

## קביעת מקדמי השקיה בגידול פלפל במבנים

יוסי טנאי, ניר ברהלוץ, שבתאי כהן - מנהל המחקר החקלאי  
אפרים ציפלבין, זיוה גלעד - מו"פ בקעת הירדן  
דויד סילברמן - שה"מ, משרד החקלאות  
אלי פאליק, שרון אלקלעי טוביה - מנהל המחקר החקלאי

### תקציר

הצגת הבעיה: בשנים האחרונות התרחב בארץ גידול פלפל חסוי במבנים שונים. כיום יש בארץ ובעולם ידע רב על דרישות ההשקיה של גידולים חשופים, אשר מתבססת על התאדות ייחוס מנתונים מטאורולוגיים או גיגית, מותאמים למצב הגידול. לעומת זאת הידע הנוכחי על השקיית גידולים בחממה לפי תנאים פנימיים מועט ורוב מדדי ההשקייה מבוססים על תנאים מטאורולוגיים חיצוניים. בנוסף, הערכת צריכת המים לפי מודל פנמן-מונטית מבוססת על הנחה של כיסוי מלא של הגידול ולא לוקחת בחשבון כיסוי חלקי, גורם משמעותי בעיקר בשלבים הראשונים של התפתחות הצמחים. לצורך זה נדרש ידע אמין על מדד שטח העלים של הגידול.

מטרות המחקר: (א) בחינה והתאמת מערכת מדידה מסוג קינקט (Kinect), להערכה בזמן אמיתי של מדד שטח העלים. ידע זה יאפשר הפעלת מודלים שונים של אוופוטורנספירציה המתאימים לשלבים השונים של התפתחות הצמחים; (ב) פיתוח מדדים של דרישות השקיה לגידולי חממה בשלבי ההתפתחות הראשונים שלהם, תוך שימוש במודלים דינמיים של אוופוטורנספירציה שמאפשרים הפרדה בין טרנספירציה מהצמחים והתאדות מהקרקע. שיטות עבודה: הניסוי בוצע בתחנת צבי במו"פ בקעת הירדן בשלוש מנהרות עבירות (רוחב המנהרה 10 מ' ואורך 45 מ'). שתילי פלפל זן גלעד נשתלו בחודש אוגוסט בכל שנה. המבנים שנבחנו כללו 3 מבנים מסוג "חמרשת" שבהם כיסוי רשת בתקופות החמות (תחילת וסוף עונה) וכיסוי פלסטיק בחורף. מבנה אחד היה עם השקייה מסחרית ושני מבנים נוספים בהם 4 טיפולי השקייה עם חזרות. נעשו מדידות מטאורולוגיות וצמחיות, יבול ואיכות פרי והופעלו ליזימטרים.

תוצאות עיקריות לתקופת הדו"ח: עם כיסוי רשת הצל המודלים הפנימיים נותנים הערכת התאדות של כ-30% מההתאדות החיצונית, וללא רשת הצל יחס זה גדל לסביבות 70%. ממצא זה ממחיש את פוטנציאל החיסכון במים ע"י השקייה לפי משתני אקלים פנימיים. עבור נתונים של שנתיים, נמצא קשר לינארי טוב בין גובה הצמחים ומדד שטח העלים. קשר זה יושם בהצלחה בשנה השלישית. המדידה של ההתאדות מהקרקע הייתה בהתאמה סבירה לשני המודלים שמתארים כיסוי חלקי והוצגה הירידה בהתאדות מהקרקע עם עליית מדד שטח העלים. נמצאה התאמה טובה בין הערכת ומדידת הטרנספירציה. מדידות היבול הראו על האפשרות להפחית את מנת ההשקייה תוך שימוש במודלים עבור צמחים קטנים, ביחס להמלצות וכן ביחס למודל לצמחים מפותחים, ללא פגיעה ביבול. סיכום של שלוש שנים הראה עליה של כ-40% ביעילות השימוש במים ביחס לטיפול המסחרי.

מסקנות והמלצות לגבי יישום התוצאות: מדידת מיקרואקלים בתוך המבנה והערכת התאדות לפי מודלים לצמחים קטנים, מאפשרים חסכון בהשקייה ללא פגיעה ביבול.

בשנים האחרונות התרחב בארץ גידול פלפל בבתי רשת וחממות, והשטח הנוכחי של גידול פלפל מוגן איכותי ליצוא בחורף עומד על מעל 20,000 דונם בערבה ובבקעת הירדן. מגדלים בארץ בעיקר בשני סוגי בתי גידול: 1. בית רשת בנוי מרשת חיצונית קבועה (רשת נגד חרקים או לשיפור תנאי אקלים) ובנוסף רשת 40% צל מתחתיה או מעליה בתקופות החמות יותר; 2. חמרות - בית צמיחה מכוסה רשת בתחילת העונה ובסופה, כאשר בתחילת נובמבר מוחלפת הרשת בפוליאיתלן לתקופת החורף.

השפעות הכיסוי על המיקרואקלים מגוונות, ותלויות בעיקר במאפייני הכיסוי (סוג החומר, צפיפות הרשת, 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 ברשת אינם חד משמעיים (Tanny, 2013). כיום יש בארץ ובעולם ידע רב על דרישות ההשקיה של גידולים חשופים, אשר מתבסס על התאדות ייחוס מנתונים מטאורולוגיים או גיגית, 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) (Moratiel & Martínez-Cob, 2012).

הגידול תחת רשת משנה את המיקרואקלים של הצמחים, ומספר מחקרים קודמים הראו שינויים אלה וכן את האפשרות של הגדלת יעילות השימוש במים תחת רשתות (Tanny, 2013). לדוגמה, במחקר שערכה קבוצת המחקר שלנו על תצרוכת המים של פלפל בבית רשת 50 מש נמדדה האוופוטנספירציה של כלל הגידול והטרנספירציה של הצמחים בשיטות קורלציית הערבולים 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. עבור חממות, (Harmanto, Salokhe, Babel, & Tantau, 2005) הראו כי השקיית גידול עגבניה בשיעור 75% מאוופוטנספירציה חיצונית מבוססת על מודל פנמן-מונטית, נתנה יכול אופטימאלי.

הערכה של אוופוטנספירציה ייחוס על ידי מודל פנמן-מונטית לפי FAO56, (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 1998) מבוססת על ההנחה שהצמחים מכסים את הקרקע באופן מלא. במהלך הגידול, מוכפלת אוופוטנספירציה הייחוס במקדם גידול הלוקח בחשבון את מצב התפתחות הצמחים. מקדם זה הינו אמפירי ומבוסס, בדרך כלל, על ממוצעים רב שנתיים. לכן, מקדם זה לא תמיד מייצג את המצב האמיתי של התפתחות הצמחים בתנאי גידול ספציפיים. בגידול חקלאי של גידולי שורה, כמו פלפל, ובמיוחד עבור צמחים בשלבים הראשונים של התפתחות שלהם, רק חלק מהשטח מכוסה על ידי הצמחיה, וחלק זה משתנה עם הזמן. מודל SW (Shuttleworth & Wallace, 1985), פותח על מנת לקחת בחשבון את הכיסוי החלקי של הצמחים ואת ההפרדה בין האיזוי מהקרקע והטרנספירציה מהצמחים. בספרות המדעית הוצעו שתי גרסאות למודל SW (Yang, 2015), (Lhomme & Chehbouni, 1999): האחד נקרא SW-Patch (SWP), מודל כתמי, ומתאים לגידול דליל בו השטפים מהצמחיה והקרקע אינם מצומדים, והשני נקרא SW-Layer (SWL), מודל שכבתי, ומתאים לגידולי שורה שם צפויה אינטראקציה בין הצמחיה לקרקע. האוופוטנספירציה המחושבת לפי מודלים אלה תלויה במדד שטח העלים (LAI), ובמידת כיסוי הנוף (crop cover fraction), שערכם משתנה בצורה דינמית עם גדילת הצמחים. שימוש במודלים אלה בתחילת הגידול עשוי לשפר את ניהול ההשקיה.

מטרות המחקר (א) בחינת והתאמת מצלמת תנועה מסוג KINECT להערכה בזמן אמיתי של מדד שטח העלים וכיסוי הנוף של גידולים בחממה בתחילת הגידול שלהם. (ב) פיתוח מדדים של דרישות השקיה לגידולי חממה

בשלבי ההתפתחות הראשונים שלהם, תוך שימוש במודלים דינמיים של אוופוטנספירציה שמאפשרים הפרדה בין טרנספירציה מהצמחים והתאדות מהקרע.

#### **מהלך המחקר ושיטות עבודה (עונה 20/21)**

**מערך הניסוי וטיפול השקייה:** הניסוי בוצע בתחנת צבי במו"פ בקעת הירדן באותן שלוש מנהרות עבירות של שנים א' ו- ב' (רוחב המנהרה 10 מ' ואורך 45 מ'). הכנת שטח – משתת בערוגות הקיימות, פיזור 5 מ"ק/ד', קומפוסט בוצה מטופלת, שטיפה של 100 מ"ק/ד' בהמטרה, תיחוח, פריסת פלסטיק שקוף על כל השטח לצורך חיטוי סולרי והזרמת אדיגן בערוגות (באמצעות שלוחות הטפטוף). שתילה 11/8/20, זן – גלעד (הזרע סידס). הגידול היה במתכונת חמ-רשת. בשתילה, המנהרות כוסו ברשת 17 מאש ורשת 40% צל שחורה. רשת הצל הוסרה ב- 29/9/20. ב- 10/11/20 רשת 17 מש הוחלפה בפלסטיק IR עובי 0.12 מ"מ. ב- 27/1/21 הותקנה רשת צל 40% על הפלסטיק. ב- 15/3/21 בוצע חיתוך פתחי אוורור בפלסטיק.

במבנה 3 ניתנה השקייה משקית אחידה במשך כל העונה. במבנים 1 ו-2 ניתנו טיפולי השקייה. ב- 6/9/20 הופעלו ארבעה טיפולי השקייה לפי הפירוט להלן. 1. טיפול משקי (מסחרי) – פנמן חיזוני + מקדם כמקובל בגידול מסחרי. 2. מודל פנמן-מונטית' עם מקדם שכבת גבול (PM\_Rb). מקדם קבוע כל העונה – 0.79 מהתאדות. 3. מודל פנמן-מונטית' שכבתי (PM\_SWL - Layer). מקדם 0.79. 4. מודל פנמן-מונטית' כתמי (PM\_SWP – Patch). מקדם 1 כל העונה.

מקדמי ההשקיה לטיפולים פרט למסחרי נקבעו לאור תוצאות שנאספו בניסוי קודם בעונה 2015/16. במבנה 3 הופעלה השקייה אחידה כל העונה לפי הנוהל המסחרי (טיפול 1). במבנים 1 ו-2, הופעלו טיפולים בשלוש ערוגות מרכזיות (מתוך 5 ערוגות, ראה איור 1א'): אורך חזרה לטיפול 7 מ', אורך חלקה לקטיף 5 מ'. הטיפולים הופעלו ב- 6/9/20 כל טיפול הופעל ב- 8 חזרות (4 חזרות בכל מבנה). משתילה עד 6/9/20 (מועד הפעלת הטיפולים) כל הטיפולים קיבלו כמות מים דומה, השקיה כל יומיים לפי 0.6 מהתאדות פנמן (מסחרי). פרוט המקדמים ומרווחי ההשקיה במשך הניסוי מוצג בטבלה 1.



**איור 1-ג:** מערכת חיישנים להערכת התאדות מהקרקע מוצבת מעל לשביל. מערכת דומה הוצבה בתוך שורת הצמחים.

**איור 1-ב:** חיישנים מיקרו-מטאורולוגיים מותקנים מעל לצמחי הפלפל בחמרת (מבנה 3). ניתן לראות את מד הרוח האולטרא-סוני, מד טמפרטורה ולחות אוויר, מד קרינה נטו ואוגר נתונים (קופסה לבנה) מחובר לעמוד.

**איור 1-א:** מבנה חמרת (מבנה מס' 3) כחודש לאחר השתילה (9-13-2018). ניתן לראות את חמש שורות הצמחים. ניתן לראות משמאל את ליזימטרים העודפים שהוצבו בשורה המרכזית.

**טבלה 1:** פירוט מקדמי ההשקיה במשך הניסוי בשנה ג'.

מתאריך	מרווח בימים	מסחרי	PMRB	SWL	SWP
6/9/20	2	0.6	0.79	0.79	1
14/10/20	2	0.9	0.79	0.79	1
25/10/20	3	0.9	0.79	0.79	1
19/1/21	3	0.7	0.79	0.79	1
9/2/21	3	1.1	0.79	0.79	1
22/3/21	2	1.1	0.79	0.79	1

כמויות המים המצטברות שניתנו כהשקיה בכל מבנה וטיפול מוצגות בטבלה 2. מהלך ההתאדות המצטברת היה דומה מאוד לזה שהתקבל בשנים א' (איור 2) ו- ב'. קטיף הפרי החל ב- 23/11/20 ונמשך עד 10/5/21.

טבלה 2 - כמויות מים שניתנו בפועל לפי הטיפולים (מ"ק/ד') משתילה עד 10/5/21 (שנה ג')

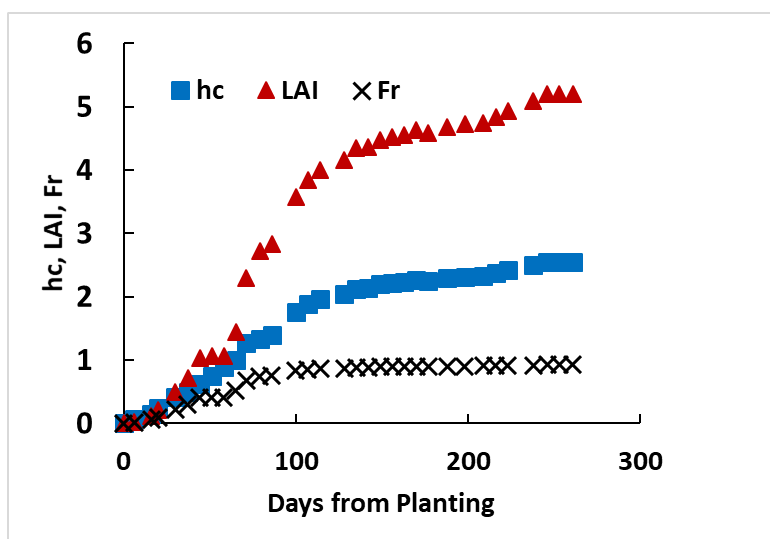
כמות מים במ"ק/ד' בשנה ג'			
מסחרי-טיפול 1	PMRB - טיפול 2	SWL-טיפול 3	SWP - טיפול 4
877	649	521	574

### מדידות מיקרו-מטאורולוגיות וחישוב LAI

בשנה ג' בוצעה השלמת ניסויים, ולכן בוצעו רק המדידות הנדרשות להערכת האופוטורנספירציה לפי המודלים לצרכי ההשקיה. במבנה 3 הוצבו חיישנים מיקרומטאורולוגיים וחיישנים בקרקע לחישוב אופוטורנספירציה לפי המודלים השונים בהצבה דומה לשנים א' ו-ב'. החיישנים מדדו ברציפות, בתקופה 17.08.2020-11.5.2021 (כ-9 חודשים). על סמך הנתונים חושבו המודלים, פרט לטיפול המשקי שנלקח מהשירות המטאורולוגי. מדד שטח העלים (LAI), התקבל על סמך מדידת גובה הצמחים, hc. הקשר לפיו חושב מדד שטח העלים היה:  $LAI = 0.0204 * hc(cm)$ , והוא התבסס על הרגרסיה הלינארית לפי נתוני השנתיים הראשונות של המחקר עם  $R^2 = 0.92$

### תוצאות

כפי שתואר לעיל, בעונה 20/21, שנה ג של המחקר, נערכה חזרה על ניסוי ההשקיה. לכן, בדו"ח מוצגות התוצאות המתייחסות להשתנות גובה הצמחים שנמדד לאורך העונה וכן ליבול ומנות ההשקיה. איור 2 מציג את ההשתנות העונתית של גובה הצמחים, מדד שטח העלים ומדד הכיסוי (Cover Fraction, Fr). בעונה זו, LAI חושב לפי גובה הצמחים (על סמך רגרסיה מהשנתיים הראשונות של המחקר) ו-Fr, חושב מתוך LAI. ניתן לראות כי החל מ-100 ימים משתילה, Fr כמעט אינו משתנה, למרות שגובה הצמחים ו-LAI, המשיכו לעלות.



איור 2: ההשתנות של גובה הצמחים המדוד, מדד שטח העלים LAI, וכיסוי השטח Fr, לאורך העונה של שנה ג'.

טבלה 3 מציגה את תוצאות היבול בטיפול השקיה השונים. בעונה זו לא התקבל הבדל מובהק של מדדי היבול השונים בין הטיפולים. טבלה 3: השפעת טיפולי השקיה על היבול והתפלגות גודל פרי.

כמות המים מ-11/8/20 עד 10/5/21	% לגודל				משקל פרי ג' ממוצע לעונה	יבול, ק"ג/מ"ר		טיפול
	XL-G	XL	L	M		יצוא	סה"כ	
מ"ק"ד'								
877	20	29	33	18	166	10.4	10.6	מסחרי
649	21	28	33	18	168	10.4	10.7	PMRB
521	19	29	34	18	165	9.6	9.7	SWL
574	22	30	33	15	174	9.9	10.0	SWP

### סיכום ודיון

במחקר קודם, שבוצע במימון קרן המדען הראשי, הראינו כי הערכת אוופוטורנספירציה לפי מודלים המבוססים על מיקרואקלים שנמדד בתוך החממה, מאפשרת השקייה מדויקת לצמחי פלפל, והגדלת יעילות השימוש במים. המודלים במחקר הקודם היו מבוססים על צמחים גדולים ומפותחים ועל כיסוי מלא של הקרקע (Hadad et al., 2020). בגידולים חד-שנתיים, כמו פלפל, תקופת הגידול ההתחלתית של הצמחים יחסית ארוכה, לפעמים בגלל התערבות של המגדל שמנסה לבסס את הגידול מוקדם כשעדיין חם ולמנוע צמיחה מהירה. בנוסף, השתילה נעשית בעונה החמה (לדוגמה, חודש אוגוסט בבקעת הירדן) כאשר צריכת המים גבוהה. מאחר ובתקופה ההתחלתית הצמחים קטנים, וכיסוי הקרקע חלקי, השערת המחקר הנוכחי הייתה שהשקייה שמתאימה לתנאים אלו תאפשר הגדלה נוספת של החיסכון במים. לכן, במחקר זה נבדקה לראשונה במבנה חמרת הערכת האוופוטורנספירציה לפי שני מודלים המבוססים על כיסוי חלקי של הצמחים, SWL ו-SWP ובוצעה השקייה לפי מודלים אלה. בוצעו שני טיפולי השקייה נוספים, האחד לפי מודל פנמן-מונטית' שנמצא מתאים במחקר הקודם, PMRB, והשני כביקורת, לפי ההמלצה המסחרית באזור. בשלושת השנים חזרנו על אותם טיפולי השקיה וזאת כדי לבסס את התוצאות. מצלמת קינקט הייתה יעילה במדידת LAI בצמחים קטנים ובינוניים אך בצמחים גבוהים היה קושי בתפעול שלה. חישוב תקופתי של היחס היומי בין התאדות לפי מודל SWP להתאדות חיצונית לפי מודל PM, הראה כי בתקופות החמות היחס הוא די יציב, אך בתקופת החורף נמצאו שינויים גדולים מיום ליום. הסיבה לכך היא כנראה שבתקופות החמות המבנה מכוסה ברשת ויש אינטראקציה גבוהה בין התנאים הפנימיים לתנאים החיצוניים. לעומת זאת, בחורף, המבנה מכוסה בפלסטיק והתנאים הפנימיים פחות קשורים לאלו שבחוץ. לכן בתקופת החורף, היחס היומי מציג שינויים גדולים מיום ליום. בניסויים שבוצעו במחקר, שני המודלים המתארים צמחייה חלקית נתנו הערכת התאדות דומה, אבל מכיוון שמודל SWP כולל בנוסחאות שלו את אחוז הכיסוי, מקדם ההשקייה שלו נבחר להיות 1 (פרט לשנה א' בה הגדלנו מעט את המקדם משיקולים אגרונומיים). לעומת זאת מודל SWL קיבל מקדם השקייה דומה למקדם שפיתחנו במחקר הקודם. לכן, ההשקייה לפי מודל SWL הייתה נמוכה מזאת לפי מודל SWP. מדידות טרנספירציה והתאדות מהקרקע היו בהתאמה סבירה עם המודלים, מה שתומך בשימוש במודלים אלה ככלי לניהול ההשקייה. הירידה בהתאדות מהקרקע בשבועות הראשונים לפי המדידות האמיתיות (MT וליזימטרים) הייתה מהירה יותר מאשר של המודלים. ייתכן שיש מקום לשפר

היבט זה של המודלים. מדידות הטרנספירציה והפוטוסינתזה ברמת העלה לא הראו הבדל מובהק בין הטיפולים. ממצא זה מתאים גם ליבול הכללי בו לא נמצא הבדל מובהק בין הטיפולים שנבחנו. לעומת זאת, בשנה ב' בלבד, בפירות גדולים נמצא שטיפול PMRB נתן יבול נמוך יותר בהשוואה לטיפול המסחרי, וזאת למרות שמנת ההשקייה בו הייתה זהה לטיפול SWP בו לא נמצא הבדל זה. ממצא זה היה חריג, ולא נצפה בשנים א' ו- ג'. בחינת חיי מדף בשנים א' ו-ב' לא מצאה הבדלים מובהקים בין הטיפולים. יתר על כן, בשנה ב', בבדיקה שערכנו מצאנו כי בשבועיים שלפני הקטיף שנשלח לבדיקת חיי מדף, טיפול SWP קיבל מנה מופחתת ב 15 מ"ק לדונם בהשוואה לטיפול המשקי. כלומר, אפילו הפחתה זו, בתקופת האביב הקריטית, לא פגעה בכושר אחסון הפרי.

טבלה 4 ואיור 3 המופיעים מטה מסכמים את ממצאי שלושת השנים מבחינת כמויות מים, היבול ויעילות השימוש במים. המודלים החדשים שנבחנו במחקר זה, SWL ו-SWP, מחשבים בנפרד את ההתאדות מהקרעק ואת הטרנספירציה ולוקחים בחשבון את הכיסוי החלקי של הצמחים, בעיקר בשלבי הגידול הראשונים. התוצאות בטבלה 4 מראות כי פרט ליבול מופחת בשנה הראשונה בהשקיה לפי מודל SWL, לא היו הבדלים מובהקים ביבול בין כל הטיפולים. מצד שני, המודלים החדשים שנבחנו, ויסתו בצורה מדויקת את ההשקיה לפי דרישת הצמחים ואפשרו הפחתה בכמויות ההשקיה ללא הפחתה משמעותית ביבול. השקיה לפי שני המודלים, SWL ו-SWP, נתנה כמעט אותה יעילות שימוש במים, כאשר במודל SWP לא נמצא הבדל מובהק ביבול לאורך שלוש שנות המחקר. לכן, נראה כי מודל זה עדיף לשימוש.

#### דיון בהיבטים מעשיים

כמובן שיש קושי מעשי לממש חישוב של מודל מסוג SWP ע"י המגדלים, עקב הדרישה במדידות רבות ומורכבות. צוות המו"פ בשיתוף עם שה"ם נתן לכך מענה חלקי ע"י פיתוח הנחיות השקיה מעודכנות, המתבססות על הממצאים של מחקר זה, התצפית שבוצעה במו"פ בחלקות גדולות (נספח ב') וגם המחקר הקודם שלנו בנושא זה. ההנחיות פורסמו בדפון מאת דויד סילברמן, אפרים ציפלבץ (2020) - המלצות השקיה ודישון לפלפל סתווי בבתי רשת ובבתי צמיחה בבקעת הירדן.

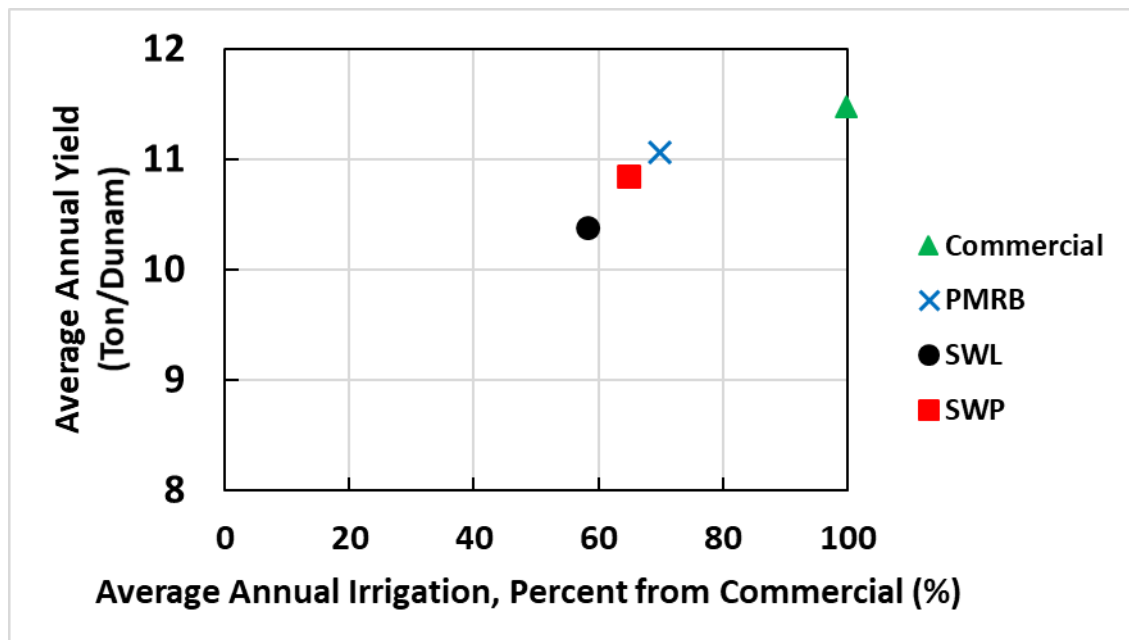
הגישה בפיתוח ההנחיות החדשות הייתה מבוססת על "תרגום" מנות ההשקיה המופחתות שניתנו על בסיס המודלים החדשים, למקדמי השקיה ביחס לתנאים החיצוניים. גישה זו מאפשרת יישום פשוט של הממצאים החדשים ע"י המגדלים.

בנוסף ליעול השימוש במים, תוצאות מחקר זה מצביעות כי שליטה והפחתת כמויות המים בזמן הגידול לא פוגעות בפוטנציאל היבול ומאידיך מאפשרות שליטה בקצב הצימוח. אחת הבעיות שהמגדלים נתקלים בהן היא מצב שהצמחים מגיעים לקראת השליש האחרון של העונה לגובה של קרוב ל- 3 מ', גובה הדורש הארכת עמודי ההדליה ומהווה מגבלה בקטיף למימוש כל פוטנציאל היבול, כולל סכנה לפגיעה של מכות שמש. זהו יתרון נוסף של שימוש במודלים אלה לניהול ההשקיה.

טבלה 4: סיכום כמויות ההשקיה, היבול ויעילות השימוש במים בשלוש שנות המחקר. NS – לא נמצא הבדל מובהק ביבול בין הטיפולים השונים באותה עונה.

מובהקות	חמרשת		שנת גידול	טיפול
	יבול טון/ד'	מים מ"ק/ד'		
NS	12.3	840	2018/19	מסחרי
NS	11.5	921	2019/20	
NS	10.6	877	2020/21	
	34.4	2638		סה"כ לשלוש עונות
		0.013		WUE
NS	11.5	611	2018/19	PMRB
NS	11	589	2019/20	
NS	10.7	649	2020/21	
	33.2	1849		סה"כ לשלוש עונות
		0.018		WUE
נמוך מהמסחרי	10.9	514	2018/19	SWL
NS	10.55	506	2019/20	
NS	9.7	521	2020/21	
	31.2	1541		סה"כ לשלוש עונות
		0.020		WUE
NS	11.7	548	2018/19	SWP
NS	10.84	592	2019/20	
NS	10	574	2020/21	
	32.5	1714		סה"כ לשלוש עונות
		0.019		WUE





איור 3: יבול כנגד השקיה לשלוש עונות: יבול שנתי ממוצע כנגד ההשקיה השנתית הממוצעת (מוצגת כאחוז מהשקיה מסחרית) בארבעת הטיפולים.

## 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*. Retrieved from <http://www.kimberly.uidaho.edu/water/fao56/fao56.pdf>

Cohen, S., R. Sudhakara Rao, and Y. Cohen. (1997) Canopy transmittance inversion with a line quantum probe in a row crop. *Agric. For. Meteorol.* 86: 225-234.

Hadad, D., Lukyanov, V., Cohen, S., Zipilevitz, E., Gilad, Z., Silverman, D. and Tanny, J. (2020). Measuring and modelling crop water use of sweet pepper crops grown in screenhouses and greenhouses in an arid region. *Biosystems Engineering*, 200, 246–258.

Harmanto, Salokhe, V. M., Babel, M. S., & Tantau, H. J. (2005). Water requirement of drip irrigated tomatoes grown in greenhouse in tropical environment. *Agricultural Water Management.*, 71(3), 225–242.

Lhomme, J.-P., & Chehbouni, A. (1999). Comments on dual-source vegetation-atmosphere transfer models. *Agricultural and Forest Meteorology*, 94(3–4), 269–273.  
[https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(98\)00109-9](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(98)00109-9)

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.  
<https://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*, 30(3), 167–178. <https://doi.org/10.1007/s00271-011-0275-3>

Pirkner, M., Dicken, U., Rosa, R., & Tanny, J. (2014). Performance of penman-monteith models in predicting evapo-transpiration in a large banana screenhouse. In *Acta Horticulturae* (Vol. 1037).

Shuttleworth, W. J., Wallace, J. S. (1985). Evaporation from sparse crops-an energy combination theory. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 111(469), 839–855. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1002/qj.49711146910>

Tanny, J. (2013). Microclimate and evapotranspiration of crops covered by agricultural screens: A review. *Biosystems Engineering*, 114(1), 26–43. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.10.008>

Tanny, J., S. Cohen, M. Teitel (2003). Screenhouse microclimate: an experimental study. *Biosystems Engineering* 84(3): 331-341.

Yang, Y. (2015). Comparison of Dual-Source Evapotranspiration Models in Estimating Potential Evaporation and Transpiration. In *Evapotranspiration Over Heterogeneous Vegetated Surfaces* (pp. 15–29). [https://doi.org/10.1007/978-3-662-46173-0\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-662-46173-0_2)