

השפעת ספיקת הטפטפת על יבול ואיכות פלפל המושקה במים מליחים

יעל רייך ונפתלי לזרוביץ - המכון לביוטכנולוגיה וחקלאות באזורים צחיחים, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב

כתובת המחברת: iael@post.bgu.ac.il

אלון בן-גל - מרכז מחקר גילת, מנהל המחקר החקלאי

עמי מדואל, תום גרונוולד, רבקה אופנבך - מו"פ ערבה תיכונה וצפונית תמר

שלמה קרמר – שירות שדה, שה"מ, מחוז הנגב, משרד החקלאות ופיתוח הכפר

אלי ורד - חברת נטפים

תקציר

שיטת ההשקיה בטפטוף הינה השיטה הנפוצה ביותר בגידולים עם החזר כספי גבוה. לשיטה זאת יתרונות רבים וביניהם שליטה מיטבית על כמות מי ההשקיה וריכוז חומרי הדשן הניתנים לצמח ולכן השיטה אומצה באופן נרחב על ידי חקלאים בכל העולם.

שני פתרונות טכנולוגיים קיימים כיום להשקיה בתדירות גבוהה: הראשונה, העלאת תדירות ההשקיה לרב יומית (השקיה ב"פולסים") והשנייה הורדת ספיקת הטפטפת והארכת משך ההשקיה. המגבלה הטכנית העיקרית להשקיה בפולסים הינה הדרישה לכמות מים גדולה לצורך מילוי חוזר של מערכת ההשקיה. כאשר מפסיקים את פעולת ההשקיה כל המים שנותרו בצינורות מתנקזים דרך הנקודות הנמוכות במערכת. הפתרון המוצע לבעיה זו הוא הוספת רכיבי אל-נגר לכל טפטפת כך שהזרימה נפסקת בזמן ירידת הלחץ בקו ההשקיה. פתרון זה מייקר את מערכת ההשקיה. כמו כן, בתנאי מליחות נמצא כי ריכוזי המלחים היו גבוהים יותר בבית השורשים של פלפל כאשר ההשקיה במים מליחים ניתנה בפולסים לעומת פעם ביום. המגבלה השנייה בשיטת הספיקה הנמוכה מתבטאת בעצם הורדת הספיקה, המחייבת מעברים צרים בטפטפת. עדיין, בשתי השיטות הטפטפות נוטות להיסתם ולכן נדרשת אמינות סינון גבוהה.

פיתוחים טכנולוגיים של השנים האחרונות אפשרו את הורדת ספיקת הטפטפת ובעקבות כך את שיעור ההשקיה לערכים הדומים לשיעור קליטת המים על ידי צמחים. כיום ישנן מערכות של השקיה עם טפטפות מווסתות בספיקות נמוכות באופן כזה שההשקיה יכולה להינתן לאורך כל שעות היום. שאלת המחקר העיקרית היא מהי השפעה המשולבת של ספיקת הטפטפת ומליחות מי ההשקיה על קליטת מים ויסודות ההזנה ועל יבול של פלפל. שאלת המחקר נבדקה בעונת הגידול 2013/14 על ידי ניסויי שדה בתחנת מחקר זוהר של מו"פ ערבה תיכונה וצפונית תמר. הניסויים נערכו בחלקת חממה ובליזימטרים גדולים המאפשרים מדידה יומית של מאזני מים ומלחים והערכה של טרנספירציה שעתית. הטיפולים היו: ספיקת טפטפת וכמות מי ההשקיה. כמות ההשקיה נקבעה לפי יחסים שונים מהטרנספירציה שחושבה מתוך מאזן המים אשר נמדד בעזרת הליזימטרים. במשך עונת הגידול נבדקו ספיקת הטפטפות, יבול הפרי המצטבר, איכות הפרי וריכוזי מינרלים בעלים דיאגנוסטיים, מי ההשקיה, מיצוי מי קרקע והנקז של הליזימטרים. בסוף העונה נבדקה הביومסה. מתוצאות של ניסוי זה לא ניתן לקבוע בצורה מובהקת כי ירידה בספיקת הטפטפת מעלה את יעילות ההשקיה. יתכן כי השונות הגבוהה בספיקת הטפטפות של הספיקה הנמוכה גרמה לחוסר המובהקות בתוצאות היבול.

מבוא

שיטת ההשקיה בטפטוף הינה השיטה הנפוצה ביותר בגידולים עם החזר כספי גבוה. לשיטה זאת יתרונות רבים וביניהם שליטה מיטבית על כמות מי ההשקיה וריכוז חומרי הדשן הניתנים לצמח ולכן השיטה אומצה באופן נרחב על ידי

חקלאים. במחקרים קודמים (Or and Hanks, 1993) נמצא כי כמות מים זהה שניתנת בתזמון שונה יכולה להניב יבולים שונים. על פי Rawlins and Raats (1975) תכולת רטיבות גבוהה בבית השורשים גורמת לעומד מים ולמוליכות הידראולית גבוהים ולכן לעלייה בזמינות המים לצמח. Stansell and Smittle (1989) טענו כי לתכולת רטיבות גבוהה בבית השורשים השפעה ישירה על קצב הטרנספירציה ומוליכות פיוניות, ולכן השקיה בתדירות גבוהה תביא להגברת יעילות השימוש במים, להגדלת הפוטוסינתזה ולעלייה ביבול.

בניגוד לשיטות השקיה אחרות כהמטרה או הצפה, בהן מתקיימים מרווחי השקיה גדולים (מספר ימים או אף שבועות), השקיה בספיקה נמוכה מאפשרת להעלות את תדירות ההשקיה ליומיומית במנות השקיה קטנות (Segal *et al.*, 2006). מחזור השקיה כולל שלושה שלבים: חידור, רהדיסטרביציה וקליטת מים מאוגר הקרקע. בשיטות השקיה בתדירות נמוכה, השלב השלישי הוא הארוך ביותר ועיקר קליטת המים מהקרקע נעשית בו. לעומת זאת, בתדירות השקיה גבוהה, השלב הראשון והשני הופכים למשמעותיים גם מבחינת קליטת המים מהקרקע ולא רק מבחינת הפירוס שלהם במרחב. בתהליך קליטת מים מהקרקע בשלב האוגר חל ייבוש של הקרקע באזור המידי של השורש. ייבוש זה גורם לירידה במוליכות ההידראולית, ומכאן להקטנה בשטף המים והמינרלים לשורש. בתנאים של השקיה בתדירות גבוהה נשמרים בסביבה המיידית של השורש ערכים גבוהים של רטיבות ומוליכות הידראוליות ולכן גם שטף גבוה אל השורש (Segal *et al.*, 2006). שני פתרונות טכנולוגיים קיימים כיום להשקיה בתדירות גבוהה: הראשונה, העלאת תדירות ההשקיה לרב יומית (השקיה ב"פולסים") והשנייה הורדת ספיקת הטפטפת והארכת משך ההשקיה. המגבלה הטכנית העיקרית להשקיה בפולסים הינה הדרישה לכמות מים גדולה לצורך מילוי חוזר של מערכת ההשקיה. כאשר מפסיקים את פעולת ההשקיה כל המים שנותרו בצינורות מתנקזים דרך הנקודות הנמוכות במערכת. הפתרון המוצע לבעיה זו הוא הוספת רכיבי אל-נגר לכל טפטפת כך שהזרימה נפסקת בזמן ירידת הלחץ בקו ההשקיה. פתרון זה מייקר את מערכת ההשקיה. כמו כן, בתנאי מליחות נמצא כי ריכוזי המלחים היו גבוהים יותר בבית השורשים של פלפל כאשר ההשקיה במים מליחים ניתנה בפולסים לעומת פעם ביום (Assouline *et al.*, 2006). המגבלה השנייה בשיטת הספיקה הנמוכה מתבטאת בעצם הורדת הספיקה, המחייבת מעברים צרים בטפטפת. עדיין, בשתי השיטות הטפטפות נוטות להיסתם ולכן נדרשת אמינות סינון גבוהה.

הגידולים העיקריים בערבה התיכונה והצפונית הינם בעלי ערך כלכלי רב. בעונת 2012/13 הגיע היקף גידול הירקות באזור לכ-30,000 דונם. מכסת המים השנתית העומדת לרשות יחידת משק בערבה הינה כ-55,000 מ³ של מים מליחים, ליחידת שטח של 40-50 דונם, שהם כ-1,100 מ"מ לשנה. הקצאת המים הינה גם ברמה היומית עקב מגבלות ספיקה, בכמות של כ-220 מ³ לדונם ליחידת משק ליממה. כך שמגדל עם 50 דונם יכול להשקות עד 4.2 מ"מ ליום. בתקופת הסתיו כאשר הפלפל, הגידול העיקרי באזור זה (כ-20,000 דונם), נמצא בתהליכי צמיחה וגידול פירות, מנת ההשקיה הזמינה קרובה לרמת הצריכה, ועל כן מצוקת המים קריטית במיוחד בחודשים אוגוסט - אוקטובר. יתר על כן, רמת המוליכות החשמלית של מי הבארות בערבה הינה בתחום: $2-4 \text{ dSm}^{-1}$. במחקרים שהתבצעו בערבה בשנים האחרונות, נמצא שעל מנת להשיא יבולי פלפל המושקים במים מליחים יש להשקותם במנת מים כפולה בהשוואה למים מותפלים שמליחותם נמוכה. ההגבלה בספיקה השעתית גורמת לחקלאים לאגור מים ברמת המשק הבודד מה שמעלה את העלות התפעולית בשל הצורך הן בבניית מאגר והן בהפעלת משאבות לצורך סניקת מי המאגר לקו ההשקיה.

לאחרונה פותחו על ידי חברת "נטפים" טפטפות מווסתות בספיקה של 0.7 ליטר/שעה. תחום ספיקה זה נחקר בעבר בעזרת מודל סיפרתי הפותר את פירוס תכולת הרטיבות בקרקע תוך התחשבות בקליטת מים על ידי צמחים (Assouline,

(2002). תוצאות המודל מראות כי הורדת ספיקת הטפטפת מ-2 ליטר/שעה ל-0.25 ליטר/שעה העלתה את רטיבות הקרקע בשכבה העליונה של בית השורשים והעלתה את קליטת המים המחושבת יחסית לטרנספירציה פוטנציאלית. עם זאת, תוצאות אלה מושפעות מאוד מפירוס ותפקוד מערכת השורשים שהיו אחידים בין טיפולי הספיקה. במחקר אחר נמצא כי כאשר משקים את הקרקע באותה כמות מים בספיקות שונות, לא נמצאו הבדלים בפירוס תכולת הרטיבות לאחר תהליך רהדיסטרובוציה (Skaggs *et al.*, 2010). יש לציין כי מחקר זה נעשה ללא צמחים שיכולים לשנות את דגם ההרטבה בקרקע בגלל יחסי הגומלין בין רטיבות הקרקע, ספיקת הטפטפת ופירוס מערכת השורשים ותפקודה. ניסיונות נוספים לתאר את פירוס המים בקרקע בספיקות נמוכות נעשו על ידי חישובים בעזרת (Lazarovitch) HYDRUS 2D/3D (et al., 2009). ניסיונות אלה נעשו ללא נוכחות צמחים ומסקנותיהם מתאימות רק לשלבים הראשוניים של הגידול בהן קליטת המים מזערית. אנחנו רואים מהספרות כי גם להגדלת התדירות וגם להורדת ספיקת הטפטפת יש פוטנציאל להגדיל את הקליטה ויעילות השימוש של מים ויסודות הזנה ובכך להגדיל יבולים (Ben-Gal and Dudley, 2003). יחד עם זאת הורדת הספיקה בשילוב עם מים מליחים לא נבדקה עד כה ככל שידוע לנו. אנו משערים כי שיעור השקיה נמוך שיושג בעזרת טפטוף בספיקה נמוכה יגדיל את יעילות ניצול המים ויסודות ההזנה של צמחים החשופים לעקות מלח ויובש ובכך יגדיל את יבול הפלפל.

במחקר זה נבדקה ההשפעה של השקיה זעירה מתמשכת בגידול פלפל על צריכת המים והדשן של הגידול, יבול ואיכות הפרי. בנוסף, נבחנה את יעילות ההשקיה בטפטוף בספיקות נמוכות בהשוואה לספיקות גבוהות.

שיטות וחומרים



תמונה 1. ליזימטרים נשקלים בתוך תעלה וחלקות שדה בתחנת המחקר זוהר, כיכר סדום

ניסוי השדה השני בפרויקט המחקר זה התקיים בעונת הגידול 2013/14 במסגרת מו"פ ערבה תיכונה וצפונית תמר, בתחנת המחקר זוהר שבכיכר סדום. מספטמבר ועד מאי גודלו פלפלים מזן אימפריו (*Capsicum Annuum*) ב-12 טיפולים, כל טיפול ב-4 חזרות. כמויות ההשקיה חושבו לפי ערכים האוופוטנספירציה היומיים מליזימטרים משקליים (תמונה 1) בשש מנות השקיה: 60, 105, 150, 195, 240 ו-285% כאשר האחוזים מבטאים את היחס בין מנת השקיה (I) והאוופוטנספירציה (ET) שנמדדה על ידי הליזימטרים. לכל מנת השקיה היו שני טיפולי ספיקות, 0.7 ליטר/שעה ו-3.4 ליטר/שעה. עומד השתילה היה 2.6 צמחים למטר מרובע, עם טפטפת אחת לכל שני צמחים. לאורך העונה התבצעו מדידות של מאזני מים, מליחות תמיסת הקרקע, ספיקת הטפטפות, נמדד היבול המצטבר והתבצעה מדידה של מינרלים בעלים מייצגים. בסוף העונה נמדד יבול הביומסה ומינרלים בצמחים.

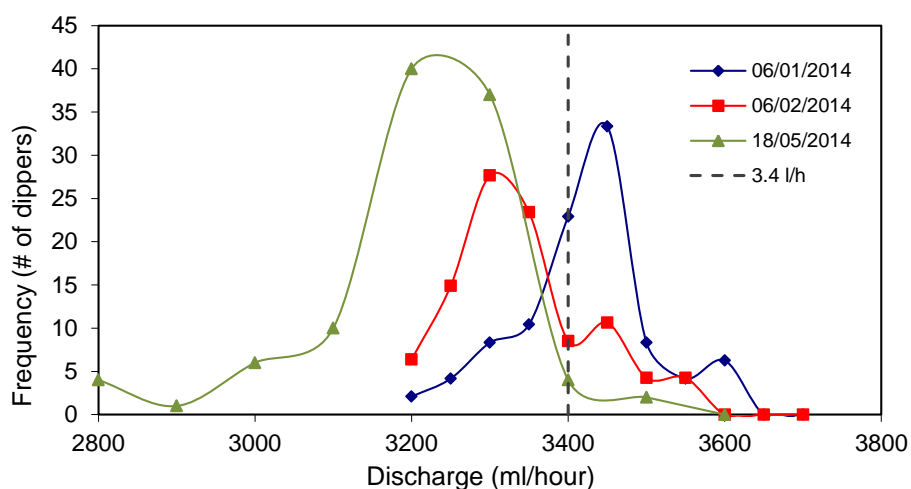
טפטפת אחת לכל שני צמחים. לאורך העונה התבצעו מדידות של מאזני מים, מליחות תמיסת הקרקע, ספיקת הטפטפות, נמדד היבול המצטבר והתבצעה מדידה של מינרלים בעלים מייצגים. בסוף העונה נמדד יבול הביומסה ומינרלים בצמחים.

תוצאות

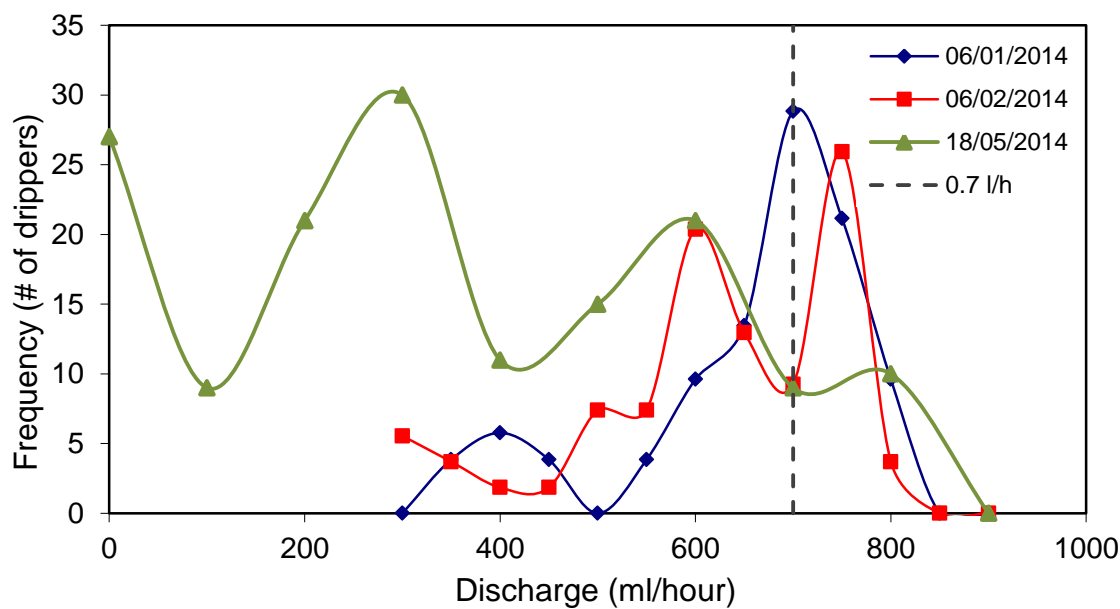
ספיקת הטפטפות נמדדה (טבלה 1) בתחילת העונה, כמה ימים אחרי התקנת מערכת ההשקיה ותחילת הניסוי. במועד זה נמדדו מספר מועט של טפטפות מכיוון שהערכים התאימו לערכים מהמפעל עם סטיות תקן קטנות. בהמשך העונה נעשתה מדידה ולאחר מכן שטיפה לפי ההנחיות של חברת "נטפים" ושה"מ. השטיפה שנעשתה בין התאריכים 2014/1/6 ו-2014/2/6 לא הביאה לשיפור באחידות התפלגות הספיקות. בסוף העונה, אחרי הקטיף האחרון וקטיף הביומסה, נעשו מדידות ספיקה בטפטפות רבות ונמצא (טבלה 1, איורים 1 ו-2) כי הספיקות ירדו מהערך הצפוי וכי ההתפלגות של הספיקות הנמוכות התרחקה מהתפלגות נורמלית, הצפויה למקרים כאלה.

טבלה 1. ספיקת טפטפות (ליטר לשעה) מדודות לאורך עונת הגידול

תאריך	ספיקה	מספר טפטפות שנמדדו	ספיקה ממוצעת	סטיית תקן	מקדם שונות
22/09/2013	3.4	12	3.45	0.06	2%
	0.7	9	0.70	0.05	8%
06/01/2014	3.4	48	3.40	0.09	3%
	0.7	52	0.63	0.12	18%
06/02/2014	3.4	48	3.32	0.08	3%
	0.7	56	0.65	0.44	68%
18/05/2014	3.4	104	3.16	0.17	6%
	0.7	154	0.32	0.25	79%

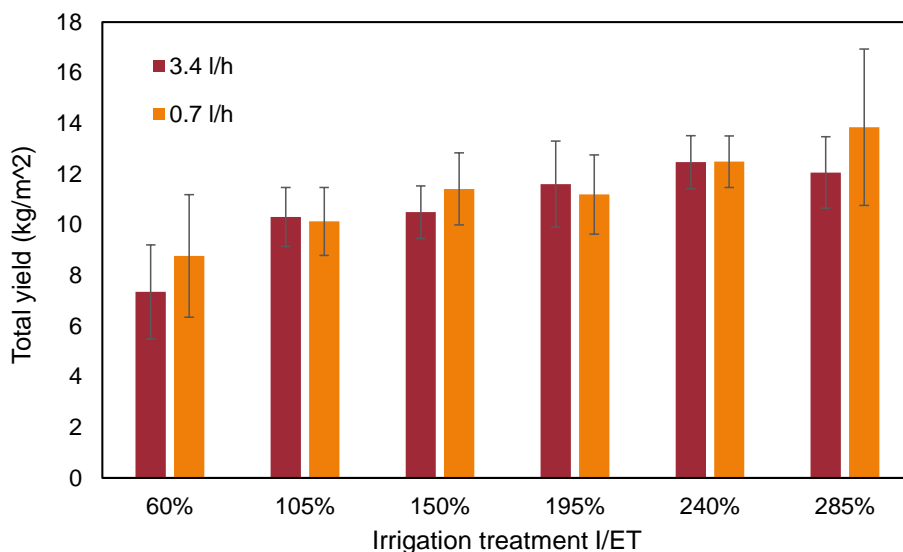


איור 1. היסטוגרמה של ספיקות מדודות בשלושה מועדים שונים: ספיקה גבוהה

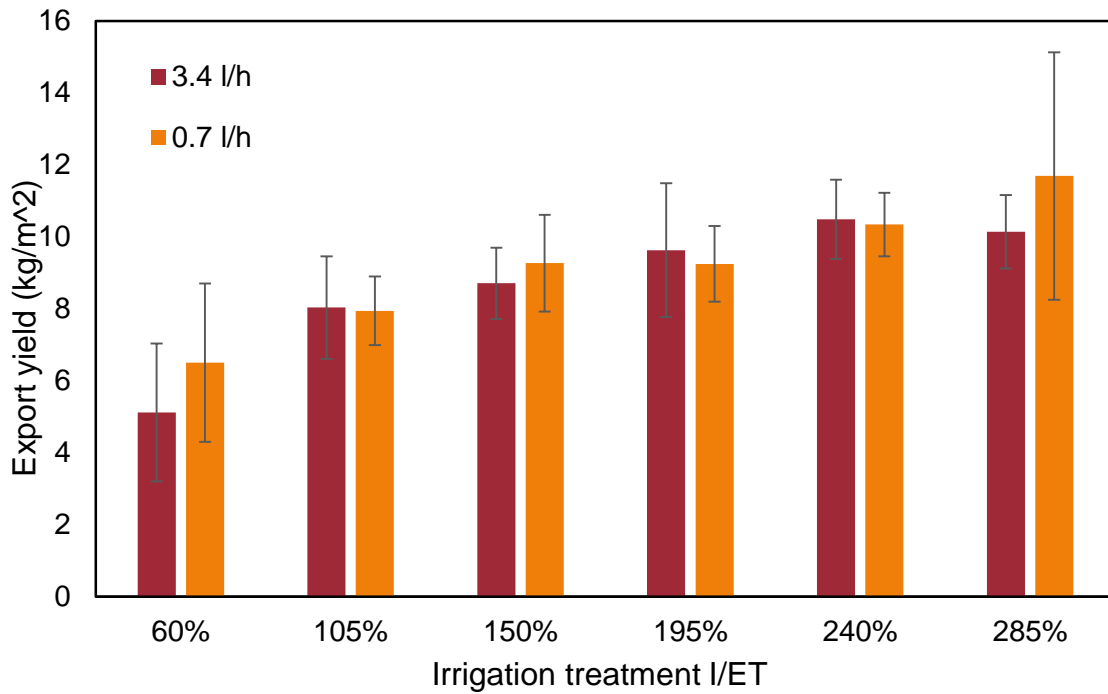


איור 2. היסטוגרמה של ספיקות מדודות בשלושה מועדים שונים : ספיקה נמוכה

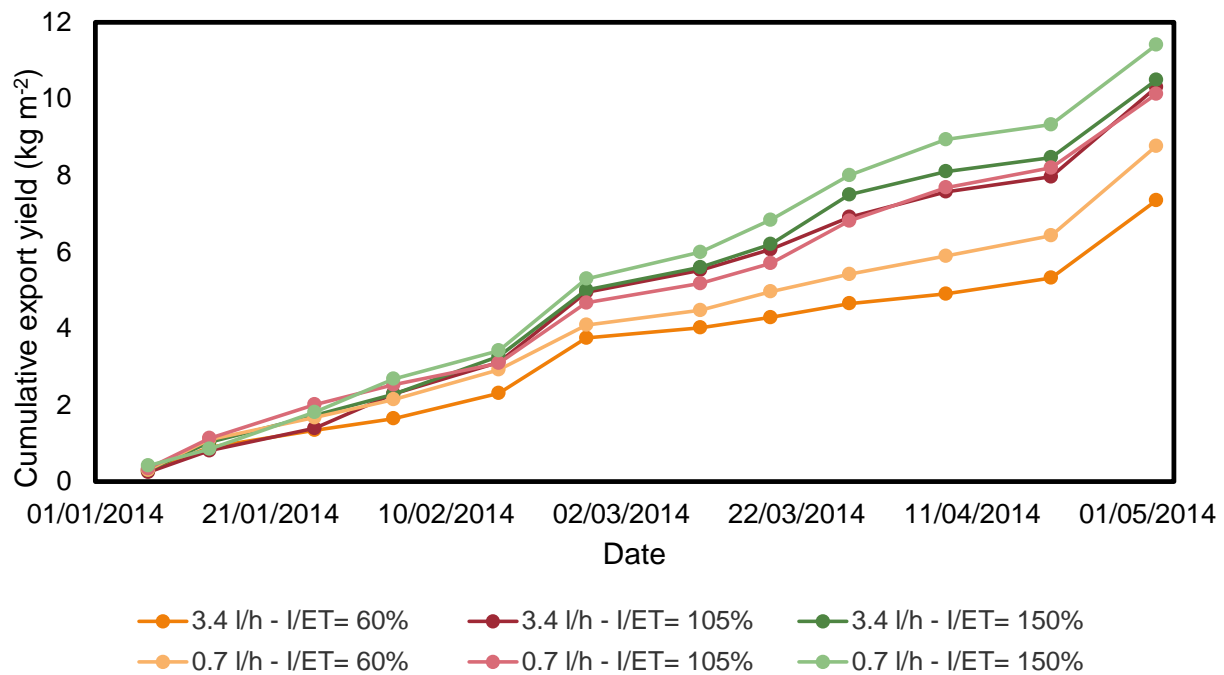
הגדלת מנת ההשקיה עד רמה של 150% תרמה ליבול הכללי כמו גם ליבול ליצוא (איורים 3 ו-4). הגדלת מנת השקיה בשיעור שמעל 150% לא תרמה לעלייה ביבול לשני טיפולי השפיקה. לא נמצאו הבדלים מובהקים סטטיסטית ביבול הכללי, או ביבול ליצוא בין הספיקות השונות, לאותם רמות השקיה. טיפולי ההשקיה של 60 ו-150% המושקים בספיקות נמוכות הניבו יבול באיכות יצוא גבוה יותר מאשר אלו המושקים באותה רמת השקיה אך עם ספיקות גבוהות (איור 5-6). עם זאת, לא נכללו באיור זה סטיות התקן מכיוון שההבדלים אינם מובהקים וסרגלי השגיאות לא מוסיפות מידע לאיור. טיפולי ההשקיה הגבוהים בשתי הספיקות לא נבדלו ביניהם ביבול ליצוא (איור 7).



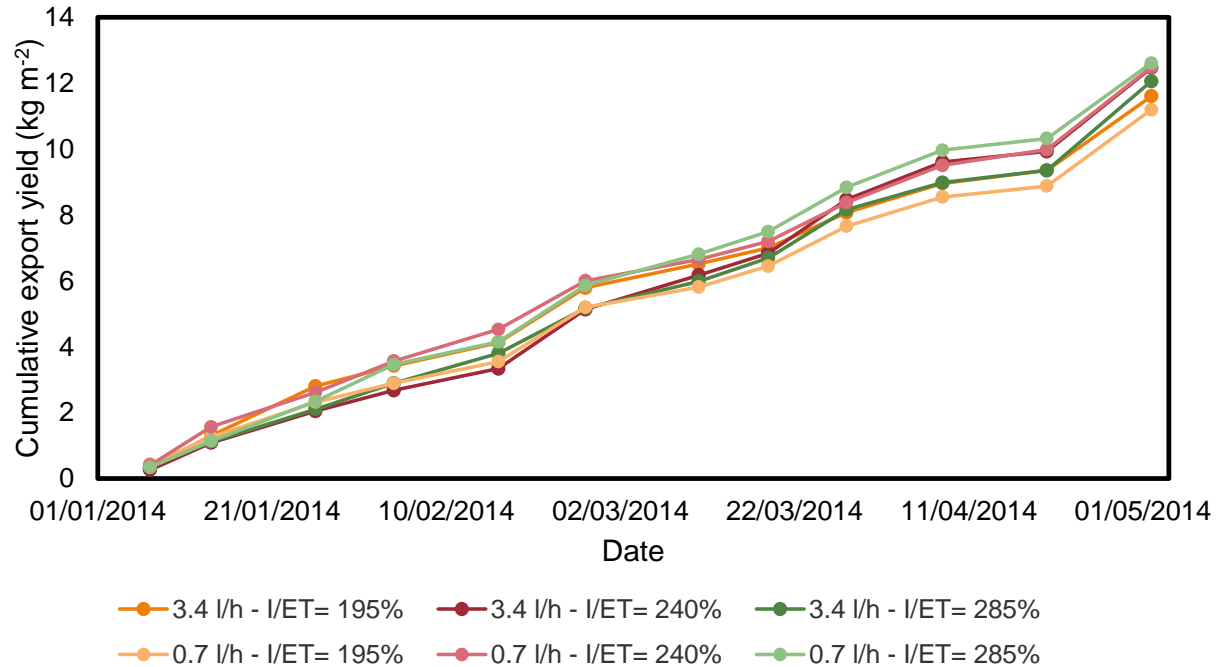
איור 3. יבול כללי המצטבר עד סוף העונה



איור 4. יבול באיכות של יצוא המצטבר עד סוף העונה



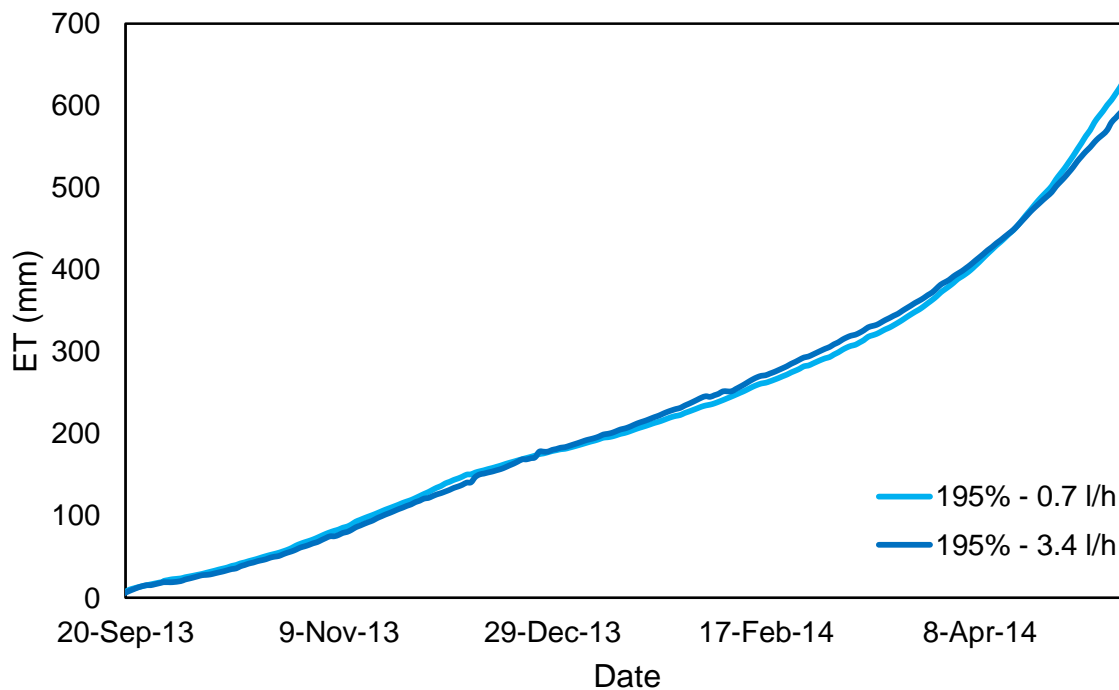
איור 5. יבול מצטבר באיכות של יצוא לשלוש טיפולי ההשקיה הנמוכים ושני טיפולי הספיקות



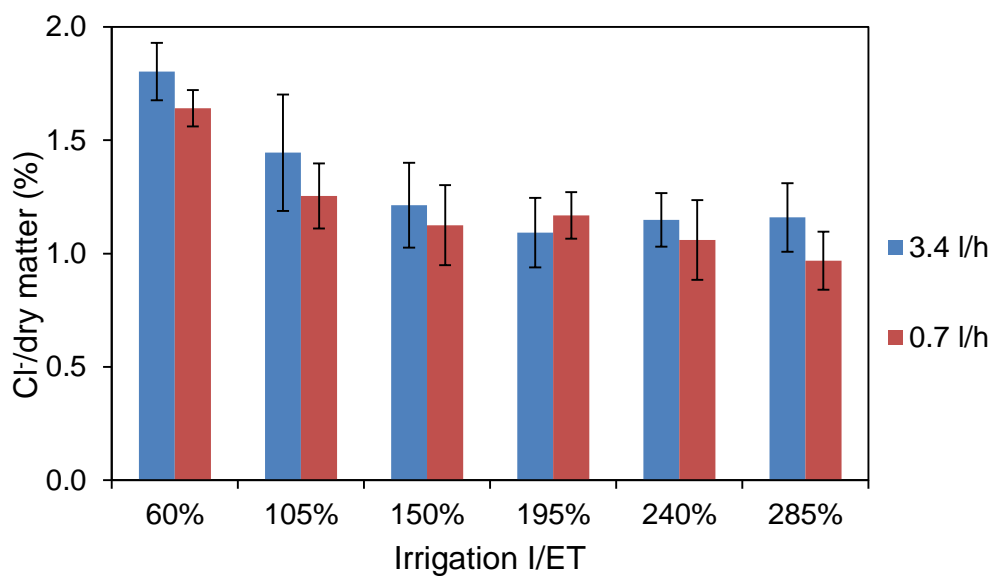
איור 6. יבול מצטבר באיכות של יצוא לשלוש טיפולי ההשקיה הגבוהים ושני טיפולי הספיקות

ערכי האוופוטנספירציה המצטברת לאורך עונת הגידול בשני הטיפולים עם אותה רמת השקיה ($I/ET= 195\%$) וספיקות שונות (איור 7) לא נבדלו ביניהם. ב- 6/1/2014, נקטפו עלים מייצגים מכל טיפול ונמדדו מינרלים כגון, Na, K, Mg, Ca, N, P. בסוף העונה, נקטפו 4 צמחים מכל חלקה. מצמחים אלו נאספו דוגמאות אשר יובשו ונמדדו אותם המינרלים. בשתי הדגימות, לא נמצאו הבדלים מובהקים בין ריכוזי המינרלים השונים של טיפולים עם אותה רמת השקיה בספיקות שונות (תוצאות הכלוריד באיור 8-9). ניתן לראות ירידה בריכוזי הכלוריד בעלים מייצגים עם עליה ברמת ההשקיה, מכיוון שבהשקיה במים מליחים, כל ירידה במנת ההשקיה מעלה את ריכוז המלחים בתמיסת הקרקע ואת הקליטה הפאסיבית של הכלוריד על ידי הצמח. לעומת זאת, המגמה פחות ברורה בריכוזי כלוריד בדוגמאות הביומסה בסוף העונה (איור 8-9).

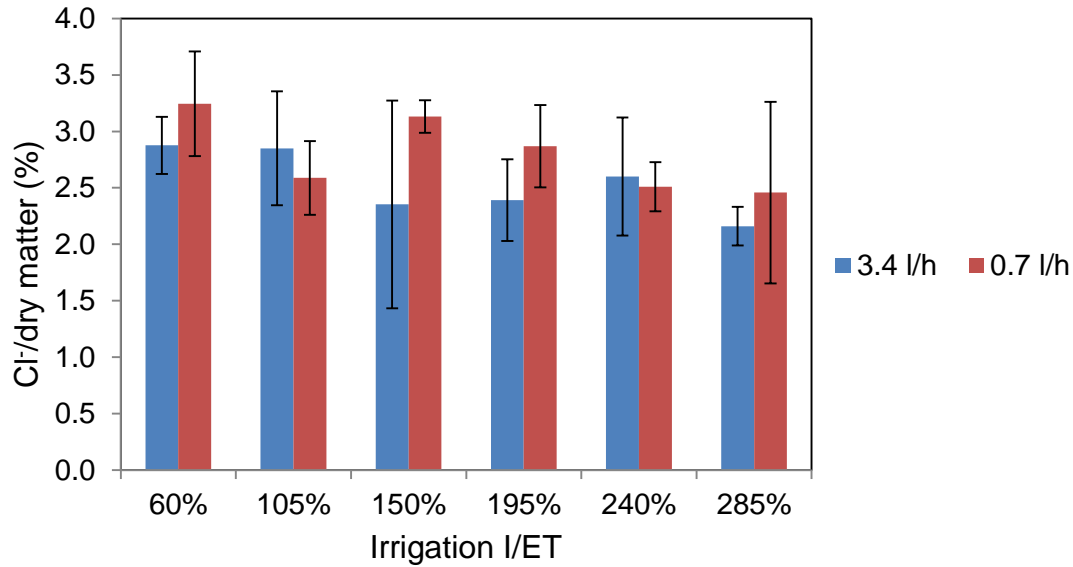
ריכוזי כלוריד בתמיסת הקרקע בטיפולים השונים נדגמו במשאבים הממוקמים באזור בית השורשים. לא ניתן לראות מגמות ברורות בתוך הטיפולים במשך העונה או בין הטיפולים באופן ממושך (איור 10).



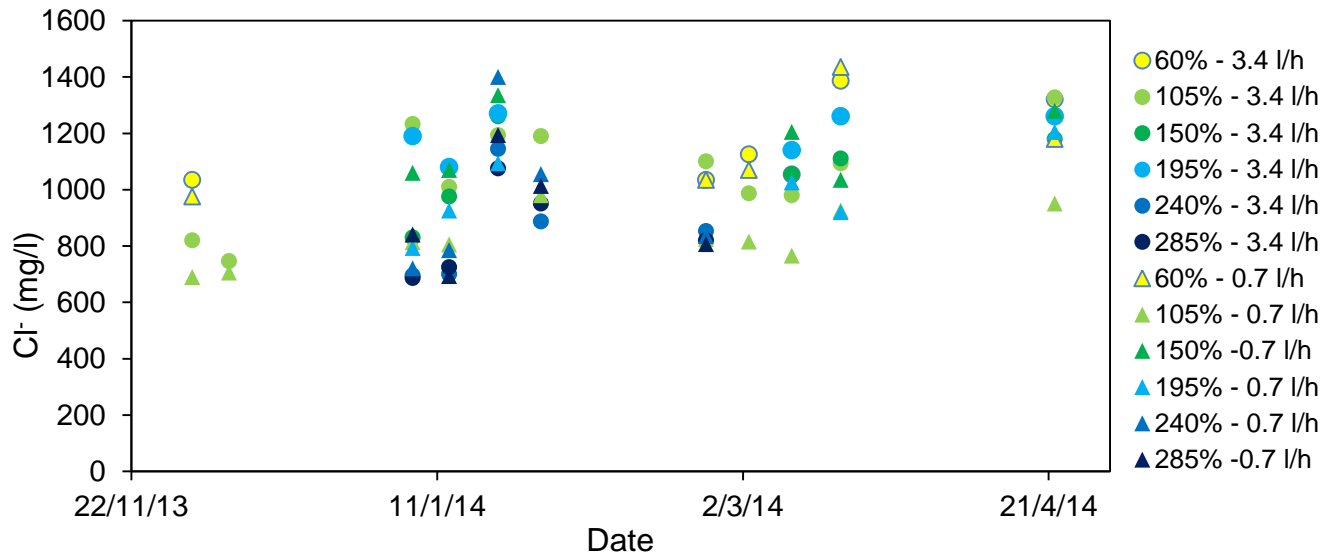
איור 7. האוופוטנספירציה מצטברת מחושבת על ידי הליזימטרים המושקים באותה רמת ההשקיה וספיקות שונות



איור 8. ריכוז כלוריד בעלים ב-6/1/2014



איור 9. ריכוז כלוריד בביומסה בסוף העונה



איור 10. ריכוזי כלוריד בתמיסת הקרקע במשך העונה

סיכום ומסקנות

עלייה ברמת ההשקיה הביאה לעליה ביבול וירידה בריכוז הכלוריד הנקלט על ידי הצמח. עם זאת, העלייה ביבול כמעט ונעצרה במנת שטיפה (נקז חלקי השקיה) של 33%. הגדלת מנת השטיפה מעבר ליחס זה לא הובילה לעלייה ניכרת של היבול וצפוי שתגרום לעלייה בכמות המלחים ואגרו-כימיקלים הנשטפים למי התהום הרדודים. תופעה דומה ניתן לראות בריכוזי הכלוריד בעלים בשיא העונה, אשר יורדים עם העלייה בהשקיה אך רק עד רמה של 150% ומעבר לערך זה הם מתייצבים.

ירידה בספיקת הטפטפת לא העלתה באופן מובהק את יעילות ההשקיה. למרות זאת, נמצאו הבדלים ביבול באיכות לייצוא בערכים הממוצעים. מדידות ספיקה שנערכו במשך העונה, בכל הטיפולים הראו הבדלים באחידות ובערכים של

הספיקות במשך העונה. מתחילת העונה בוצעו מספר פעולות למניעת הסתימות: בשלב התקנת מערכת ההשקיה נמנעה כניסה של חול לצינורות ובשיא העונה הצינורות נשטפו על ידי פתיחת כל סופית והחמצת תמיסת ההשקיה. פעולות אלו לא צלחו במניעת סתימות. ייתכן כי איכות המים ששימשה לניסוי בתחנת זוהר לא מתאימה למערכת של ספיקה נמוכה או כי יש צורך בהחמצת תמיסת ההשקיה במשך כל העונה כדי למנוע שקיעת מלחים וסתימות. ייתכן כי מניעת הסתימות או נרמול התוצאות עם הנתונים של הספיקות המשתנות יביא לתוצאות מובהקות יותר.

ישנן סיבות נוספות לשימוש בהשקיה בספיקות נמוכות, גם אם אין עליה ביבול. כאשר יורדים בספיקות של הטפטפות, הספיקה הכללית פוחתת ואיתה גם הפסד העומד לאורך המערכת. לכן, ניתן להקטין את הקטרים של צינורות ההשקיה או להקטין את קטרי מערכות ההובלה והסינון בשדה ובכך להפחית עלויות ללא כל פגיעה ביבול.

תודות

ללירון סמרפילד מהמכונים לחקר המדבר, חברת נטפים, אביחי ויין וצוות העובדים בתחנת זוהר אשר נתנו מזמנם ועזרו לאורך ניסוי זה.

מקורות מצוטטים

- Assouline, S. 2002. The effects of micro-drip and conventional drip irrigation on water distribution and uptake. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66:1630-1636.
- Assouline, S., Muller, M., Cohen, S., Ben-Hur, M., Grava, A., Narkis K., and Silber, A. 2006. Soil-plant response to pulsed drip irrigation and salinity: Bell pepper case study. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70:1556-1568.
- Ben-Gal, A. and Dudley, L. 2003. Phosphorus availability under continuous point-source irrigation. *Soil Sci Soc Am J.* 67:1449-1456.
- Lazarovitch, N., Pollton, M., Furman, A. and Warrick, A.W. 2009. Water distribution under trickle irrigation predicted using artificial neural networks. *J. Eng. Math.*, 64:207-218.
- Or, D. and Hanks. R.J. 1993. Irrigation scheduling considering soil variability and climatic uncertainty: Simulation and field studies. In D. Russo and G. Dagan (eds.) *Water flow and solute transport in soils.* Springer-Verlag pp.262-282.
- Rawlins, S.L. and Raats, P.A.C. 1975. Prospects for high frequency irrigation. *Science* 188:604-610.
- Segal, E., Ben-Gal, A., and Shani U. 2006. Root water uptake efficiency under ultra-high irrigation frequency. *Plant and Soil* 282:333-341.
- Skaggs, T.H., T.J. Trout, and Rothfuss, Y. 2010. Drip irrigation water distribution pattern: Effects of emitter rate, pulsing and antecedent water, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 74, doi:10.2136/sssaj2009.0341.
- Stansell, J.R. and Smittle, D.A. 1989. Effects of irrigation regimes on yield and water use of summer squash. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 114:196-199.

The influence of dripper discharge rate on the yield and quality of bell pepper irrigated with saline water
Iael Rajj and Naftali Lazarovitch - French Associates Institute for Agriculture and Biotechnology of Drylands, Ben-Gurion University of the Negev

Alon Ben-Gal - Gilat Research Center, Agricultural Research Organization

Rivka Offenbach, Tom Groenveld, Ami Maduel – Central and Northern Arava Tamar R&D

Shlomo Kramer – Extension Service, Ministry of Agriculture and Rural Development

Eli Vered – Netafim

Writer address: iael@post.bgu.ac.il

Keywords: *Capsicum annuum*, low discharge, drip irrigation