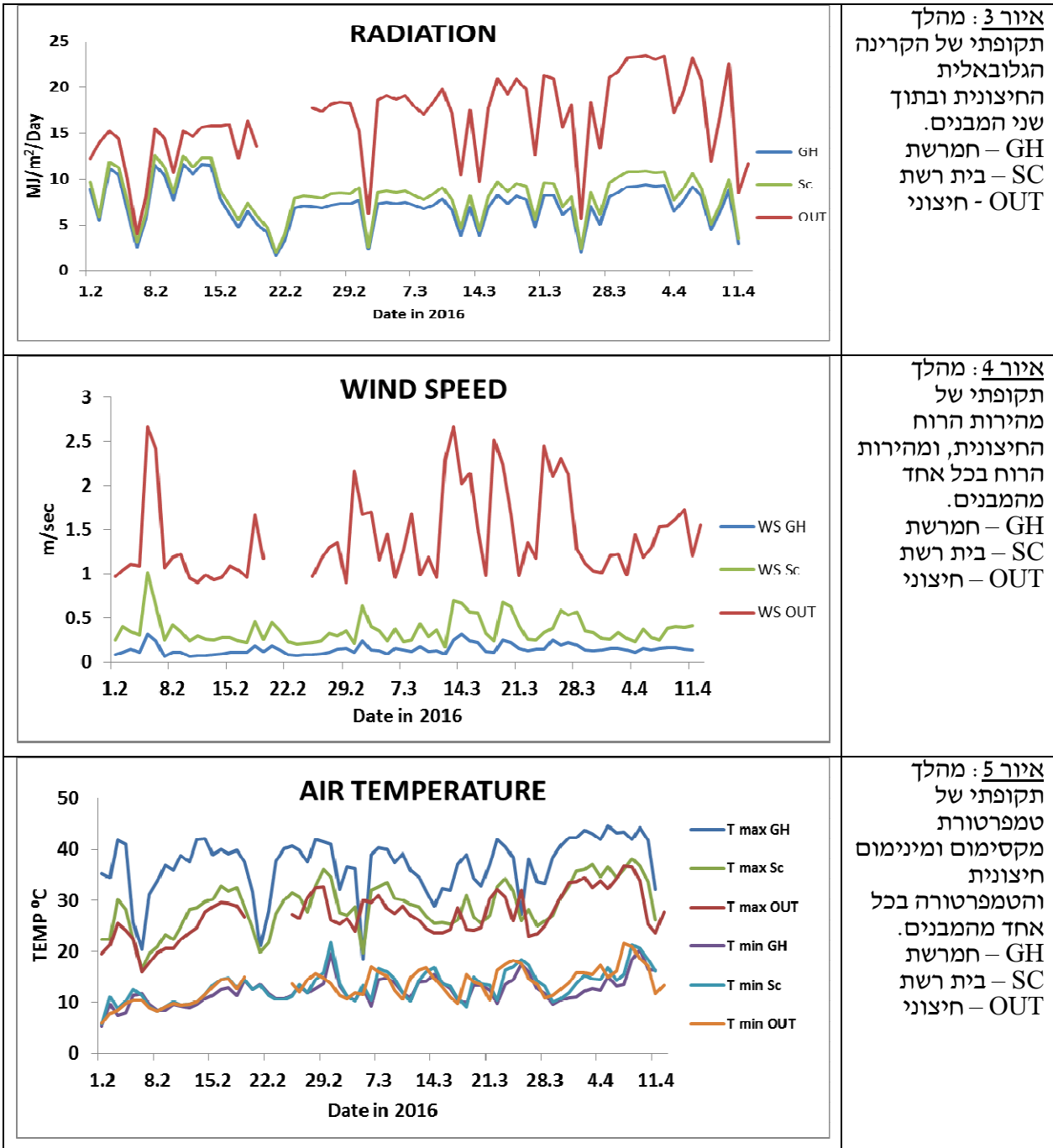
בכל מבנה הוצבו חיישנים מיקרומטאורולוגיים לחישוב אוופורנספירציה לפי נוסחת פנמן-מונטית. הוצב מד רוח אולטרא-סוני תלת צירי, חיישני טמפרטורה ולחות אוויר, מד קרינה נטו ומד קרינה גלובאלית. החיישנים הוצבו בגובה של כ- 2 מ' מעל מישור העתקת האפס (zero plane displacement), כפי שנדרש בנוסחת פנמן-מונטית. החיישנים מדדו ברציפות, בתקופה 11.4.2016-5.11.2015 (כ-5 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 16.12.2015-24.4.2016 (מעל 4 חודשים) עם 3 החלפות של צמחים. עד היום עובדו 12 ימים בהם פעלו בתקינות כל 12 החיישנים בכל מבנה. ימים נוספים יעובדו בהמשך ויוצגו בדו"ח המסכם. נתונים מטאורולוגיים חיצוניים נלקחו מתחנה של השירות המטאורולוגי הנמצאת כ- 200 מ' מאתר הניסוי (אשר קרסה בסערה ב- 25.10.2015), או מתחנה חיצונית שאנחנו הקמנו סמוך לאתר הניסוי זמן מה לאחר שהתחנה של השמי"ט קרסה. כתוצאה מכך, אין רצף בהצגת התוצאות התלויות בנתונים מטאורולוגיים חיצוניים. חושבו המודלים הבאים המבוססים על נוסחת פנמן-מונטית:

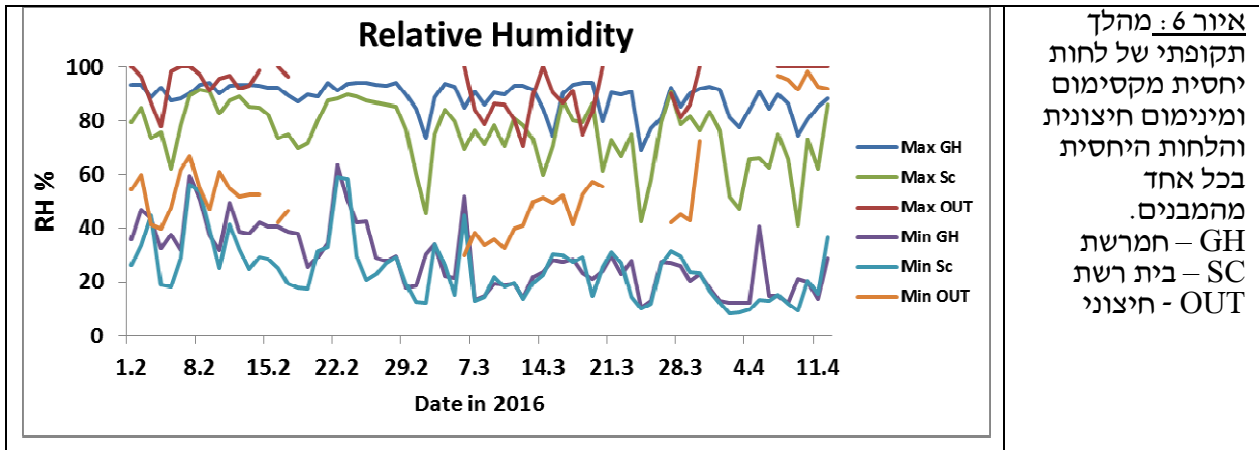
ETrb	ETpt	ETgr	ETscr	ET _{FAO56} *	כינוי המודל
החלפת ההתנגדות האווירודינמית לפי פילוג רוח לוגריתמי, בהתנגדות לפי שכבת גבול. (Pirkner et al., 2014)	התאדות במצב שיווי משקל. (Priestley & Taylor, 1972)	מותאם לחממה. כולל התנגדות התלויה בקצב חילופי האוויר בין החממה לסביבה החיצונית. (Fuchs, 1993)	מותאם לבית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

*הערה: המודל FAO56, חושב בשלושה אופנים (טבלה 3 בהמשך), חיצוני יומי, חיצוני שעותי, פנימי שעותי. בנוסף חושב מודל PM (for pepper), שהוא נוסחת פנמן-מונטית הבסיסית עם התנגדויות ספציפיות עבור צמחי פלפל.

נתונים מיקרו-מטאורולוגיים

בגרפים הבאים (איורים 3-6) מוצגים מהלכים תקופתיים של נתונים מטאורולוגיים בתוך שני המבנים ונתונים מהתחנה החיצונית למשך כחודשיים של מדידות. איור 3 מציג את מהלך הקרינה הגלובאלית. נראה בברור כי יש עלייה בקרינה החיצונית לקראת תקופת האביב. לעומת זאת הקרינה הפנימית כמעט ולא משתנה, ככל הנראה עקב הצטברות אבק על כיסוי המבנים. ניתן לראות כי לרשת (קו ירוק) הייתה מעבירות גבוהה יותר מאשר לחמרת (קו כחול). איור 4 מראה הפחתה משמעותית במהירות הרוח, וכצפוי, ההפחתה בחמרת, עם כיסוי הפלסטיק, גבוהה יותר מאשר בבית הרשת.





איור 6: מהלך תקופתי של לחות יחסית מקסימום ומינימום היחסית והלחות היחסית בכל אחד מהמבנים. GH – חמרת בית רשת SC – בית רשת OUT – חיצוני

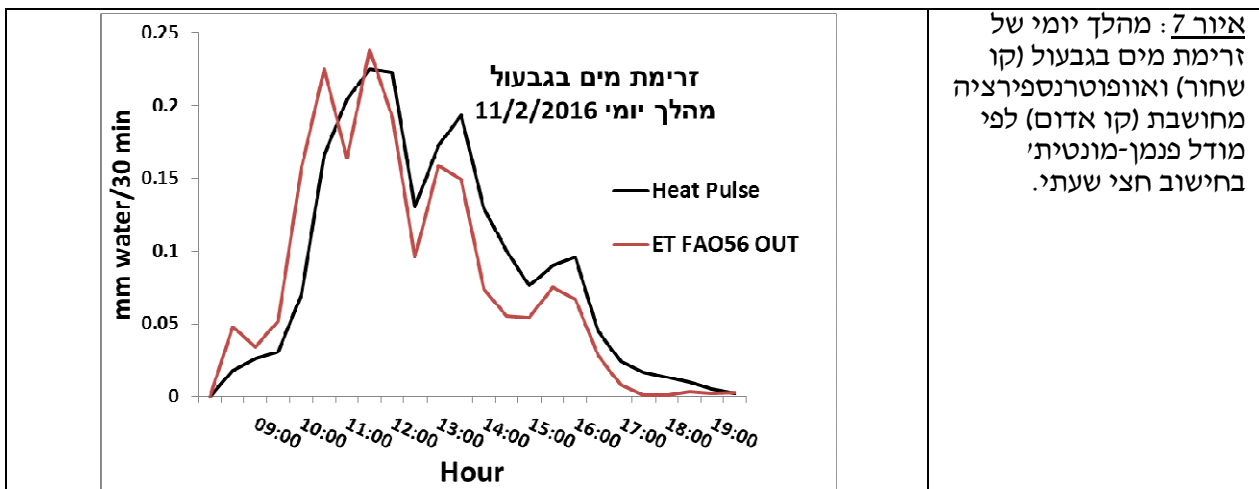
באיור 5 ניתן לראות כי בחמרת הטמפרטורה המקסימלית הייתה גבוהה יותר מאשר בבית הרשת. הסביבה החיצונית ובית הרשת היו בטמפרטורה קרובה. איור 6 מראה כי הלחות היחסית המקסימלית בחמרת הייתה גבוהה יותר מאשר בבית הרשת. טבלה 2 מציגה את נתוני הרגסיות. טבלה 2 – סיכום נתוני הרגסיות הליניאריות בין נתונים מטאורולוגיים פנימיים וחיצוניים. הנתון החיצוני בציר X והפנימי בציר Y.

Relation in-out (Out is X-axis)	שיפוע	חותך	r^2	מספר נקודות
Radiation GH (Wm^{-2})	0.44	0.15	0.89	21030
Radiation SC (Wm^{-2})	0.5	0.66	0.915	21030
Wind speed GH (ms^{-1})	0.08	0.033	0.51	21030
Wind speed SC (ms^{-1})	0.259	-0.0016	0.66	21030
Temperature GH ($^{\circ}C$)	1.44	-6.81	0.76	21030
Temperature SC ($^{\circ}C$)	1.09	-1.33	0.97	21030
RH GH (%)	0.98	0.96	0.67	10727
RH SC (%)	1.11	-21.94	0.84	10727

הטבלה מראה כי בכל המשתנים, מקדם המתאם בין פנים לחוץ היה גבוה יותר בבית הרשת (SC) לעומת החמרת (GH). זאת, כצפוי, עקב האינטראקציה הגבוהה יותר בין בית הרשת לסביבה החיצונית בהשוואה לחמרת בה הסביבה הפנימית מבודדת יותר מהחיצונית עקב כיסוי הפלסטיק.

צריכת מים מדודה בשיטת פולס החום ואופוטורנספירציה מחושבת לפי המודלים

איור 7 מציג לדוגמה מהלך של יום אחד המשווה בין זרימת המים בגבעולי הפלפל שנמדדה בשיטת פולס החום לבין הערכת האופוטורנספירציה לפי מודל פנמן מונטית. נראית התאמה טובה בין המדידה למודל. בגרף זה נתוני פולס החום הם עם מקדם כיוול 1. בקיץ הקרוב נערוך כיוול של שיטת פולס החום לזן הפלפל הספציפי והגרף יעודכן בהתאם. עשוי להיות שינוי מסוים בערכים אך לא במגמה.



איור 7: מהלך יומי של זרימת מים בגבעול (קו שחור) ואופוטורנספירציה מחושבת (קו אדום) לפי מודל פנמן-מונטית. בחישוב חצי שעות.

השוואה בין מדידת זרימת המים בגבעול למודלים

תוצאות ההשוואה בין המדידות למודלים השונים מרוכזות בטבלה מס' 3 להלן. הטבלה מציגה יחס יומי ממוצע, בין ערך מדוד למחושב, עבור 12 ימים, עם סטיית תקן, וכן את מקדם Nash-Sutcliff Coefficient (NSC), (J Tanny et al., 2008) שכלל שערכו קרוב יותר ל-1 ההתאמה טובה יותר.

טבלה 3 – סיכום ההשוואה בין המודלים למדידות. סה"כ חושבו 8 מודלים שונים.

	חמרשת (מ"מ/יום)			בית רשת (מ"מ/יום)		
	mm/day	סטית תקן		mm/day	סטית תקן	
Actually measured	2.54 ±	0.78		2.43 ±	0.9	
ET _{FAO56} out Daily	2.12 ±	0.46		2.12 ±	0.46	
ET _{FAO56} out Hourly	2.41 ±	0.66		2.41 ±	0.66	
ET _{FAO56} in Hourly	2.34 ±	0.73		1.70 ±	0.49	
ET scr	2.74 ±	0.90		2.13 ±	0.72	
PM in (for Pepper)	2.28 ±	0.76		2.24 ±	0.68	
ET gr	2.59 ±	0.87		N/A	N/A	
ET pt	2.59 ±	1.00		1.66 ±	0.59	
ET rb	2.38 ±	0.78		2.28 ±	0.66	
Ratio: Model/HP	Ratio	NSC		Ratio	NSC	
ET _{FAO56} Daily out	0.90	0.34		1.07	0.59	
ET _{FAO56} Hourly out	0.98	0.88		1.14	0.83	
ET _{FAO56} Hourly in	0.93	0.79		0.74	-0.03	
ET scr	1.06	0.94		0.96	0.62	
PM in (for Pepper)	0.89	0.81		0.98	0.63	
ET gr	1.01	0.89		N/A	N/A	
ET pt	1.00	0.62		0.71	-0.11	
ET rb	0.93	0.88		0.99	0.79	

יחס יומי ממוצע מציג מידת התאמה כלל-תקופתית ומקדם NSC מציג מידת התאמה יומית. בחמרשת התקבל מתאם יומי גבוה ביותר (0.94) ע"י מודל ETscr, עם סטייה תקופתית קטנה יחסית של 6% (1.06). מודל ETgr המיועד לחממה נתן מתאם תקופתי מצוין עם יחס של 1.01. המתאם התקופתי הטוב ביותר (1.0) התקבל עם מודל ETpt, אך התקבלה שם סטייה גדולה (0.62) במתאם היומי. בבית הרשת המתאם היומי הגבוה ביותר (0.83) היה עם המודל ET_{FAO56} H out, עם סטייה תקופתית גבוהה יחסית של 14% (1.14) אשר ניתנת לתיקון ע"י התאמת מקדם הגידול. התאמה תקופתית גבוהה ביותר (0.99) התקבלה ע"י מודל ETrb עם מתאם יומי סביר של 0.79.

יבול

טבלה 4 מראה כי בשני סוגי המבנים לא היה הבדל מובהק ביבול בין טיפולים 1 ו-2, מה שמציע שניתן להפחית בהשקייה ללא פגיעה ביבול, כלומר, להגדיל את יעילות השימוש במים. ההבדל בין טיפולים 3 ו-4 מראה כי בחמרשת הייתה פגיעה ביבול אך לא כן בבית הרשת. בהשוואה זו יש לזכור כי בית הרשת קיבל 110 מ"מ מים יותר מהחמרשת (עקב גשמים).

טבלה 4 : השפעת טיפולי השקיה על פוטנציאל יבול בכל מבנה :

מסקל פרי ג'	מס' פירות	שוק מקומי (ק"ג/מ"ר)	יצוא (ק"ג/מ"ר)	כללי (ק"ג/מ"ר)	חמרשת
192	52.0	1.35	AB 8.6	AB9.99	1. ביקורת, לפי נתוני גיגית חיצונית עם מקדם גידול
193	50.5	1.50	AB 8.24	AB 9.74	2. 75% מטיפול 1
186	55.2	1.98	A 8.92	A 10.3	3. פנמן חיצוני ומקדם גידול
179	51.3	1.2	B 7.99	B 9.2	4. 60% מטיפול 3

מסקל פרי ג'	מס' פירות	שוק מקומי (ק"ג/מ"ר)	יצוא (ק"ג/מ"ר)	כללי (ק"ג/מ"ר)	בית רשת
A 190	AB 50.0	1.3	8.26	9.5	1. ביקורת, לפי נתוני גיגית חיצונית עם מקדם גידול
B 173	A 52.4	1.04	8.0	9.04	2. 75% מטיפול 1
AB 179	A 52.3	1.18	8.2	9.3	3. פנמן חיצוני ומקדם גידול
A 194	B 45.1	1.4	7.37	8.77	4. 60% מטיפול 3

דיון

מנות ההשקיה בטיפולים 1 ו-3 היו כמעט זהות מה שמראה כי ניתן להחליף את השימוש בהשקיה לפי גיגית להשקיה לפי נוסחת פנמן-מונטית'. לכך יש חשיבות מעשית שכן בשנים האחרונות יש מהלך של שה"ם והשירות המטאורולוגי לעבור מהשקיה לפי גיגית להשקיה לפי מודל פנמן-מונטית', אך יישום מהלך זה דורש הוכחה כי מעבר זה לא יפגע ביבול, כפי שמראה טבלה 4. ממצאי היבול מראים כי ניתן להפחית את מנת ההשקיה בכ-20% בשני סוגי המבנים ללא פגיעה ביבול, כלומר להגדיל את יעילות השימוש במים בהשוואה לגידול בשדה פתוח. ממצא זה תואם תוצאות קודמות שקיבלנו בעבר לגבי גידול בננה ותפוח תחת רשתות. בבית הרשת ניתן להגיע להפחתה גדולה יותר במנת המים מאשר בחמרשת. בהשוואה זו יש לזכור כי בית הרשת קיבל 110 מ"מ מים יותר מהחמרשת (עקב גשמים). שה"ם היבול בחמרשת היה גבוה מזה בבית הרשת. ההסבר לכך קשור כנראה לטמפרטורות המקסימום שהיו יותר גבוהות במבנה זה (איור 5). כתוצאה מטמפרטורות מקסימום יותר גבוהות קצב ההבשלה היה יותר גבוה והתקבלו יותר פירות. בנתוני המטאורולוגיה האחרים ההבדל בין המבנים לא היה בולט (פרט למהירות הרוח) ונראה שלא הם שגרמו להבדל ביבול. נבחנה ההתאמה בין מדידת זרימת הגזע בגבעולים של צמחי פלפל לבין 8 מודלים ממשפחת פנמן-מונטית'. בבחינה זו יש להדגיש כי בשלב זה נתוני הזרימה בגזע חושבו ללא מקדם כיוול. בכוננתנו לערוך בקיץ הקרוב כיוול של צמחי פלפל מהזן שנבחן בניסוי ואז נעדכן את החישובים. כמו כן, המדידה מייצגת את הטרנספירציה ואילו החישוב את האוופוטורנספירציה: ההנחה היא שאידוי מהקרע נמוך כפי שקיבלנו במחקרים קודמים בגידול פלפל בבתי רשת. הממצאים הנוכחיים מראים כי לחמרשת המודל המתאים ביותר במתאם היומי (NSC=0.94) הוא מודל ETscr שמיועד לבתי רשת. זאת כנראה עקב הדמיון בין החמרשת (מבנה עם רשתות בצד וכיסוי פלסטיק) לבין בית הרשת. מודל החממה ETgr נתן גם מתאם תקופתי מצוין (1.01) וגם מתאם יומי גבוה (0.89) ונמצא מתאים ביותר לחמרשת בשלב זה. מודל החממה כולל את החלפות האוויר בין פנים המבנה לסביבה החיצונית, ולכן מייצג היטב את החמרשת עם גג הפלסטיק. לבית הרשת, התאמה תקופתית גבוהה ביותר (0.99) התקבלה ע"י מודל ETrb עם מתאם יומי גבוה (0.79). מודל פנמן-מונטית' בסיסי כולל התנגדות אווירודינמית המבוססת על פילוג רוח לוגריתמי המתאים לתנאים של שדה פתוח. במודל ETrb, מוחלפת התנגדות זו בהתנגדות שכבת גבול סמוך למשטח מישורי (עלה). העדיפות של מודל זה בהשוואה למודל הרגיל בבית הרשת מראה כי שימוש בהתנגדות שכבת הגבול עדיף על התנגדות לפי פילוג רוח לוגריתמי שבפועל לא קיים בבתי רשת מסוג זה. יש לציין כי בחמרשת

מודל ET FAO56 Hourly out, אשר כולל התנגדות לפי פילוג לוגריתמי גם נתן תוצאה מצוינת, יומית ותקופתית. אולם, מודל זה מבוסס על נתונים מטאורולוגיים חיצוניים, ולכן כנראה השימוש בפילוג הלוגריתמי תקף.

ביבליוגרפיה

- Allen, R.G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome.
- In: Cooling Systems. Fuchs, M., (1993). Transpiration and foliage temperature in a greenhouse for Greenhouses. International Workshop. AGRITECH, Tel Aviv, May 2–6, 1993.
- Möller, M., Tanny, J., Li, Y., & Cohen, S. (2004). Measuring and predicting evapotranspiration in an insect-proof screenhouse. *Agricultural and Forest Meteorology*, 127(1), 35–51.
<http://doi.org/10.1016/j.agrformet.2004.08.002>
- Moratiel, R., & Martínez-Cob, A. (2012). Evapotranspiration of grapevine trained to a gable trellis system under netting and black plastic mulching. *Irrigation Science*.
<http://doi.org/10.1007/s00271-011-0275-3>
- Pirkner, M., Dicken, U., & Tanny, J. (2014). Penman-Monteith approaches for estimating crop evapotranspiration in screenhouses—a case study with table-grape. *International Journal of Biometeorology*, 58(5), 725–737. <http://doi.org/10.1007/s00484-013-0653-z>.
- Priestley, C.H.B., Taylor, R.J. (1972). On the Assessment of Surface Heat Flux and Evaporation Using Large-Scale Parameters. *Monthly Weather Review*, 100, 81–92.
- Tanny, J. (2013). Microclimate and evapotranspiration of crops covered by agricultural screens: A review. *Biosystems Engineering*, 114(1), 26–43.
<http://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.10.008>
- Tanny, J., Cohen, S., Assouline, S., Lange, F., Grava, A., Berger, D., ... Parlange, M. B. (2008). Evaporation from a small water reservoir: Direct measurements and estimates. *Journal of Hydrology*, 351(1-2), 218–229.
- Tanny, J., Cohen, S., Berger, D., Teltch, B., Mekhmandarov, Y., Bahar, M., ... Assouline, S. (2011). Evaporation from a reservoir with fluctuating water level: Correcting for limited fetch. *Journal of Hydrology*, 404(3-4), 146–156. Retrieved from
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169411002770>