

גידול פלפל עם השקיה בטפטוף במים מליחים באמצעות השקיה אוטונומית בשליטת טנסיומטרים

מולי זקס - שרות שדה, שה"מ, משרד החקלאות ופיתוח הכפר

יצחק קליין - המכון לקרקע ומים, מנהל המחקר החקלאי

אפי טריפלר, רבקה אופנבך, אבי אושרוביץ, טוביה סטרייקר - מו"פ ערבה תיכונה וצפונית תמר

כתובת המחברת: molliesacks@gmail.com

תקציר

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 עוסקת בבירור ההשפעה המשולבת של ספיקת הטפטפת ומליחות מי ההשקיה על קליטת מים ויסודות ההזנה על יבול הפלפל. שאלת המחקר נבדקה בניסויי שדה בתחנת יאיר (מו"פ ערבה תיכונה וצפונית תמר). שתילי פלפל מהזן קנון נשתלו (8/8/16) בבית רשת 25 מש. נעשה שימוש בבקר השקיה של חברת טבעטרוניק, אשר הפעיל את ההשקיה באופן אוטונומי בהתאם למתח סף שנמדד בטנסיומטר בודד בעומק ובמרחק של 15 ס"מ מהטפטפת בכל טיפול. בכל הטיפולים המרווח בין הטפטפות 20 ס"מ, ספיקת הטפטפת 1.6 ל'ש', ואיכות מי ההשקיה $EC=2.8 \text{ dSm}^{-1}$. נבחנו ארבע מתחי מים בקרקע: 9, 12, 15 ו-18 סנטיבר בהשוואה להשקיה לפי מקדם השקיה ביחס להתאדות פנמן. הטיפולים החלו לאחר 42 יום מהשתילה. השיטה הביאה לחיסכון של 18% בהשקיה במתח של 15 סנטיבר בהשוואה לכמות המים ביחס לביקורת ללא פגיעה ביבול. עקב הפסקת השקיה בטיפול 15 סנטיבר, כ-50 יום משתילה למשך 6 ימים, הצמח צרך פחות מים במשך הגידול. ביתר הטיפולים כמות המים הייתה דומה או מעט יותר מהביקורת. בטיפול 9 סנטיבר, השקיה אוטונומית הביאה למיתון הגליות בקטיף - לקטיף רציף למשך העונה והשקיה של 8% יותר מים בהשוואה לביקורת.

מבוא ותיאור הבעיה

כמות המים לשטחי הגידול בערבה התיכונה מוגבלת ואינה יכולה לספק את מנת ההשקיה שתאפשר מצב מים אופטימאלי בבית השורשים. הסיבה לכך, נובעת משימוש בציוד השקיה בו ספיקת הטפטפות היא 2.3 או 1.6 ל'שעה, הגורם לדרישה גבוהה למים בתקופות השיא, וכפועל יוצא לירידה בלחצים. פיתוחים טכנולוגיים של השנים האחרונות, אפשרו את הורדת ספיקת הטפטפת ובעקבות כך את שיעור ההשקיה לערכים נמוכים יותר מאשר בעבר. כיום, ישנן מערכות של השקיה עם טפטפות מווסתות בספיקות נמוכות באופן כזה שההשקיה יכולה להמשיך לאורך כל שעות היום. שאלת המחקר העיקרית עוסקת בבירור ההשפעה המשולבת של ספיקת הטפטפת ומליחות מי ההשקיה על פירוס המים, המלחים ויסודות ההזנה בקרקע על היבול, איכות ופירוס השורשים של ירקות. במטרה לברר האם אפשר לשפר את יעילות ההשקיה ע"י השקיה אוטונומית ע"י טנסיומטר.

טנסיומטרים משמשים בדרך כלל כאמצעי עזר להשקיה, במיוחד לקביעת העיתוי ובמידה פחותה למעקב אחר זיהוי מנות מים חריגות בהשקיה הנקבעת בהתאם ללחות צריכת מים.

במערכת ייחודית שפותחה בארץ ניתן להשתמש בטנסיומטר לבקרת השקיה אוטונומית מדויקת המבוססת על מדידת מתח מים בקרקע. השקיה אוטונומית פירושה השקיה ללא התערבות יד אדם, לאחר קביעת סף מתח מים להשקיה ועומק ההרטבה. בבסיס המערכת מונחת ההבנה שהצמח מגיב אינטגרטיבית לכל הגורמים המשפיעים על צריכת המים, ביניהם גורמים שלא ניתן לכמת אותם במדויק.

ההשקיה האוטונומית מבוססת על העובדה שבסביבה המידית של הטפטפת (במרחק של 15 - 10 ס"מ, בעומק של כ- 15 ס"מ) מתפתחת מערכת שרשים צפופה שניתן למדוד בה במדויק את מתח המים, וכן הודות לפיתוח אלגוריתם מתמטי של בקרת עומק השקיה המאפשר פיתוח שרשים בכל עומק רצוי. בקר ההשקיה האוטונומי כולל: טנסיומטר דיגיטלי, מחשב בקר ובורר ברזים (פותח, סוגר ובורר ברזים בהשקיה סדרתית), ותכנית בקרה בתקשורת אינטרנט. המערכת תוכננה ונבנתה, להשקיה אוטונומית. המערכת מזריקה דשן פרופורציונלי וצוברת את רישום המים. הטנסיומטר מודד את מתח המים בקרקע כל דקה ושולח את הנתונים לענן באינטרנט דרך מחשב ההשקיה. נתוני המתח נשמרים כל 15 דקות בענן ומעובדים לגרפים. המשתמש קובע דרך גישה לאינטרנט את סף מתח ההשקיה הרצוי ואת עומק ההרטבה ועוקב אחר הביצוע בכל עת.

שיטות וחומרים

בעונת 2016/17 נבחנה השפעת הספיקה ליחידת אורך על צמחי פלפל מזן קנון, בשתי רמות מליחות מי השקיה 1 ו- 2.8 דצ"ס/מ', בטפטוף עילי. שתי הספיקות ליח' אורך הינן 4, ו- 8 ליטר/שעה למטר רץ לכל שורת גידול של פלפל. שילובים אלו נבחנו בשתי מרווחים שבין טפטפות: 20 ו- 40 ס"מ. הניסוי בוצע במתכונת של בלוקים באקראי, כל טיפול בוצע בארבע חזרות בהן אורך הערוגה היה 7.5 מ' (24 צמחים כ"א). על מנת למנוע השפעת גומלין בין חזרות שכונות לאורך הערוגה, נדגמו מכל חזרה 20 צמחים (6 מ"ר). באחד מהצדדים: מים ב- 2.8 דצ"ס/מ' ומרחק בין הטפטפות 20 ס"מ - 8 ליטר/שעה למטר רץ, בקר השקיה של חברת טבעטרוניק, הפעיל את ההשקיה באופן אוטונומי בהתאם למתח סף שנמדד בטנסיומטר בודד בעומק ובמרחק של 15 ס"מ מהטפטפת בכל טיפול. נבחנה השקיה אוטונומית בארבע מתחי מים בקרקע: 9, 12, 15 ו- 18 סנטיבר בהשוואה להשקיה לפי מקדם השקיה ביחס להתאדות פנמן.

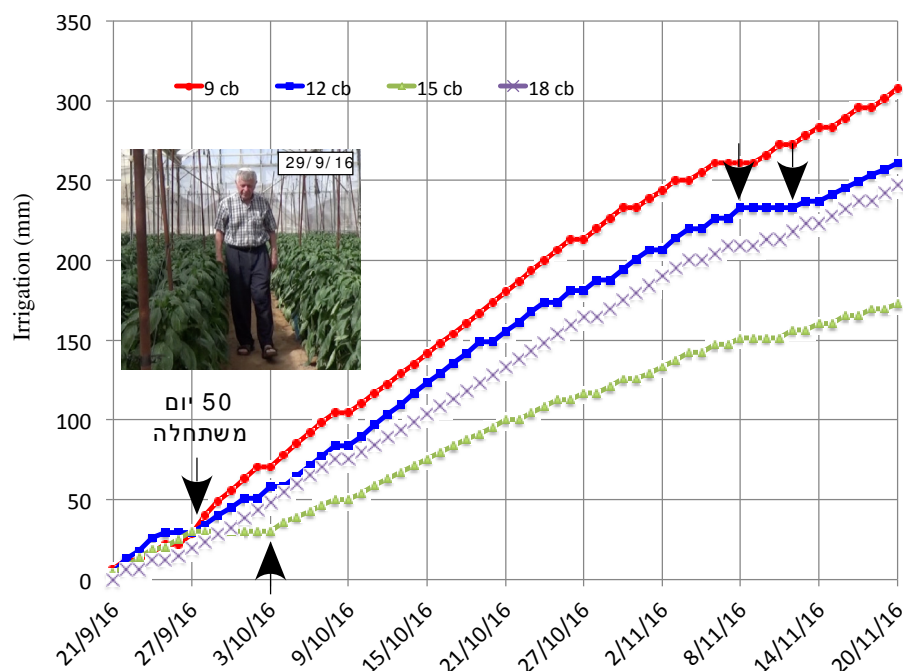
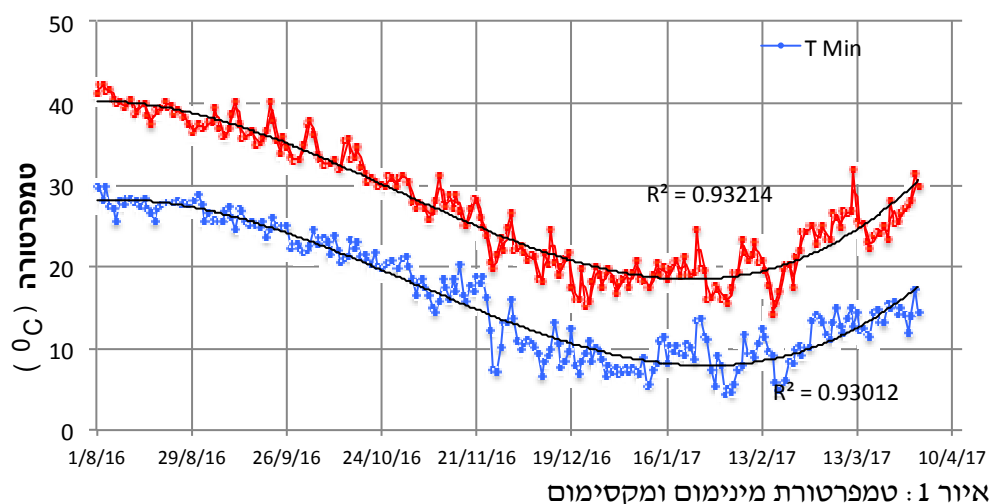
הניסוי נשתל בתאריך (8/8/16) בבית רשת 25 מש ומעליה נפרשה רשת 40% צל שהוסרה לאחר כחודש (7/9/16). המבנה כוסה בשנית ברשת צל ב- 21/2/17.

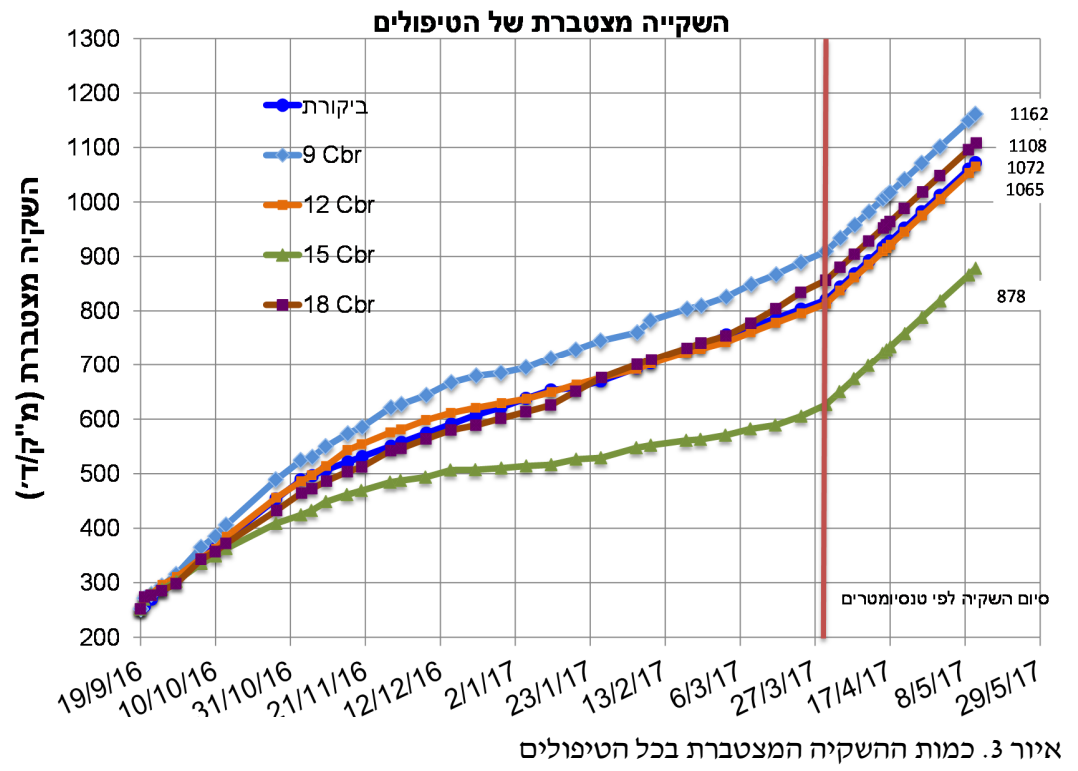
טיפול הביקורת הושקע בהתאם לממשק המומלץ, 6 מ"ק לדונם מחולק ל 3 פעמים ביום החל משתילה ב 8/8/16 במשך כחודש וחצי ולאחר מכן הושקע במינון של כ- 4 מ"ק/דונם. טיפולי ההשקיה טנסיומטרים קבלו משתילה ועד ל- 19/9/16, מועד התקנת הטנסיומטרים, השקיה זהה לביקורת. טיפולי ההשקיה החלו 42 ימים לאחר השתילה. ההשקיה האוטונומית נמשכה עד ל 30/3/17. לאחר מכן ההשקיה המשיכה לכל הטיפולים בהתאם לממשק המומלץ באזור. הדישון היה פרופורציונלי לכל הטיפולים. לאורך עונת הגידול נבדקו הפרמטרים הבאים: גובה הצמחים, ריכוזי מינרלים בעלים דיאגנוסטיים, מי ההשקיה, מיצוי מי קרקע בעזרת משאבים ובדיקות קרקע. הקטיפ החל ב 15/11/16, ונערך אחת לשבועיים עד ל- 28/4/17, סה"כ נעשו 15 קטיפים. הפרי הקטוף מוין לסוגי איכות לפי המדדים המקובלים ביצוא. בסוף העונה נבדק פירוס השורשים על ידי חשיפת השורשים בנפח קרקע משלושה צמחים עוקבים עד לעומק 60 ס"מ בטיפולים של 9 ו- 15 סנטיבר.

תוצאות

תוצאות טמפרטורות מקסימום ומינימום בחוץ מוצגות באיור 1. הצמחים נקלטו והתפתחו באחידות. היה אפשר לראות את השפעת טיפולי השקיה השונים על גובה הצמחים. צמחי הביקורת, היו מעט גבוהים יותר ועם אחידות גדולה יותר בין החזרות (תוצאות גובה הצמחים לא מוצגות). איור 2, מציג את כמות ההשקיה המצטברת בכל הטיפולים מתאריך תחילת הטיפולים עד ה- 20/11/16. הייתה הפסקה השקיה בטיפול 15 סנטיבר ב- 27/9/16 (50 יום משתילה) למשך 6 ימים עקב תקלה (מתואר ע"י חצים באיור 2). באיור 2, תמונה להמחשה של גובה הצמחים, צולמה יומיים לאחר הפסקת ההשקיה. קצב צריכת המים בעקבות העקה במועד זה ירד משמעותית בטיפול 15 סנטיבר לאורך כל עונת הגידול (איור 3). עקה של חמישה ימים בטיפול 12 סנטיבר בתאריך מאוחר יותר, 8/11/16, 90 יום משתילה, לא השפיע על קצב צריכת המים בהמשך (איור 2). ההשקיה לפי טנסיומטרים נמשכה מתאריך- 19/09/2016 ועד ה- 30/03/2017, ובתקופה זו טיפול 15 סנטיבר השקה רק 62% מכמות המים של הביקורת. בחישוב לכל אורך העונה, כולל את פרקי הזמן שבהם טיפולי הטנסיומטרים קיבלו השקיה זהה לביקורת, ההשקיה ב 15 סנטיבר הביא לחיסכון של 18% בהשקיה (878 קוב לדונם לעונה) בהשוואה לכמות המים בביקורת (1072 קוב לדונם). ביתר הטיפולים כמות המים הייתה דומה או מעט יותר מהביקורת (איור 3).

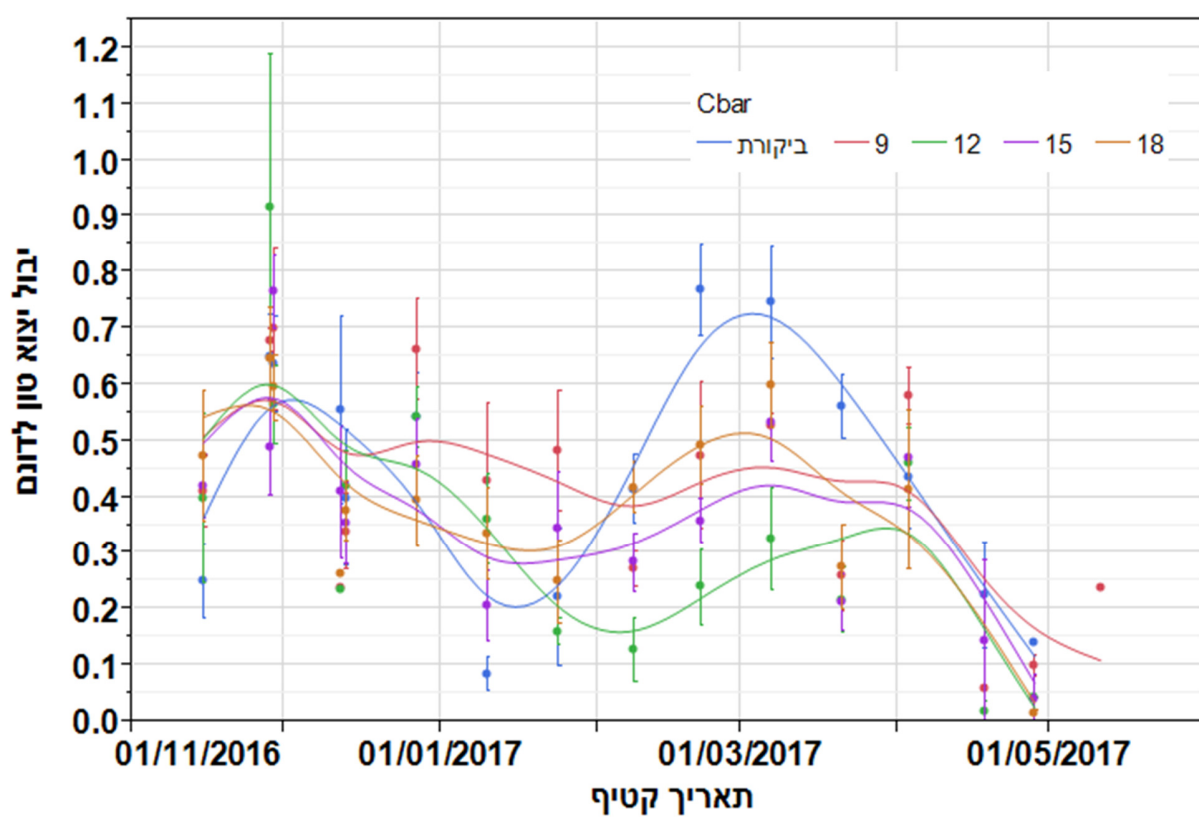
הטיפולים לא נבדלו ביניהם ביבול ואיכות הפרי (טבלה 1). פריסת היבול מתואר באיור 4 ובטבלה 2. איור 5 מציג את היבול המצטבר. ההשקיה במתח של 9 סנטיבר הביאה לפחות גלי קטיף, והביא יותר יבול בחודשים הקרים (ינואר ופברואר) בהשוואה ליתר הטיפולים. גודל הפרי השתנה בהתאם לתנאי האקלים ולא הושפע ע"י הטיפולים (איור 6). טבלה 3 ואיור 7 מציגים את יסודות הזנה בעומקים של 0 - 20 ס"מ וב- 20 - 40 ס"מ של הקרקע. הקרקע חולית וריכוז החנקן בקרקע בכל הטיפולים לא גבוה ואין הצטברות בעומק של חנקן. ריכוז הזרחן גבוה בכל הטיפולים. נמצאה קורלציה בין ריכוז הכלורידים בתמיסת הקרקע ולמוליכות חשמלית של הקרקע בכל הטיפולים. התקבלה המלחה בחזרה אחת, בטיפול 9 ו- 12 סנטיבר, שהביאה לעליה בערכי ממוצע ה-EC וכלורידים באיור 7. המוליכות החשמלית בעומק 20-40 סנטיבר נמוכה יותר מאשר בשכבה של 0-20 ס"מ (איור 7). תוצאות הזנה של דגימות עלים (ללא הפטוטרת) שנדגמו בסוף הניסוי מוצגת באיור 8 הראה כי ריכוז הסידן בעלים גבוה משאר יסודות הזנה ברקמת העלה.



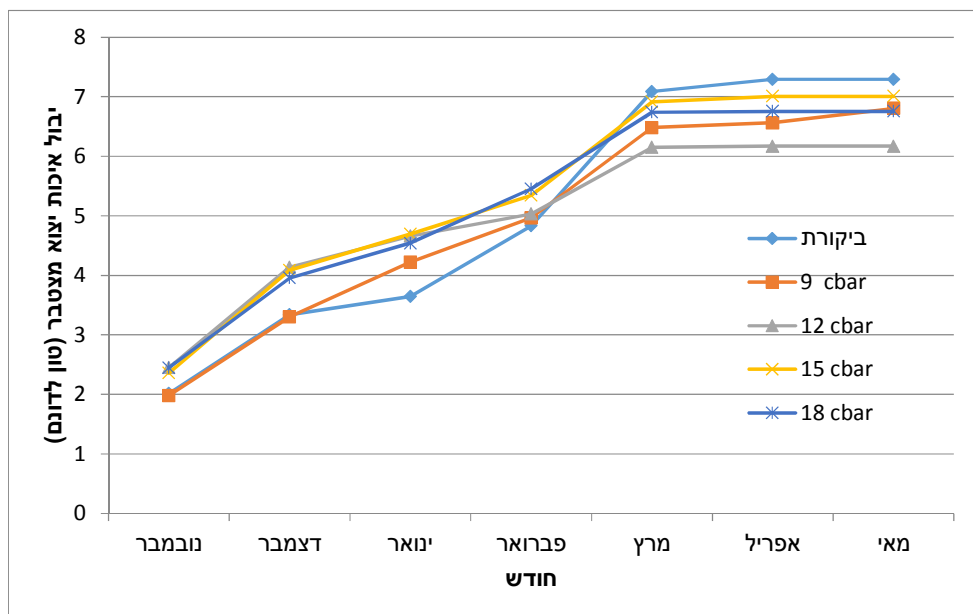


טבלה 1. תוצאות היבול

טיפול השקיה	כולל יבול, טון/דונם	איכות יצוא	פירות מספר לדונם	פרי מעוות טון/דונם	אחרים טון/דונם	פרי ממוצע גרם
ביקורת	8.6 ± 0.7	7.3 ± 0.7	36800 ± 3279	0.8 ± 0.1	0.9 ± 0.1	202 ± 7
Cbr 9	8.1 ± 1.6	6.6 ± 1.1	31270 ± 6193	1.1 ± 0.3	0.8 ± 0.2	205 ± 17
Cbr 12	7.3 ± 0.8	6.2 ± 0.5	30200 ± 1797	1.0 ± 0.2	0.9 ± 0.2	200 ± 9
Cbr 15	8.9 ± 0.5	7.0 ± 0.6	36633 ± 3936	1.2 ± 0.2	0.9 ± 0.4	200 ± 12
Cbr 18	9.1 ± 0.9	6.8 ± 0.6	35133 ± 2254	1.5 ± 0.3	0.9 ± 0.2	207 ± 7
Prob>F	NS	NS	NS	NS	NS	NS



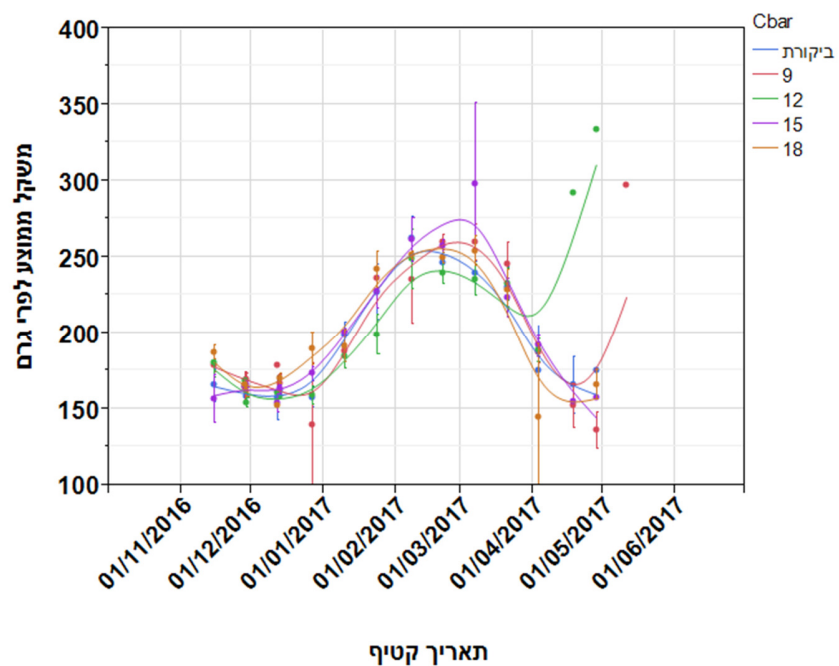
איור 4: פריסת היבולים לפי תאריך קטיף בכל הטיפולים.



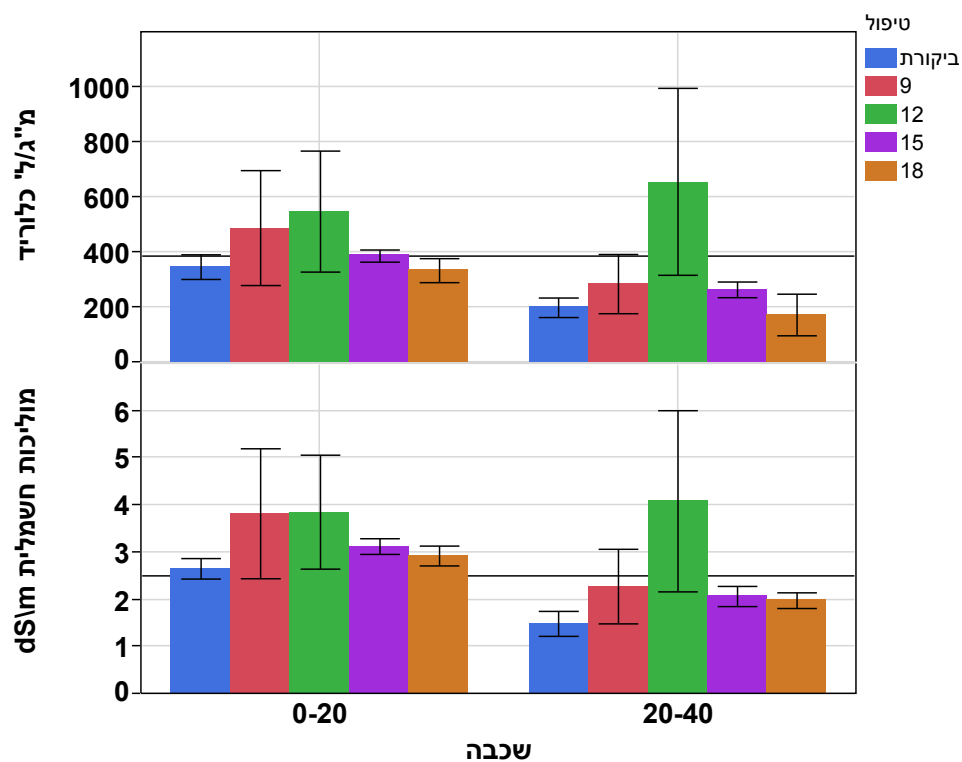
איור 5: יבול מצטבר במשך הניסוי

טבלה 2: יבול ליצוא בכל טיפול לפי חודש (טון/דונם/חודש)

טיפול/חודש	נובמבר	דצמבר	ינואר	פברואר	מרץ	אפריל	מאי	סה"כ
ביקורת	2.0	1.3	0.3	1.2	2.3	0.2		7.3
Cbr 9	2.0	1.3	0.9	0.8	1.5	0.1	0.2	6.6
Cbr 12	2.5	1.7	0.5	0.4	1.1	0.0		6.2
Cbr 15	2.4	1.7	0.6	0.7	1.6	0.1		7.0
Cbr 18	2.5	1.5	0.6	0.9	1.3	0.0		6.8



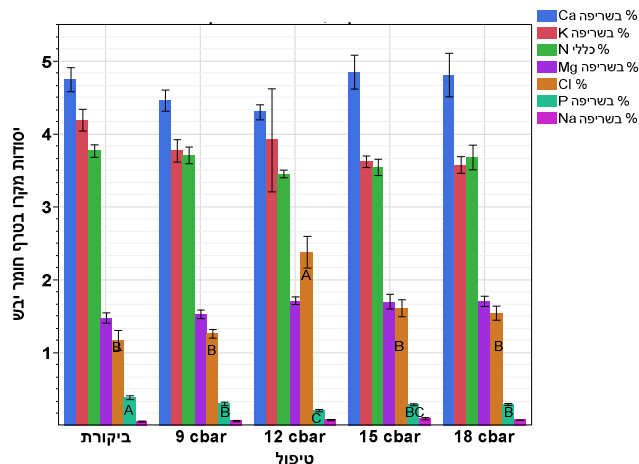
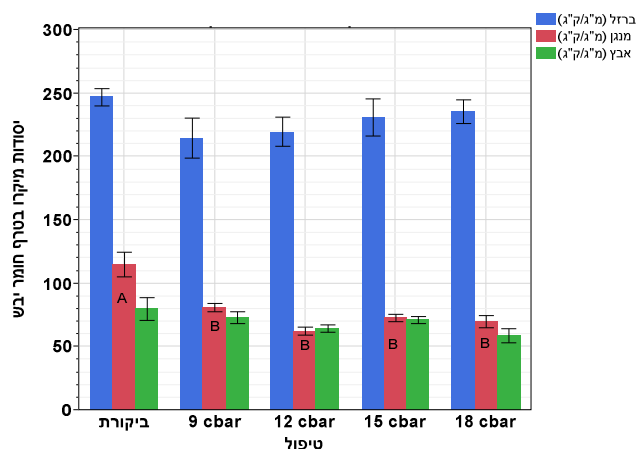
איור 6: משקל ממוצע של פרי לטיפול לפי התאריך



איור 7: תוצאות מוליכות חשמלית וכלורידים בקרקע בסוף הניסוי (תאריך דיגום 23.04.2017)

טבלה 3: תוצאות בדיקות קרקע בסוף הניסוי של % רוויה, חנקן וזרחן בשתי שכבות בכל הטיפולים. התוצאות ממוצע משלוש חזרות שנדגמו באזור בית השורשים. שגיאת תקן מוצג בסוגריים.

טיפול	שכבה	רוויה %	N חנקני מ"ג/ק"ג	P אולסן מ"ג/ק"ג
ביקורת	0-20	34.67 (1.67)	20.40 (3.10)	122.93 (8.94)
ביקורת	20-40	28.93 (0.58)	4.70 (2.15)	70.27 (16.89)
Cbr 9	0-20	34.80 (1.74)	25.37 (5.25)	108.27 (6.91)
Cbr 9	20-40	28.53 (1.19)	15.77 (4.52)	61.07 (3.74)
Cbr 12	0-20	33.07 (1.14)	13.47 (2.88)	87.70 (17.51)
Cbr 12	20-40	29.60 (0.80)	9.87 (4.41)	53.77 (0.41)
Cbr 15	0-20	34.67 (0.35)	20.13 (1.19)	129.87 (9.09)
Cbr 15	20-40	29.73 (1.16)	10.50 (2.75)	84.60 (11.9)
Cbr 18	0-20	32.53 (1.27)	20.67 (6.69)	104.53 (6.27)
Cbr 18	20-40	28.53 (1.27)	11.07 (2.72)	47.40 (6.66)



איור 8: תוצאות דגימות עלים שנדגמו בסוף הניסוי. האותיות מצביעות על מובהקות לפי מבחן Tukey-Kramer 0.05

דיון ומסקנות

מתוצאות הניסוי עולה כי שימוש במערכת טבעטרוניק מאפשרת ביצוע השקיות בהתבסס על חיווי טנסיומטרים בהשקיה "אוטונומית". לביצוע הניסוי, נבחרו המתחים בקרקע מ-9 ועד 18 סנטיבר לחיווי ההשקיה. מהתוצאות שהתקבלו עולה כי הצלחנו לייעל את ההשקיה ללא פגיעה באיכות הפרי וביבול ולמרות תקלה בהשקיה לאחר 50 יום משתילה והפסקת ההשקיה למשך 6 ימים בטיפול של ה-15 סנטיבר. יתר הטיפולים, דרשו כמות מים דומה מאד לטיפול הביקורת למרות המתחים השונים שכיוונו את ההשקיה. בשיטת השקיה זו, לא ניתן לתכנן את כמות המים בכל השקיה כי המערכת מגיבה בזמן אמת לפוטנציאל המים בקרקע בצמוד לטנסיומטר הממוקם בבית השורשים של צמח אחד. כך שלמעשה על סמך אותו טנסיומטר

נקבע מועד ההשקיה וכמות המים באותו השקיה. כמות המים נגזרת מעומק ההרטבה שהמגדל קובע בבקר ההשקיה יחד עם הפוטנציאל המים בטנסיומטר.

בכל הטיפולים נקטף גל הפרי הראשון בחודש נובמבר והתקבלו בו כמויות פרי גבוהות. בהמשך העונה, בחודשי החורף קטנו כמויות הפרי והתקבלה עלייה בכמות הפרי בגל קטיף נוסף באמצע מרץ. הטיפול של 9 סנטיבר דרש השקיה ב- 8% יותר מים מהביקורת והניב יותר פרי בחודש ינואר מהטיפולים האחרים והפחית את הסירוגיות של היבול כך שהיה רצף פרי לקטיף בחודשי החורף כאשר טמפרטורת המינימום הינה סביב 10 מ"צ (איור 1). התוצאות מרמזות כי תגובת הצמח במצב זה של מתח מים נמוך כשהמים זמינים בקלות לכל תקופת הגידול משפיע גם על פריסת היבול בצורה אחידה בתקופת החורף. בחשיפת שורשים של חזרה אחת של אותו טיפול בסוף חודש אפריל (איור 9) התקבלה מערכת שורשים גדולה המתפרסת לעומק של מעל 60 ס"מ וברצף של שורשים אופקים לאורך השורה בעומק 0-20 ס"מ. לא התקבלה מובהקות בתוצאות יבול ואיכות פרי בכל הטיפולים במבחן Tukey-Kramer בתוכנה JMP.

ניסויי המשך: בעונה הקרובה, אנחנו מתכננים לבחון שוב את המערכת, באותו בית צמיחה בתחנת יאיר כאשר השתילה תבוצע בתחילת אוגוסט 2017. בהיסתמך על התוצאות שהתקבלו בשל התקלה בהשקיה נציע טיפולים יזומים של הפסקת השקיה. הטיפולים שנבחר הפעם הם: (1) ביקורת, לעומת השקיה בחיווי טנסיומטרים של (2) 10 סנטיבר, (3) 10 סנטיבר עם עקה מכוונת (הפסקת השקיה) של 3 ימים לאחר כ- 50 יום משתילה, (4) 10 סנטיבר עם הפסקת השקיה של 6 מים לאחר כ- 50 יום משתילה, ו- (5) 20 סנטיבר. בעונה הקרובה נפעיל את ההשקיה בחיווי לפי טנסיומטרים בכל הטיפולים כ- 10 ימים משתילה. המעקב אחר ההשקיה יהיה ע"י בקר השקיה של חברת טבעטרוניק עם דישון פרופורציוני למים. בקרת הצטברות מלחים בבית השורשים תעשה ע"י בדיקות קרקע ועל פי מצב המליחות בקרקע נשנה את עומק ההרטבה.



איור 9: חשיפת שורשים של צמח פלפל בסוף הניסוי בסוף חודש אפריל

הבעת תודה

אנו מודים לקרן שה"מ של משרד החקלאות על מימון תוכנית מספר 14-6376-870.
תודתנו נתונה לקק"ל על תמיכתה במערך הניסויים של מו"פ ערבה תיכונה וצפונית תמר.

Growing Peppers with Drip Irrigation using Autonomous Irrigation controlled by Soil Water Tension using Saline Water

Mollie Sacks – Extension Service, Ministry of Agriculture and Rural Development

Isaac Klein – Soil and Water Institute, ARO

Efi Tripler, Rivka Offenbach, Avi Userovitz and Tovia Strijker – Central and Northern Arava Tamar R&D

Contact Author: molliesacks@gmail.com

Abstract. An autonomous irrigation controller, based on soil water tension measurements was used for irrigating peppers in a sandy soil using saline water ($EC\ 2.8\ dSm^{-1}$) during the winter season in a net house in the Arava. The experiment was carried out on winter grown peppers cv. Canon in a 40 mesh net-covered greenhouse in the Mid-Arava Valley of Israel. The 5 treatments tested included a control based on current irrigation recommendations and tensiometer controlled treatments of -9 kPa, -12 kPa, -15 kPa and -18 kPa threshold tension irrigation. Soil water tension was monitored every 15 minutes and uploaded to a server for visual inspection and data analysis. Irrigation was by $1.6\ liter\ h^{-1}$ drippers, spaced 0.2 meters on the laterals, placed adjacent to the plants, applying a continuous and uniform concentration of fertilizers to all treatments. Data collected included records of irrigation timing and volume of water applied, total and marketable yield, number of fruits and fruit weights. At the end of the experiment the soil was sampled for salinity. The results showed that the autonomous irrigation maintained the pre-set threshold tension steadily. There were no significant differences between treatments in total yield (91 - 73 T/ha), marketable yield (73 - 62 T/ha) and size of the fruit (150 -275 grams). Water savings of 18% were obtained by unintentionally stopping the irrigation for 6 days, 50 days after planting in the -15 kPa treatment. The -9 kPa threshold treatment produced higher amounts of fruit during January compared to the other treatments. The threshold tension irrigations did not cause soil salinity.