

בחינת שילובים של תדירות השקיה ואיכות מים

לייעול ממשק ההשקיה בגידול פלפל בערבה

שלמה קרמר - שירות שדה, שה"מ, מחוז הנגב, משרד החקלאות ופיתוח הכפר
אלון בן-גל - המכון לקרקע ומים, מרכז מחקר גילת, מינהל המחקר החקלאי, משרד החקלאות ופיתוח הכפר
נפתלי לזרוביץ - המכון לחקלאות וביוטכנולוגיה של אזורים צחיחים ע"ש שוחרי צרפת, המכונים לחקר המדבר
ע"ש בלאושטיין, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב
רבקה אופנבך, עמי מדואל - מו"פ ערבה תיכונה וצפונית-תמר
כתובת המחבר: Shlomo@arava.co.il

תקציר

בעונת 2011/12 נבחנו שלוש איכויות מים בגידול פלפל: מים מליחים בעלי מוליכות חשמלית של 3.4 דציסימנס/מטר (דצ"ס/מטר), מים מעורבבים בעלי מוליכות חשמלית מופחתת של 1.3 דצ"ס/מטר ומים מותפלים בעלי מוליכות חשמלית של כ-0.9 דצ"ס/מטר לאחר הוספת הדשנים. מטרת הבחינה היא להעריך האם ערבוב מים מותפלים עם מי הקו המליחים הינה הדרך העדיפה על פני שימוש במים מותפלים אליהם יש צורך להוסיף את כל יסודות ההזנה החסרים. בכל הטיפולים הופעלה ההשקיה באופן אוטומטי על פי חיווי מטנסיומטר רציף. מנת מים של 1 מ"מ ניתנה עם קבלת החווי. תדירות ההשקיה בפועל הייתה התוצאה של השילוב בין ערך הסף להפעלת ההשקיה ומנת המים שניתנה עם קבלת החיווי. קביעת ערך סף הייתה בתחום בו פוטנציאל המים גבוה ותדירות השקיה נעה בתחום בין 3 ל-8 פעמים ביום בהתאם לעונת השנה. בטיפול נוסף, שהושקה במים המליחים, נקבעו מראש ערכי הסף הן להפעלת ההשקיה על פי טנסיומטר רדוד והן לסיומה על פי טנסיומטר עמוק. מנת המים שניתנה בפועל הייתה תוצאה של ערכים אלו ותדירות ההשקיה נעה בין פעמיים ביום (בתקופה החמה של סוף הגידול) לפעם ביומיים עד שלושה בחורף. מנת המים היומית בכל הטיפולים הלכה וקטנה עם התקצרות היום והקטנת הדרישה האקלימית. מסוף החורף מנות המים ותדירות ההשקיה שבו ועלו עם ההתחממות והתארכות היום. מתחילת חודש אפריל החלה עליה מהירה ברמות המליחות של תמיסת הקרקע בשלושת איכויות המים. נערך מעקב אחר מאפיינים של התפתחות הצמח: גובה הצמחים, מספר מפרקים ומספר פירות על השיח. המעקב החל שלושה שבועות לאחר השתילה עד לתאריך 12/01/12. הטיפולים המושקים במים מליחים ומעורבבים גבהו בקצב מהיר עד אמצע נובמבר. החל ממועד זה, טיפול המים המותפלים גבה מהר יותר משאר הטיפולים, ובהתאם גם גדל מספר הפרקים לצמח. בטיפולי המים המלוחים הפירות החלו להיווצר רק בסוף אוקטובר בעוד שבטיפולי המים המעורבבים והמותפלים הם החלו להיווצר באמצע אוקטובר. לקראת סוף נובמבר השתווה מספר הפירות בכל הטיפולים. נערכו בדיקות שבועיות באמצעות שואבי תמיסת קרקע אחר השינויים ברמת המליחות של תמיסת הקרקע, שני מיקומים ביחס לטפטפת ובארבעה עומקים: סמוך לטפטפת ובמרחק 10 ס"מ ממנה לאורך השלוחה. בטיפול שהושקה במים מותפלים (1 דצ"ס/מטר), המוליכות החשמלית של תמיסת הקרקע הייתה דומה למי ההשקיה ויציבה בכל העונה. בתחילת חודש מרץ החלה לעלות המוליכות החשמלית בתמיסות אשר נדגמו בין הטפטפות. בטיפולים שהושקו במים מעורבבים (1.3 דצ"ס/מטר) המוליכות החשמלית הייתה יציבה ודומה למי ההשקיה עד תחילת דצמבר. עם הקטנת מנת ההשקיה היומית החלה עליה ברמת המוליכות החשמלית בכל המשאבים. באמצע פברואר, כאשר מנות המים היומיות החלו לעלות, ירדה רמת המוליכות החשמלית לרמה של מי ההשקיה, אך לקראת סוף מרץ עם ההתחממות שוב עלתה המוליכות החשמלית של תמיסת הקרקע בקצב מהיר. בטיפול אשר הושקה במי קו (3.4 דצ"ס/מטר), המוליכות החשמלית של תמיסת הקרקע הייתה גבוהה בכ-0.7

דצ"סומטר מעל מי ההשקיה עד אמצע דצמבר. מתקופה זו ואילך המגמות ברמת המוליכות החשמלית היו דומות לטיפולי המים המעורבבים.

היבול הגבוה ביותר התקבל בטיפול המותפלים 8.4 טון/דונם (יבול כלכלי) בטיפול מים מעורבבים התקבל יבול של 6.8 טון/דונם אשר ניבדל באופן מובהק מהיבול במים המליחים שהיה 5.2 טון/דונם. עם השיפור באיכות המים גדל ניצול המים מהשכבה בעומק 30 ס"מ הודות להצטברות מלחים נמוכה יותר. תוצאות אלו חוזרות וממחישות כי שימוש במים מליחים מחייב מתן מנות השקיה, הגבוהות מהצריכה בפועל, גם בתקופת החורף, בכדי לשמור על רמת מליחות נמוכה יחסית ויציבה באזור נפח בית השורשים הפעיל. לצריכת המים היומית של הצמחים השפעה חזקה מאוד על קצב עליית מליחות תמיסת הקרקע באזור בית השורשים הפעיל. ככל שמליחות מי ההשקיה תהיה נמוכה יותר קצב הצטברות המלחים יהיה נמוך יותר ובהתאם תנאי גידול יהיו נוחים יותר. השימוש במים מותפלים בעלי מוליכות חשמלית של כ-1 דצ"סומטר (כולל דשנים) מצמצם מאוד את הצטברות המלחים באזור בית השורשים הפעיל ומשפר את פוטנציאל ההנבה של הצמחים בהשוואה למים בעלי מוליכות חשמלית של 1.3 או 3.4 דצ"סומטר במיוחד בעונות החמות.

מבוא ותיאור הבעיה

גידול הפלפל בערבה הינו כיום הגידול המרכזי והיקפו בעונת 2011/12 כ- 19,000 דונם המהווים 60% מכלל שטחי הירקות. הגדלת היקף השטח המעובד על ידי כל חקלאי בד בבד עם קליטת משפחות חדשות מחריפה את מגבלת המים לכלל המגדלים. בשנים האחרונות חלה הרעה מתמשכת באיכות מי ההשקיה עקב עליה בריכוז המלחים במי הבראות. בכדי ליעל את ההשקיה והדישון בתנאים אלו, נידרש ניהול קפדני ומדויק של ממשק ההשקיה, עקב האקלים היבש והצורך לשטוף באופן קבוע עודפי מלחים מבית השורשים. על פי תוכנית האב למים לערבה יסופקו לאזור מים שאיכותם תהיה טובה יותר – מוליכות חשמלית בתחום 1.6-1.9 דצ"סומטר ללא שינוי בהקצאת המים ליחידת משק. מתעוררת השאלה האם רצוי לספק מים באיכות טובה יותר, שתאפשר הגדלת היבולים ובמקביל הקטנת מכסות המים. גישה זו תאפשר למגדלים להשקות באופן יעיל יותר ללא מתן עודפי מים, אשר כיום גוררים לדול מלאגרי המים מצד אחד ומצד שני העודפים מאיצים את זיהום האקוויפרים בחנקות ובמלחים.

ניסויים, אשר בחנו את היתכנות יישום השקיה באמצעות חיווי מטנסיומטר, נערכו על ידי קרמר וחובריו (2007, 2008) במושב פארן. התוצאות לימדו כי השיטה אכן יכולה לתזמן את ההשקיה בשדה, כך שהצמחים יקבלו את מנת המים הנחוצה בהתאם להשפעת השינויים במזג האוויר. כמות המים היומית הממוצעת הלכה וקטנה בכל הטיפולים עם התקצרות היום והירידה בטמפרטורות. תדירות ההשקיה השתנתה, בהתאם לגודל מנת ההשקיה שניתנה בעת קבלת החיווי מהמכשיר בשדה. על פי התוצאות שהתקבלו, השתפרה יעילות ההשקיה בכל הטיפולים ללא פגיעה ברמת היבול.

בעת השקיה במים בעלי תכולת מלחים גבוהה יש חשיבות רבה לניטור מצב המליחות בחתך בית השורשים בנוסף למעקב אחר מצב המים בקרקע. זאת כיוון שבאמצעות המידע המתקבל מהטנסיומטר לא ניתן לזהות, האם הירידה בצריכת המים נובעת מעליית המליחות בבית השורשים, או עקב שינויים במזג האוויר או במצב הפיזיולוגי של הצמח. במסגרת ניסוי זה, ניטור מליחות הקרקע התבצע באמצעות שואבי תמיסת קרקע אוטומטיים האוספים את מי תמיסת הקרקע למכלי איסוף, אשר נבדקו במעבדה אחת לשבוע. מטרת הניסוי הנוכחי הייתה בחינת הקשר בין איכות מי ההשקיה לבין התפתחות הצמחים, רמת היבול ואיכותו ומצב המלחים בבית השורשים הפעיל. על פי התוצאות להגדיר ממשק השקיה, אשר ייתן מענה לשתי שאלות: האחת מבחינת יעילות ההשקיה והשנייה מבחינת הצורך בשטיפת מלחים בכל איכות מים.

חומרים ושיטות

הניסוי נערך בחוות הניסויים "זוהר" בכיכר סדום במבנה חממה ששטחו 730 מ"ר, גג יריעת פוליאאתילן ובדפנות רשת נגד חרקים עם וילון פוליאאתילן הניתן לגלילה. לפני שלוש עונות נחפר במרכז הערוגה תלם בצורת משולש שקדקודו בעומק 0.1 מטר ובסיסו בפני הקרקע ברוחב 0.2 מטר. מימדים אלו יוצרים נפח של 10 ליטר ל-1 מטר ערוגה. בתוך התלם פוזר חומר אורגני מיוצב בנפח שווה ערך ל-7 מ"קדונם. על החומר האורגני במרכז הערוגה הונחה שלוחת טיפטוף אחת עם טפטפות כל 0.2 מטר בספיקה של 1.6 ליטר/שעה. השתילים נשתלו סמוך לטפטפות. בסיום עונות הגידול הקודמות נחתכו הצמחים בפני הקרקע ולא בוצע כל עיבוד בשטח. על תשתית זו נישתל בשורת צמחים במרכז הערוגה פלפל אדום מהזן קנון 7158 (זרעים גדרה) בתאריך 12/09/11 לעומד של 3.6 צמחים למ"ר. המרחק בין הצמחים בתוך השורה 0.2 מטר והמרחק בין מרכזי הערוגות 1.36 מטר. הצמחים הודלו לסירוגין לימין ולשמאל הערוגה. בכל חלקת ניסוי יש שתי ערוגות באורך 5 מטר, רוחבה 2.72 מטר ושטחה כ- 14 מ"ר, סה"כ 50 צמחים. אורך חלקת קטיף 4 מטר ובה 20 צמחים. הקטיף מתבצע משני צידי השביל שבין שתי הערוגות.

ההשקיה בוצעה ממכל מרכזי עבור כל איכות מים ובו הוכנה תמיסת הדשן הסופית. למי ההשקיה הוספו חנקן זרחן ואשלגן. למים המותפלים הוספו גם סידן, מגנזיום וגופרה. בתוכנת הבקרה של החיישן ניתן להגדיר את מסגרת השעות בה יתבצעו פעולות השקיה על סמך המידע המתקבל מהחיישנים בהתאם להגדרות של כל טיפול וטיפול. בניסוי זה ניבחר חלון הפעילות בין השעות 07:00 ו-18:00. במידה ובמשך הלילה ערכי הקריאה של הטנסיומטר עולים (מתח המים עולה) עקב הניקוז הטבעי, ועוברים את ערך הסף שהוגדר להפעלה, ההשקיה תופעל רק עם היפתח חלון הפעילות מחדש בשעה 07:00. שיטת ההפעלה העיקרית הייתה על ידי קביעה מראש של מתח ההפעלה וכמות המים שתינתן עם קבלת החיווי. בטיפול אחד נבחנה גישה בה נקבע ערך המתח לפתיחת המים בטנסיומטר בעומק 12 ס"מ וערך המתח לסגירת המים בטנסיומטר בעומק 30 ס"מ, מנת המים הייתה פועל יוצא של שני ערכים אלו. הטיפולים הופעלו בתאריך 25/09/11 שבועיים לאחר השתילה.

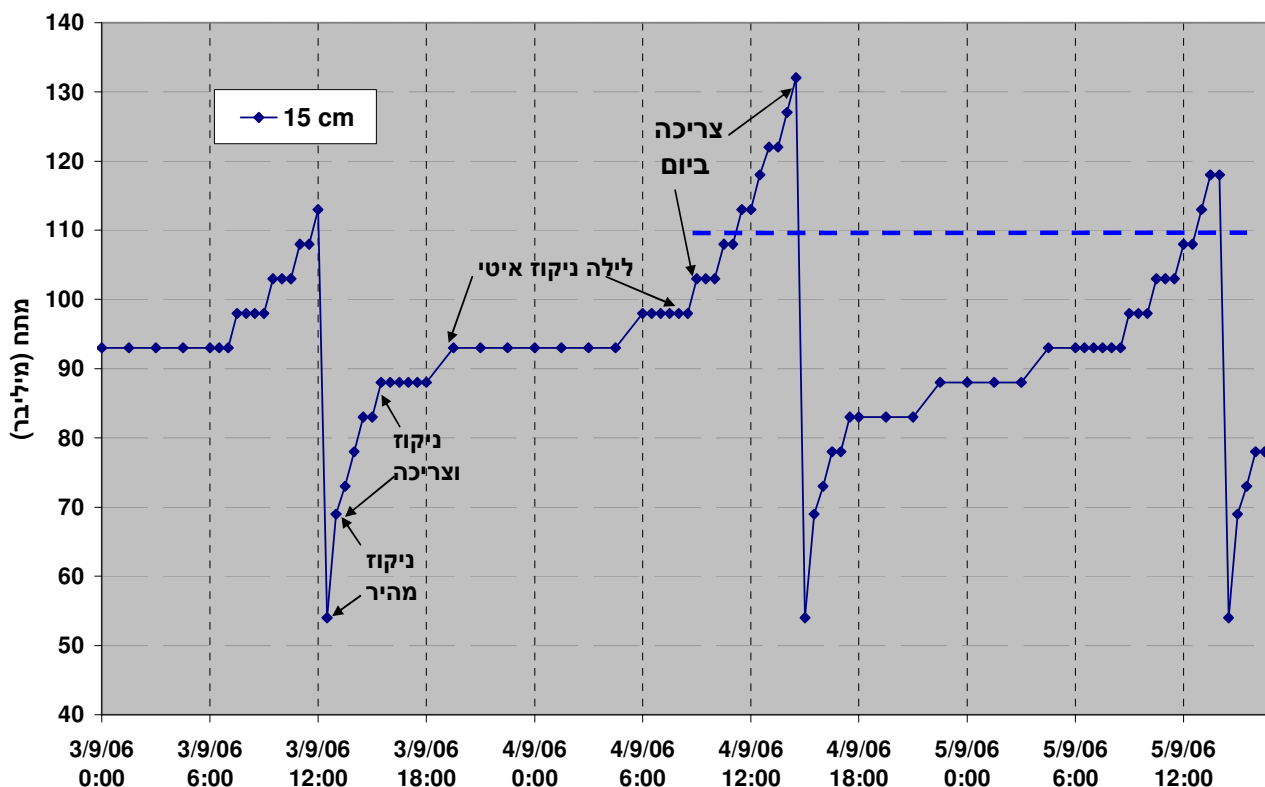
הטיפולים שנבחנו הם:

- A - מים מעורבבים 1.3 דצ"ס/מטר, מתן מנת מים של 1 מ"מ בעת קבלת חיווי מהטנסיומטר בעומק 12 ס"מ.
- B - מים מליחים 3.4 דצ"ס/מטר מתן מנת מים של 1 מ"מ בעת קבלת חיווי מהטנסיומטר בעומק 12 ס"מ.
- C - מים מעורבבים 1.3 דצ"ס/מטר, מתן מנת מים של 1 מ"מ בעת קבלת חיווי מהטנסיומטר בעומק 12 ס"מ. שינוי ערך הפעלת ההשקיה בהתאם לשינוי במזג האוויר
- D - מים מליחים, פתיחת מים על פי חיווי מטנסיומטר רדוד בעומק 12 ס"מ וסגירתם על פי חיווי מטנסיומטר בעומק 30 ס"מ.
- E – מים מותפלים 0.8-1 דצ"ס/מטר, מתן מנת מים של 1 מ"מ בעת קבלת חיווי מהטנסיומטר בעומק 12 ס"מ.

עקרונות לקביעת ערך הסף להפעלת ההשקיה: אופי הקריאות המתקבלות ממכשיר הטנסיומטר או כל חיישן נקודתי אחר המודד את מצב המים בקרקע, משתנה בכל פעם שמציבים את המכשיר בקרקע. רגישות רבה נמצאה למרחק מהטפטפת, לכן אין אפשרות לקבוע מראש ערך סף כללי באותה קרקע או לסוגי קרקעות שונים. עובדה זו מסבכת את תהליך הבחירה הנכונה בערך להפעלת ההשקיה. השינוי בתכולת המים בקרקע, המיוצג על ידי קריאות טנסיומטר (איור 1), מאופיין בתגובה ברורה למתן השקיה – עליה חדה בפוטנציאל המים בקרקע. לאחר מכן בשעות היום מתקיימים שלושה תהליכים הגורמים לירידה בפוטנציאל המים בקרקע. האחד ניקוז טבעי, השני צריכת הצמחים והשלישי התאדות ישירה מהקרקע. מיד לאחר ההשקיה תהליך ניקוז המים מהיר מאוד ולכן יש פרק זמן קצר יחסית בו פוטנציאל המים קטן במהירות. לאחר מכן חלה ירידה בקצב הקטנת פוטנציאל המים

ועיקר השינוי בכמות המים בקרקע נובע מצריכת הצמחים. ככל שחולף זמן רב יותר ממועד השקיה (בשעות היום) חלה עליה בקצב הקטנת פוטנציאל המים בקרקע. התהליך מיוצג על ידי השינוי בשיפוע הקו המתאר את קריאות מתח המים בקרקע על ידי הטנסיומטר.

בניסוי אשר נערך בעונת 2006/07 (קרמר וחובי, 2007) תהליך הבחירה של ערך הסף להפעלת ההשקיה החל כשבועיים לאחר השתילה, כאשר השתילים כבר מבוססים ומתחילים להתפתח בקצב מהיר. בתקופה זו הוגדר מרווח השקיה של פעם ביום (כאשר ההשקיה תינתן באמצע היום) לשם בחירת תחום המתחים המתאים להפעלת ההשקיה. המעקב אחר השינויים בפוטנציאל המים בקרקע במשך שלושה ימים עוקבים, הביא לבחירת הנקודה בה קצב השינוי נעשה מהיר יותר בקטע המוגדר "צריכה ביום" (איור 1). על סמך מעקב אחר טנסיומטרים רבים המוצבים אצל חקלאים בערבה, הסתבר כי אומנם הערכים המוחלטים שונים אך אופי השינויים דומה מאוד. אצל כולם ניתן היה לזהות את תחילת צריכת המים בבוקר בשעה זהה וכן את הפסקת הפעילות של הצמחים לפנות ערב. לאור זאת בחרנו בניסוי זה להפעיל את מערכת ההשקיה על פי נתונים ממכשיר אחד בכל טיפול. נוספים המוצבים בשטח שימשו לבקרה וגיבוי.



איור 1. מהלך השינוי בקריאות מתח המים בקרקע על ידי טנסיומטר המוצב בעומק 15 ס"מ סמוך לטפטפת.

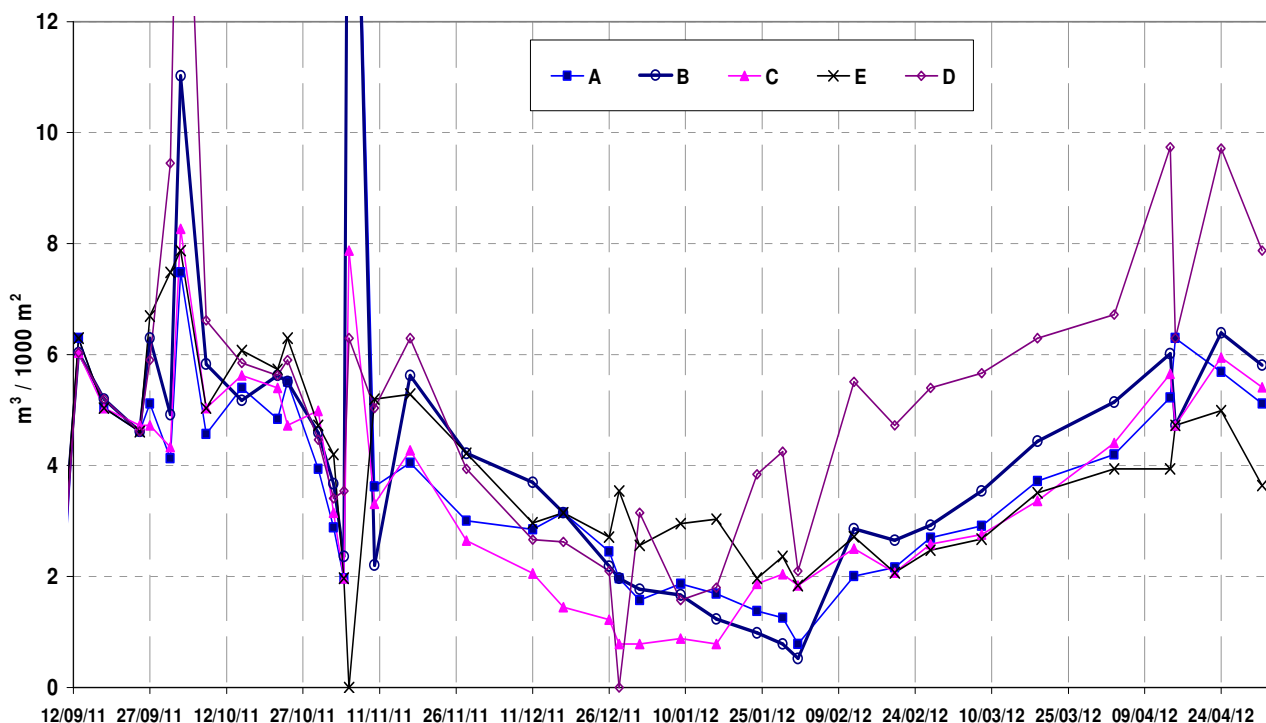
טיפול ההשקיה הופעלו בתאריך 25/09/2011 כשבועיים לאחר השתילה. במהלך תקופת הגידול נערך מעקב אחר שני מאפיינים של התפתחות הצמח, האחד גובה הצמחים, אשר החל שלושה שבועות לאחר השתילה ונמדד מדי שבוע, והשני היה מבנה הצמח - מספר פרקים ופירות ונבדק מדי שבועיים. המוליכות החשמלית של מי ההשקיה המליחים עם הדשן הייתה בתחום 3.5-3.7 דצ"ס/מטר. ערבוב מים מליחים ומים מותפלים (1 ליטר מים מליחים לשלושה ליטר מים מותפלים) הביא לרמת מוליכות חשמלית עם הדשן בתחום 1.4-1.6 דצ"ס/מטר. למים המותפלים הוספו בנוסף לחנקן, זרחן ואשלגן גם סידן, מגנזיום, גופרה ויסודות קורט מוליכות החשמלית הייתה בתחום 0.9-1.1 דצ"ס/מטר. מי ההשקיה נדגמו פעמיים בשבוע ונבדקה בהם רמת המוליכות החשמלית וריכוז

החנקן החנקתי. פעם בשבוע בוצעה בדיקה של כל מרכיבי ההזנה והמליחות. מעקב אחר המוליכות החשמלית של תמיסת הקרקע וריכוז החנקן בה, נעשה באמצעות מערכת של 8 משאבים בחזרה אחת בכל טיפול, אשר מוקמו בארבעה עומקים 5, 10, 15, 30 ס"מ ליד הטפטפת ובמרחק של כ-10 ס"מ מהטפטפת. יניקת התמיסה התבצעה פעם בשבוע לפנות ערב (מחוץ לחלון ההשקיה) באמצעות מערכת יניקה אוטומטית. למחרת בבוקר נאספו הבקבוקים למעבדה לבדיקת המוליכות החשמלית וריכוז החנקן בתמיסה.

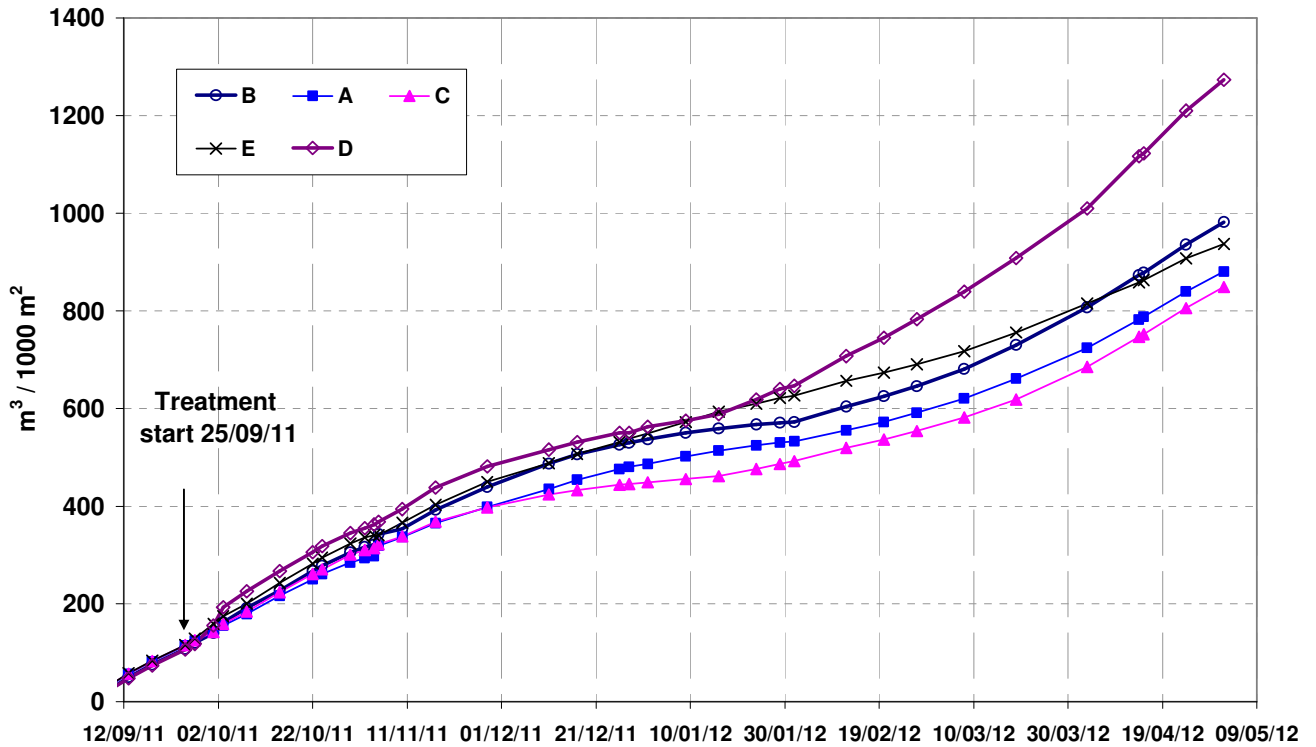
מאפיינים צמחיים: מדידות גובה הצמחים החלו בתאריך 20/09/11 ובוצעו מדי שבוע עד תאריך 12/01/12. נמדדו 2 צמחים צמודים בארבע חזרות בכל טיפול. באותם צמחים נספרו המפרקים ומספר הפירות מקוטר של 1 ס"מ ומעלה החל מתאריך 14/10/10 ועד תאריך 12/01/12. איסוף היבול החל בתאריך 26/12/11 (113 ימים לאחר השתילה). עד סיום העונה בתאריך 02/05/12 (233 ימים לאחר שתילה) בוצעו 10 קטיפים של פרי אדום מדי שבוע עד 10 ימים. הפירות מוינו על ידי שקילת כל פרי בנפרד. בסיום הניסוי נקטפו כל הפירות שנותרו על השיחים. בדיקות עלים נערכו בתאריך 01/01/2012. נדגם העלה הפרוס החמישי מקדקוד הצמיחה. בעלים נבדקו אחוזה החנקן, הזרחן, האשלגן, הסידן והכלוריד בחומר היבש לאחר עיכול רטוב. התוצאות מוצגות בטבלה 2.

תוצאות

מנות המים ותדירות ההשקיה – תדירות ההשקיה נקבעה על ידי החיווי מהטנסיומטרים בהתאם לערכי הסף ומנות המים אשר הוגדרו לכל טיפול. השתנות מנות המים היומיות הממוצעות במהלך העונה בכל הטיפולים מוצגת באיור 2. עד תחילת חודש דצמבר 2011 מנות המים היו דומות בטיפולים השונים. ממועד זה שונה ערך



איור 2. תאור השתנות מנות המים היומיות, אשר ניתנו בטיפולים השונים, מתחילת הניסוי 12/09/11 ועד סוף אפריל 2012.



איור 3. תאור מהלך הצטברות כמות המים בטיפולים השונים מתחילת העונה עד סוף אפריל 2012

פתיחת המים בטיפול C ובהתאם מנת המים היומית קטנה עד לרמה של 1 מ"מ ליום. טיפול E המושקה במים מותפלים ניכנס לחורף עם נוף מפותח יחסית לשאר הטיפולים ומנות המים היומיות בחודשים דצמבר וינואר היו גבוהות יותר מאשר בטיפולים האחרים כ-3 מ"מ ליום. בטיפול D עם ההתחממות עלתה תדירות ההשקה הצטברות כמות המים הכללית בכל טיפול מוצג באיור 3 ומנות המים העונתיות מוצגות בטבלה 3. תדירות ההשקה האופיינית לטיפולים השונים החל מסוף חודש ספטמבר ובמהלך העונה מוצגת בפרק הדיון.

קצב צימוח הצמחים לגובה היה מהיר ואחיד בכל הטיפולים עד תאריך 23/11/11 (איור 4). ממועד זה ועד הפסקת המדידה בתאריך 12/01/12 לא גבהו הצמחים. החל מתאריך 30/10/11 טיפול המים המותפלים גבה בקצב מהיר יותר באופן מובהק משאר הטיפולים עד סוף חודש נובמבר תוך הגדלת מספר המפרקים באופן מובהק ביחס לטיפולים האחרים (איור 5).

בדיקות מי משאב ומי השקיה - תיאור מייצג של רמות המוליכות החשמלית במי ההשקיה ובתמיסת משאב בעומק 10 ס"מ במהלך תקופת הניסוי בטיפולים A, B ו E מוצג באיור 6. יש שתי תקופות בהן רמת המוליכות החשמלית עולה בטיפולים המושקים במים מליחים ובמים מעורבבים. האחת עם הכניסה לחורף והקטנת מנת ההשקה היומית והשנייה מתחילת חודש מרץ, כאשר צריכת הצמחים עולה מהר מאוד ואף מנות המים גדלות. בטיפול המושקה במים מותפלים המוליכות החשמלית של תמיסת המשאב ושל מי ההשקה הייתה מאוד דומה לאורך כל העונה. נתוני רמות החנקן החנקתי בתמיסות של טיפולים אלו מוצגות באיור 7. מתחילת הניסוי ועד סוף דצמבר רמת החנקן במי ההשקה של טיפול B ובטיפולי המים המעורבבים הייתה בתחום 30-40 מ"ג/ליטר. בתמיסות המשאב בעומק 10 ס"מ הרמה הייתה קרובה לאפס בתקופה זו. באותו פרק זמן גם במי ההשקה הייתה רמת אשלגן נמוכה בתחום של 20-40 מ"ג/ליטר. בתחילת חודש דצמבר החלו להופיע הצהבות בעלים בדומה לתופעה

שהתרחשה בעונת הניסוי הקודמת המוצגת בתמונות 1,2. תוצאות בדיקות עלים מיצגים מקדקוד אמיר הצמיחה בשתי העונות מוצגות בטבלאות 1 ו-2. רמות האשלגן בטיפולי הניסוי נמוכות ביחס לחלקת פלפל שכנה.



תמונה 1. הצהבת עלים והתייבשות שוליים תמונה 2. ניצנים ראשונים של התאוששות בתאריך 19/12/10 בתאריך 18/01/11 (לאחר התחלת קטיף)

טבלה 1. נתוני ריכוז יסודות ההזנה העיקריים (%) בעלה מיצג מתאריך 02/01/2012, עונת גידול 2011/12.

טיפול	חנקן	זרחן	אשלגן	כלוריד
מליחים B	4.28	0.17	1.03b	2.30a
מותפלים E	4.57	0.21	2.38a	0.81b
חממה 1 (מליחים)	4.55	0.21	3.43	0.86

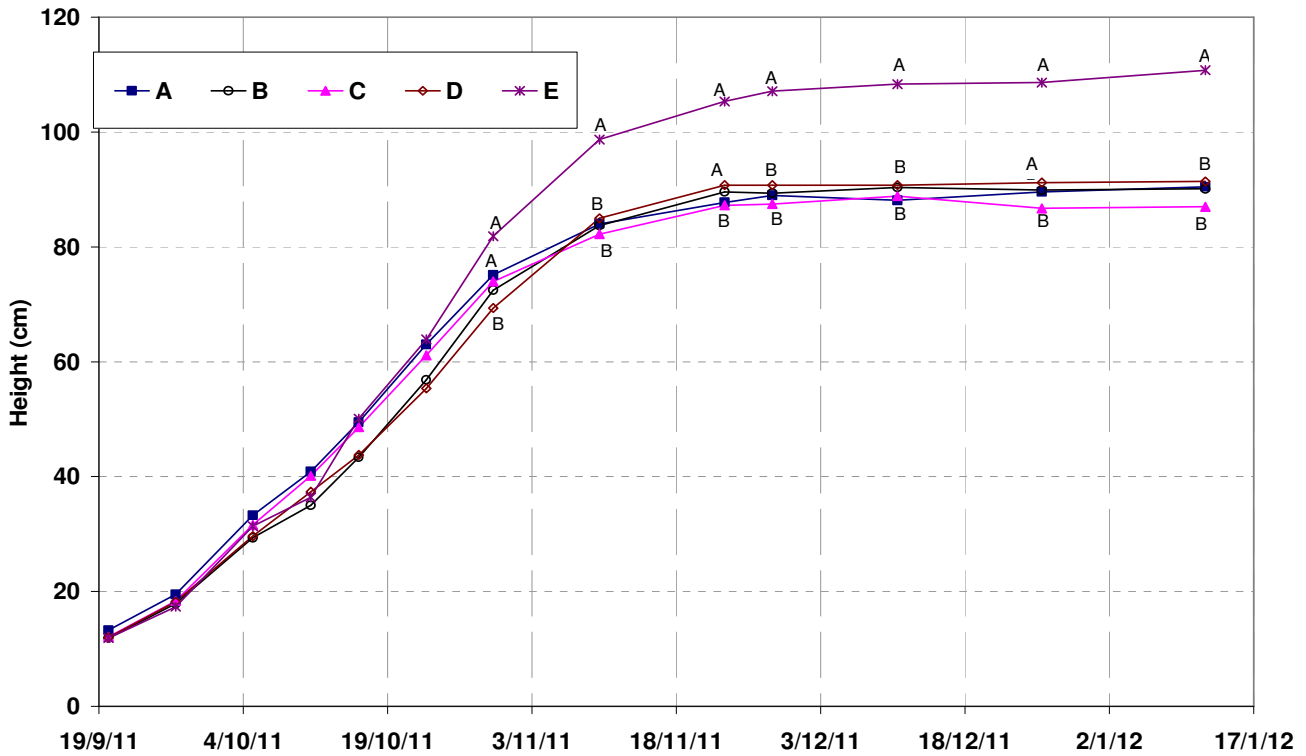
מספרים בכל עמודה המלווים באותיות שונות נבדלים באופן מובהק ברמת מובהקות של 0.05 במבחן טוקי-קרמר.

טבלה 2. נתוני ריכוז יסודות ההזנה העיקריים (%) בעלה מיצג מתאריך 28/11/2010, עונת גידול 2010/11.

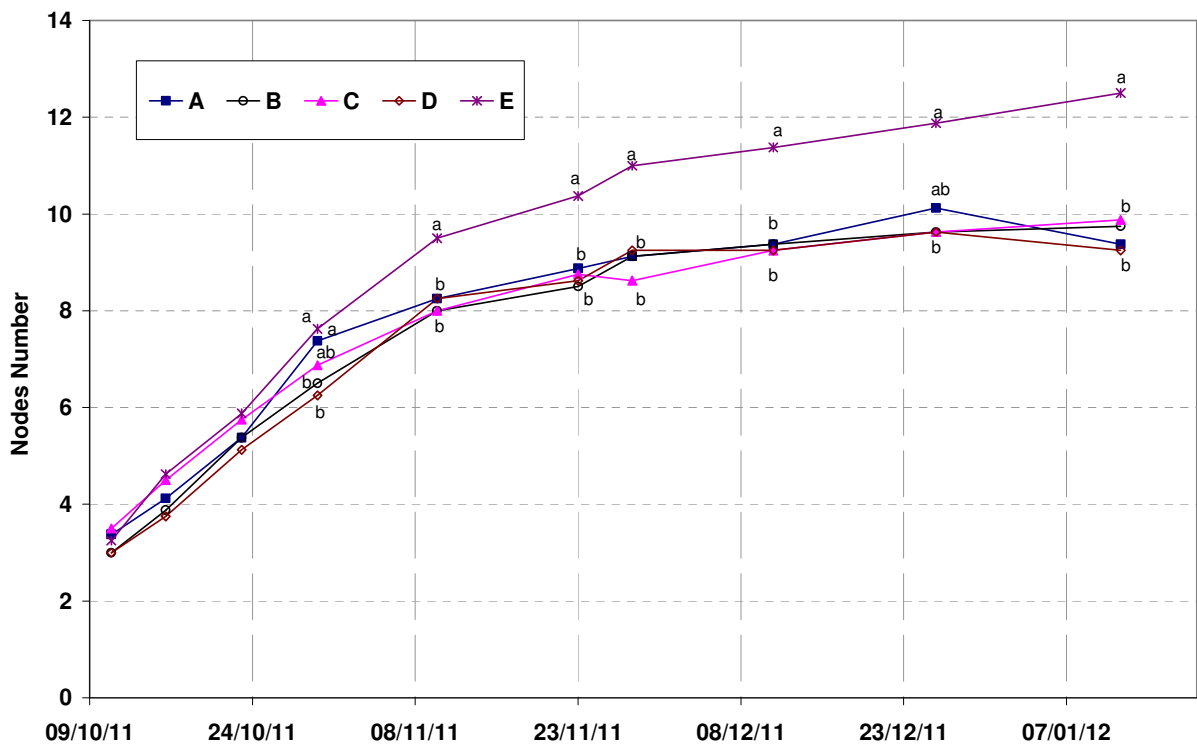
טיפול	חנקן	זרחן	אשלגן	סידן	כלוריד
מעורבבים A	4.45 bc	0.14 bc	1.65 b	0.34 ab	1.06
מליחים B	5.17 a	0.25 a	2.45 a	0.24 b	1.38
מעורבבים C	3.97 c	0.12 c	1.8 b	0.34 ab	1.18
מעורבבים E	4.8 ab	0.16 ab	1.42 b	0.35 a	1.13

מספרים בכל עמודה המלווים באותיות שונות נבדלים באופן מובהק ברמת מובהקות של 0.05 במבחן טוקי-קרמר.

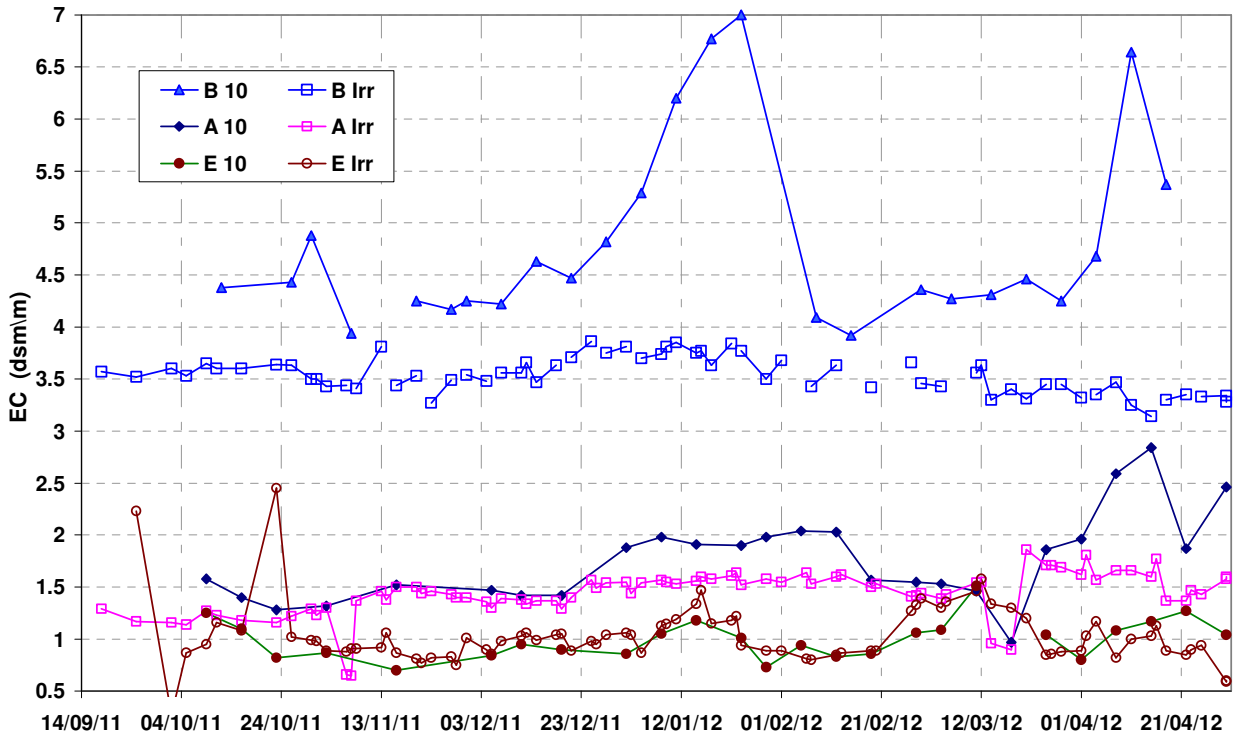
קצב צמיחת הצמחים לגובה מתאריך 27/09/11 ועד 10/11/12 היה כ-1.5 ס"מ/יום במים המליחים והמעורבבים וכ-1.8 ס"מ ביום בטיפול המים המותפלים. במועד זה היו כ-6.5 פירות לצמח וקצב הצמיחה לגובה נבלם כמעט לחלוטין בכל הטיפולים. במספר המפרקים היה יתרון מובהק לטיפול המים המותפלים ביחס לשאר הטיפולים החל מתאריך 10/11/11. לא נימצא הבדל בין טיפולי המים המליחים והמים המעורבבים. תוספת מפרקים מהירה בקצב של כ-0.16 מפרקים/יום הייתה עד 10/11/11. בטיפול המים המותפלים עד 12/01/12 נימשך ייצור מפרקים איטי ונוספו 4 מפרקים. בשאר הטיפולים נוסף מפרק אחד בלבד.



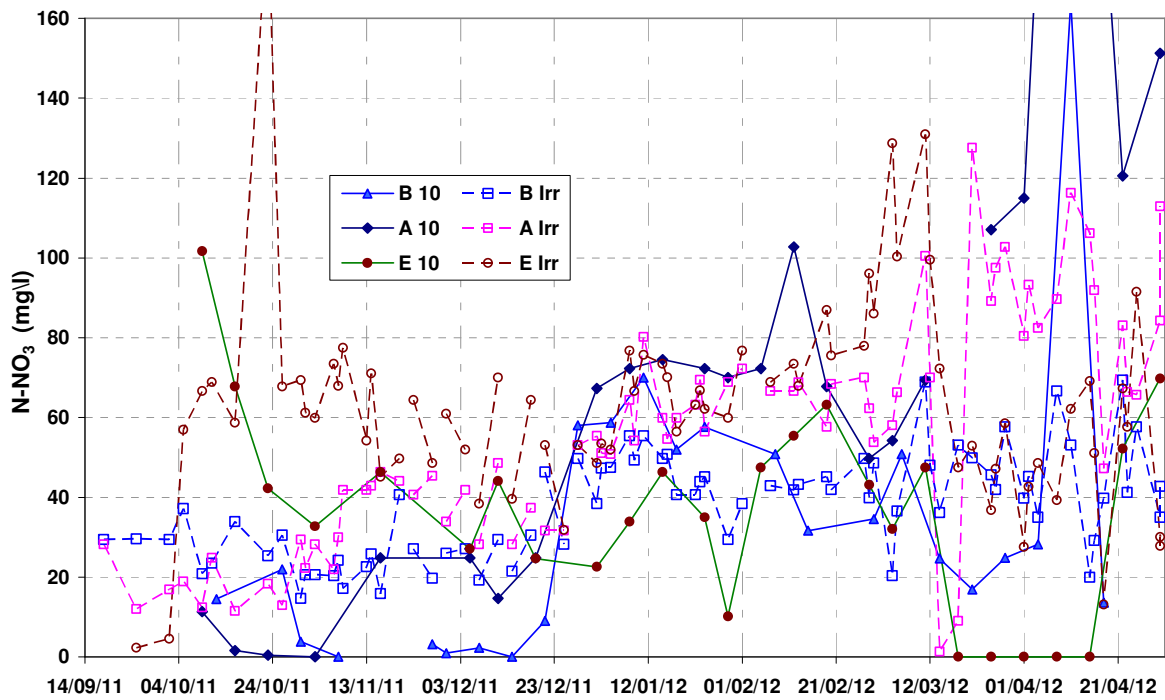
איור 4. נתוני מדידות גובה צמחי הפלפל מתחילת הניסוי ועד תאריך 12/01/12. אותיות שונות מציינות הבדל מובהק בין טיפולים ברמה של 0.05 במבחן תחום טוקי קרמר.



איור 5. מספר המפרקים שנוצרו בצמחי הפלפל מתחילת הניסוי ועד תאריך 12/01/12. אותיות שונות מציינות הבדל מובהק בין טיפולים ברמה של 0.05 במבחן תחום טוקי קרמר.



איור 6. ערכי המוליכות החשמלית של מי ההשקיה ותמיסת מי משאב בעומק 10 ס"מ סמוך לטפטפת בטיפול מים מליחים B, מים מעורבבים A ובטיפול מים מותפלים E.



איור 7. רמות החנקן החנקתי במי ההשקיה ותמיסת מי משאב בעומק 10 ס"מ סמוך לטפטפת בטיפול מים מליחים B, מים מעורבבים A ובטיפול מים מותפלים E.

היבול המצטבר הכללי ומנייני גודל הפרי מוצגים בטבלה 3. מהלך הצטברות היבול הכללי בטיפולים השונים מוצג באיור 7. מהלך הצטברות יבול פירות במשקל גבוה מ-0.15 ק"ג מוצג באיור 8.

טבלה 3. היבול הכללי והיבול בשלוש קבוצות משקל הפרי בסיום הניסוי בתאריך 02/05/2012.

טיפול	מנת מים		יבול, ק"ג/מ"ר		
	עונתית	כללי	קטן מ-100	100 - 250	גדול מ-250
A	880	13.6אב	0.28אב	4.9ב	1.6א
B	981	11.6ב	0.24ב	4.2בג	0.8ב
C	848	12.5אב	0.45א	5.0ב	0.6ב
D	1237	11.5ב	0.4אב	3.9ג	0.6ב
E	937	14.6א	0.3אב	6.1א	2.0א

מספרים המלווים באותיות שונות נבדלים באופן מובהק ברמת מובהקות של 0.05 במבחן טוקי קרמר.

דין

תדירות השקיה ומליחות: מתן מנת השקיה של 1 מ"מ עם קבלת חיווי מהטנסיומטר הרדוד הביאה לתדירות השקיה של 5-6 פעמים ביום (מנה יומית של 5-6 מ"מ) בשלוש איכויות המים. החיווי נוצר בשלב בו עדיין מתרחש ניקוז טבעי בקרקע. באיור 8 מובא אופיין מייצג של השינויים במתח המים בקרקע בתחילת העונה. טיפול B מייצג את קבוצת הטיפולים בהם ניתנה מנת השקיה של 1 מ"מ בעת קבלת חיווי מטנסיומטר ואילו טיפול D מייצג ממשק בו בכל השקיה ניתנה מנת מים ברמה של כ-6 מ"מ. מתן מספר מנות השקיה בכמות של 1 מ"מ הביא לתכולת מים גבוהה בשכבה 0-15 ס"מ. עם סיום ההשקיות לפנות ערב ממשיך ניקוז טבעי מהשכבה העליונה. בשכבה בעומק 30 ס"מ השינויים בתכולת המים מתונים מאוד. מתקבלת מחזוריות יומית בתצורת גל, בעלת משרעת קטנה של עליה וירידה בתכולת הרטיבות. העלייה בתכולת המים בעומק 30 ס"מ מתחילה כמה שעות לאחר התחלת ההשקיות. בעת מתן מנת השקיה אחת גדולה המשרעת רחבה יותר וסמוך לתחילת ההשקיה יש תגובה ברורה של שינוי בתכולת הרטיבות גם בטנסיומטר העמוק. מועד ההשקיה דומה מאוד בכל יום והשינויים במהלך העונה איטיים.

עם הירידה בטמפרטורות והתקצרות היום מספר ההשקיות בכל יום הלך והצטמצם ובהתאם מנת המים היומית הלכה ופחתה. בסוף חודש דצמבר מנת המים היומית הייתה דומה בכל הטיפולים והגיעה לרמה של כ-3 מ"מ. ממועד זה התפתחו הבדלים בין הטיפולים. בטיפול המים המותפלים מנת המים היומית הלכה ופחתה בקצב איטי עד לרמה של 2 מ"מ ליום בתחילת פברואר. באותו פרק זמן הייתה עליה קלה ברמות המוליכות החשמלית של תמיסת המשאבים. בטיפולים B ו-A הייתה מגמה דומה אך מנות המים היומיות ירדו עד לכ-1 מ"מ. בתקופה זו ניתנו בין השקיה לשתיים ביום. רמות המוליכות החשמלית עלו מאוד בטיפול B ובעומק 10 ס"מ סמוך לטפטפת הערכים הגיעו עד לרמה של 7 דצ"ס/מטר (איור 6). בטיפול A רמת המוליכות החשמלית באותה תקופה הגיעה לערך של כ-2 דצ"ס/מטר. בטיפול C, ערך הסף להפעלת ההשקיה השתנה באופן שהיה אמור ליצור התאמה טובה בין כמות המים היומית והירידה בצריכה הנובעת מהתקצרות היום וההתקררות. החל מאמצע דצמבר מנת המים היומית הלכה ופחתה עד לרמה של 0.8 מ"מ ביום בתאריך 09/01/12. רמות המוליכות החשמלית במרחק 10 ס"מ

מהטפטפת בעומקים 5 ו-10 ס"מ עלו בקצב מהיר יותר מאשר בטיפול A והגיעו לרמה של 5.5 דצ"סומטר בעומק 5 ס"מ ולרמה של 3.3 דצ"סומטר בעומק 10 ס"מ. ממועד זה החלה עליה במנת המים היומית, שהגיעה לרמה של 2 מ"מ בתחילת פברואר בהמשך העונה המנה היומית המשיכה לעלות בדומה לשאר הטיפולים. עם העלייה במנות המים מסוף ינואר החלו רמות המוליכות החשמלית בכל העומקים לרדת עד לרמה של תחילת העונה באמצע מרץ. רמת המוליכות החשמלית של תמיסת הקרקע, אשר נדגמה באמצעות המשאבים, משקפת באופן ברור את איכות מי ההשקיה (איור 6). בתחילת העונה עם מתן מנות מים גבוהות ביחס לצריכת הצמחים שטיפת המלחים יעילה. רמת המוליכות החשמלית סמוך לטפטפת עד לעומק 30 ס"מ דומה מאוד למי השקיה בטיפול המים המותפלים ובטיפול המים המעורבבים. בטיפול המים המליחים רמת המוליכות החשמלית גבוהה בכ-0.7 דצ"סומטר מעל מי ההשקיה. במרחק 10 ס"מ מהטפטפת לאורך השלוחה רמת המוליכות החשמלית בכל העומקים עולה ובמיוחד בעומק 5 ס"מ. הקטנת מנת המים היומית בתקופת החורף הביאה לעליה גבוהה ברמת המוליכות החשמלית בכל העומקים בטיפול המים המליחים. בטיפול המים המעורבבים נרשמה עליה מתונה ובטיפול המים המותפלים הייתה עליה קלה. בשלוש איכויות המים נמצאה עליה משמעותית בערכי המוליכות החשמלית עם התארכות היום ההתחממות והעליה במנות המים היומיות מאמצע חודש מרץ. רק כאשר מנות המים היומיות הגיעו לרמה של כ-8 מ"מ הייתה התייצבות ברמת המוליכות החשמלית במקור המים המלוחים ומגמת ירידה בטיפולי המים המעורבבים והמותפלים.

תרומת השיפור באיכות המים באה לידי ביטוי באופן בו מנוצלים מים מהשכבה העמוקה. באיור 9 מוצגים ערכי קריאות הטנסיומטרים לקראת סיום ההשקיה ומספר ימים לאחר שנסגרו המים בתאריך 02/05/2012. בטיפול B שהושקה במים מליחים, נוצלו המים מהר מאוד בשכבה העליונה ואילו בשכבה העמוקה תהליך הפחיתת בכמות המים היה איטי. בטיפול A שהושקה במים מעורבבים נצרכו המים מהשכבה העליונה מהר מאוד ויומיים מאוחר יותר החלה התייבשות מהירה בשכבה העמוקה. בטיפול E שהושקה במים מותפלים, יום לאחר סגירת המים הייתה צריכה מאוד גבוהה של מים בשני העומקים. בעת תקלת השקיה שארעה בתאריך 26/04/2012 בטיפול E (איור 9) נצרכו המים במהירות רבה באופן דומה משני העומקים. לאחר שלשה ימים חזרה ההשקיה לסדרה רמת המתחים בשכבה העליונה מיד חזרה לרמתה הרגילה אך בשכבה העמוקה נדרשו 3 ימי השקיה להחזרת רמת הערכים לרמה הרגילה. מהתנהגות זו ברור כי אופן ניצול המים משכבות עמוקות או מאזורים המרוחקים מהטפטפת מושפע מאוד מאיכות מי ההשקיה. ככל שמליחות המים תהיה נמוכה יותר כך תעמוד לרשות הצמח כמות מים גדולה יותר בנפח קרקע עמוק ורחב.

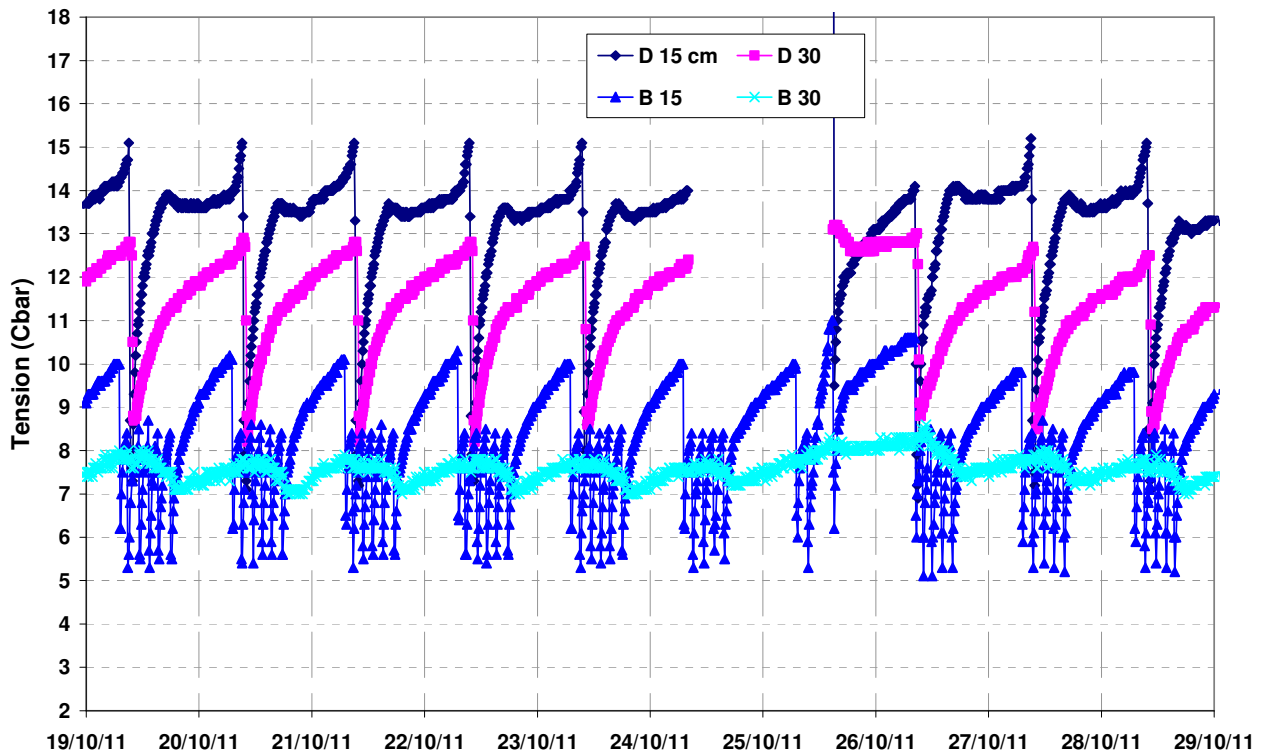
השפעת גודל מנת ההשקיה על תדירות ההשקיה מומחשת בטיפול D. בתחילת העונה ניתנה השקיה אחת מדי יום במנה של כ-6 מ"מ ליום. החל מאמצע נובמבר החלו מנות ההשקיה לקטון, בעקבות הגדלת מרווח הימים בין ההשקיות, עד לרמה של כ-2 מ"מ ליום בינואר. מסוף ינואר שבו ועלו מנות ההשקיה עם צמצום מרווח הימים בין ההשקיות. בערכי המוליכות החשמלית של תמיסות המשאבים הייתה תנודתיות במשך העונה. באמצע אוקטובר התקבלו רמות המוליכות החשמלית הגבוהות ביותר סמוך לטפטפת, כאשר בעומק 5 ס"מ הערכים הגבוהים ביותר (כ-6 דצ"סומטר) והם הלכו וירדו עם העומק. מסוף דצמבר התנודתיות קטנה ורמת המוליכות החשמלית הייתה דומה בשכבות העמוקות בתחום של 0.5 דצ"סומטר מעל מי ההשקיה. מעניין לציין שבתקופה זו מנות ההשקיה היומיות היו הנמוכות ביותר. ככל הנראה מתן מנת השקיה גדולה מדי יומיים שלושה מביאה לשיטה יעילה של בית השורשים סמוך לטפטפת. באותה תקופה ירדו רמות המוליכות החשמלית גם בעמדות המשאבים במרחק 10 ס"מ מהטפטפת. בעומק 5 ס"מ הערכים היו כ-1 דצ"סומטר מעל מי ההשקיה. מתחילת חודש מרץ החלה עליה בערכי המוליכות החשמלית בארבעת העומקים. העלייה המשמעותית ביותר נמצאה בעומק 15 ס"מ סמוך

לטפטפת. תהליך דומה התרחש בטיפול זהה בעונת 2009/10 (קרמר וחוב', 2010) ובעונת 2010/11 (קרמר וחוב', 2011).

ריכוז יסודות בעלה מייצג: בעקבות התופעה של התייבשות עלים בשוליהם ובתוך הטרף בטיפולי המים המליחים והמעורבבים (תמונה 1,2) בוצעו בדיקות עלים שהעלו כי בצמחים הסובלים רמת האשלגן נמוכה באופן משמעותי לעומת צמחים בריאים מחלקות שכנות (טבלה 1, 2). בתקופה שקדמה להופעת ההתייבשויות ובמהלכה, רמות החנקן בטיפולי המים המליחים והמעורבבים היו נמוכות במי ההשקיה (20-30 מ"ג/ליטר) וקרוב לאפס בתמיסות המשאבים (איור 6). זו תקופה בה הצמחים לאחר חנטה והפירות המתפתחים מהווים מבלע משמעותי של יסודות ההזנה. קצבי הקליטה של האשלגן גם הם גבוהים בשלב התפתחות זה. בתקופה הנדונה ריכוז האשלגן במי ההשקיה של טיפול המים המליחים והמעורבבים היה בתחום 25-30 מ"ג/ליטר. באותה תקופה בטיפול המים המותפלים ריכוז האשלגן היה בתחום 35-45 מ"ג/ליטר וריכוז החנקן במי ההשקיה היה כ-70 מ"ג/ליטר ובתמיסות המשאב כ-40 מ"ג/ליטר. בטיפול זה לא ניצפו תופעות של התייבשות עלים. ריכוז האשלגן בעלים היה 2.4% שהוא נמוך בכ-1% ביחס לצמחי הביקורת בחממה סמוכה. בניסוי שנערך בעונת 2010/11 (קרמר וחוב', 2011) ובו נתגלתה תופעה דומה בחלק מהטיפולים, בטיפול בו נימצא ריכוז של כ-2.45% אשלגן לא זוהתה התופעה. ככל הנראה ריכוז של כ-2.5% אשלגן בעלה מיצג הוא הריכוז המזערי המאפשר התפתחות תקינה של הצמחים. יתכן וחומרת המחסור קשורה גם לריכוזי החנקן הנמוכים במי ההשקיה, אשר גררו הידלדלות חריפה של החנקן בבית השורשים. בעונת 2010/11 הוסף חנקן בלבד למי ההשקיה ולאחר התחלת הקטיפים החלה התאוששות של הצמחים (תמונה 2) והחלו להתפתח עלים בריאים ללא התייבשויות. בתקופה זו כבר מרבית הפירות הגיעו לגודל סופי וקצב קליטת יסודות ההזנה דעך, עובדה שאפשרה ריענון מהיר של האשלגן בתמיסת הקרקע מתוך המאגר הספוח.

תגובת היבול ומרכיביו לאיכות המים: המים המותפלים תרמו לקבלת היבול הגבוה ביותר 8.4 טון/דונם שניבדל באופן מובהק משאר הטיפולים (איור 10). בקטיף השלישי (09/01/12) היה יתרון לטיפולי המים המעורבבים 2.6 טון/דונם לעומת 1.6 טון/דונם בשאר הטיפולים. יתרון ברור למים המותפלים החל להסתמן מהקטיף השביעי בתאריך 24/02/12 והוא נישמר עד סיום העונה. טיפול A של מים מעורבבים הניב יבול כללי של 6.8 טון/דונם הגבוה באופן מובהק מטיפולי המים המליחים. טיפול מים מעורבבים C, אשר מנות ההשקיה בו בחורף צומצמו, הניב יבול כללי של 6 טון/דונם. שני טיפולי המים המליחים הניבו יבול של 5.2 טון/דונם בטיפול ההשקיה התכופה ו-4.9 טון/דונם בטיפול ההשקיה במנה גדולה. ככל שאיכות המים הייתה טובה יותר ובבית השורשים הצטברו פחות מלחים כך קצב ייצור הפירות היה יציב יותר גם בחודשים פברואר ומרץ בהם הייתה האטה משמעותית בטיפולי המים המליחים. כמדד מיצג להשפעת איכות המים ניבחר יבול הפירות הגדולים ששוקלים יותר מ-250 גרם (איור 11). טיפולי המים המליחים וטיפול C הניבו יבול פרי גדול ברמה של כ-0.6 טון/דונם בעוד טיפול המים המותפלים וטיפול A הניבו יבול בתחום של 1.75 טון/דונם.

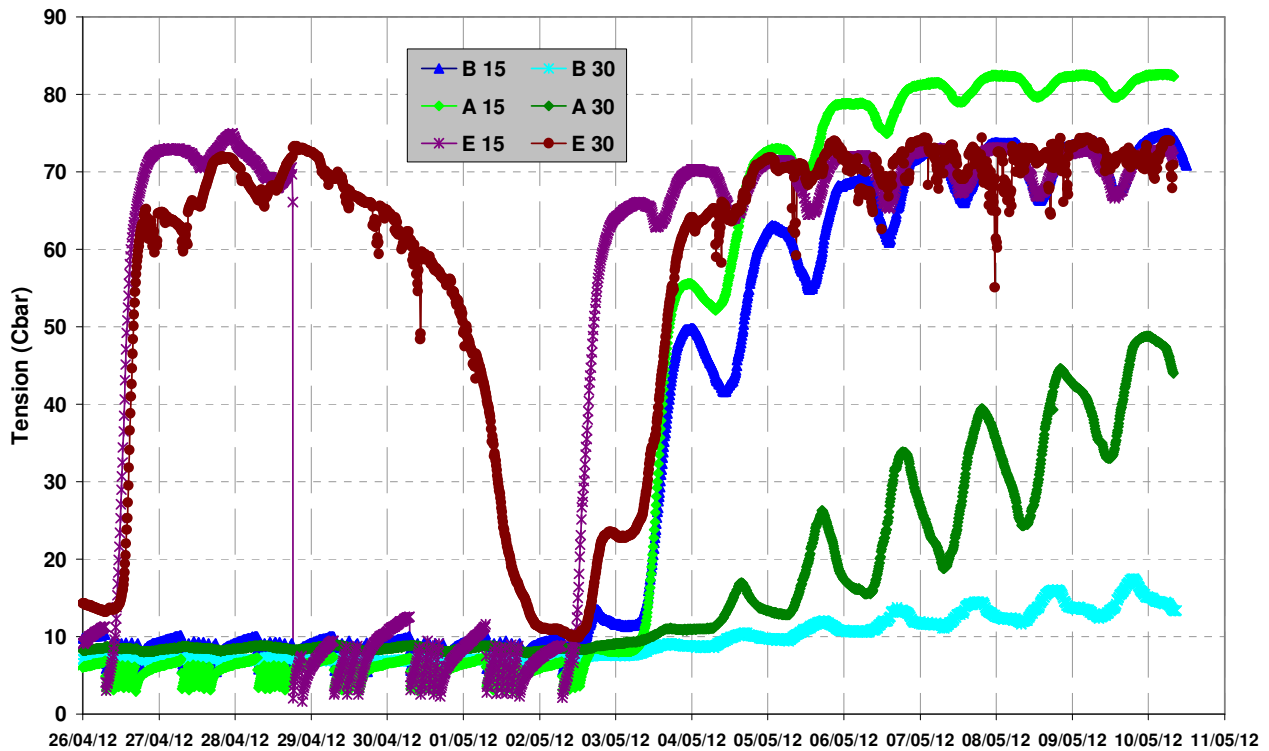
כמות המים הנדרשת לייצור 1 ק"ג יבול פרי יכולה לשמש כמדד להערכת יעילות השימוש במים בטיפולים השונים. בטבלה 4 מוצגות כמויות המים אשר נדרשו לייצור פרי טרי בכל אחד מהטיפולים. בעת השקיה במים



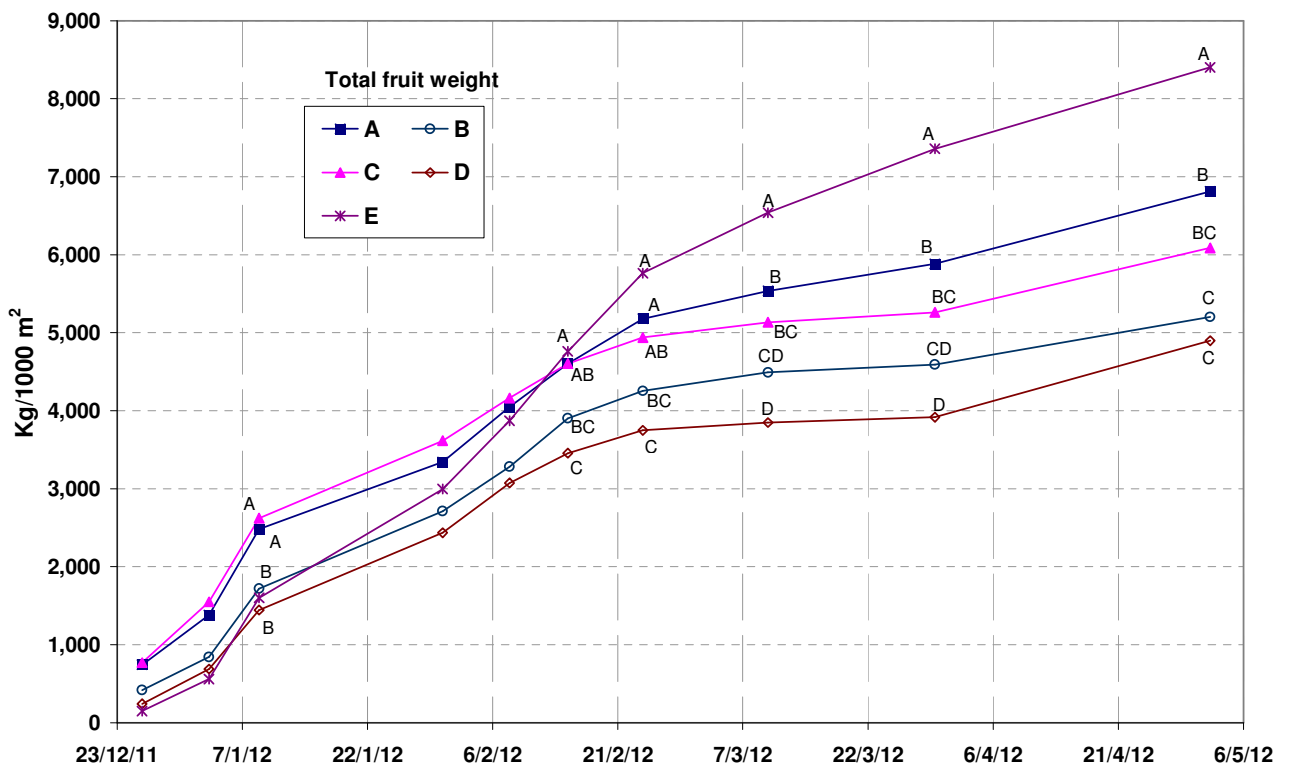
איור 8. קריאות טנסיומטרים בשני עומקים בטיפולים המושקים במים מליחים. טיפול B המושקה במנה של 1 מ"מ ואילו טיפול D מושקה כ-6 מ"מ בכל השקיה.

טבלה 4. מדד יעילות השימוש המים של טיפולי ההשקיה ואיכות המים בעונת גידול 2011/12

טיפול	סוג מים	EC דצ"ס/מטר	מדד יעילות שימוש במים ליטר/ק"ג פרי טרי
A	מעורבבים	1.3	129
B	מליחים	3.4	189
C	מעורבבים	1.3	139
D	מליחים	3.4	252
E	מותפלים	0.9	112



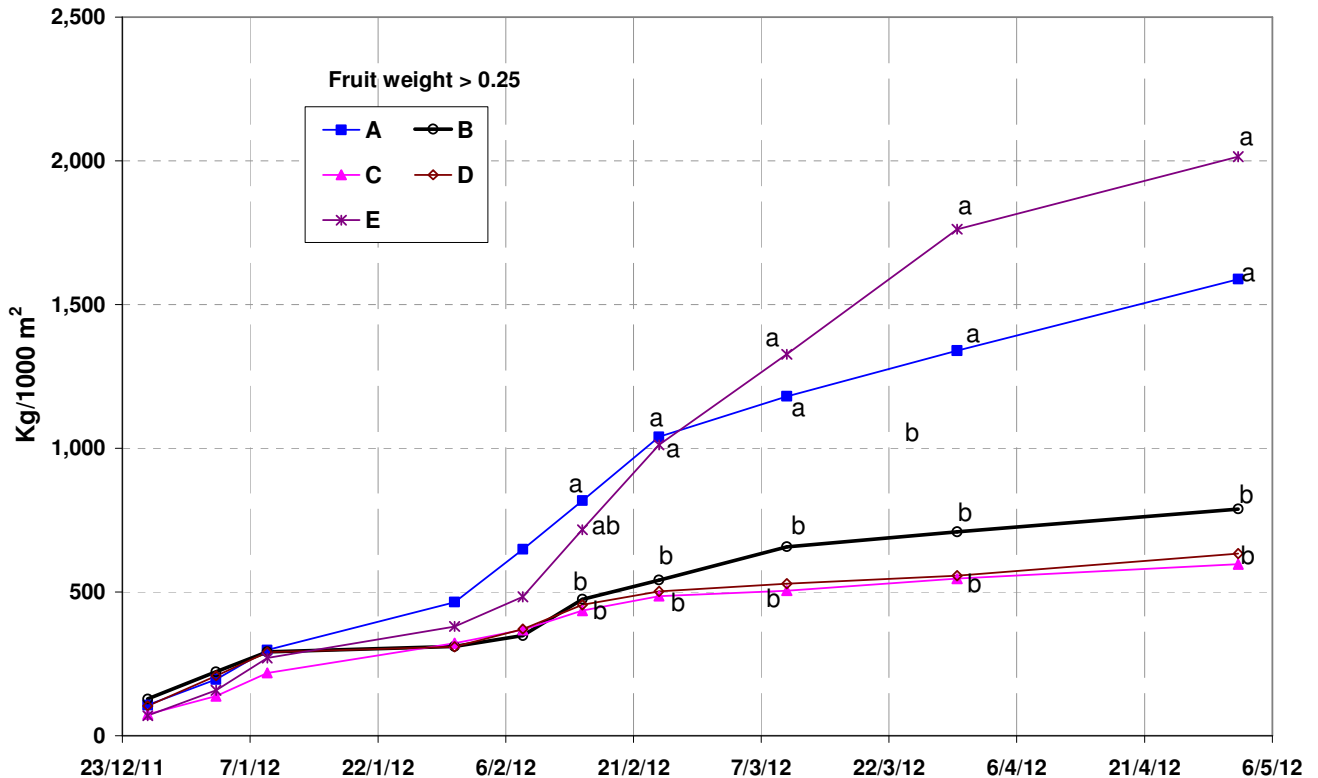
איור 9. ערכי קריאות הטנסיומטרים בשני עומקים בטיפולים A, B, E לקראת סיום הניסוי והפסקת ההשקיה ובמשך עשרה ימים לאחר הפסקתה.



איור 10. הצטברות היבול הכללי בטיפולי הניסוי מתחילת הקטיפים בתאריך 26/12/11. אותיות שונות מציינות הבדל מובהק בין טיפולים ברמה של 0.05 במבחן תחום טוקי קרמר.

מותפלים נדרשו 112 ליטר ליצור 1 ק"ג פרי, במים המעורבבים נדרשו 129 ליטר ובמים המליחים נדרשו 189 ליטר. נתונים אלו ממחישים את התועלת הגלומה בשיפור איכות המים להשקיית גידולים.

בתקופת יצור הפירות קצבי קליטת יסודות ההזנה גבוהים מאוד בהשוואה לתחילת הגידול. מחסורים של יסודות חיוניים בשלב זה ישפיעו באופן חריף על פוטנציאל היבול. בגידול פלפל חשוב להבטיח לפחות ריכוז של 70 גרם חנקן ומ"ק וריכוז של 40 גרם אשלגן ומ"ק עם תחילת החנטה על מנת לשמור על קצב גידול נאות.



איור 11. מהלך הצטברות יבול הפירות השוקלים יותר מ-250 גרם בטיפולים השונים. נקודות המלוות באותיות שונות מציינות הבדל מובהק בין טיפולים ברמה של 0.05 במבחן תחום טוקי קרמר.

מסקנות

השימוש בטנסיומטרים מאפשר לנהל את ההשקיה באופן יעיל יותר הודות להתאמת גודל מנות המים היומיות ותדירות ההשקיה בהתאם לצריכת הצמחים המשתנה במהלך העונה. ככל שמליחות המים גבוהה יותר כך עולה חשיבות הניטור השוטף של מצב המליחות בבית השורשים על מנת להוסיף מים לצורך שטיפת מלחים בתקופת החורף. למרות הירידה בצריכת המים של הצמחים בתקופת החורף יש צורך במתן מנות מים גבוהות (כ-4 מ"מ) בכדי לשמור על נפח בית שורשים שטוף ממלחים. ממשק ההשקיה היעיל ביותר הוא חלוקת כמות המים היומית למנות של 1 מ"מ, אשר יינתנו מדי שעה וחצי לכל היותר בשעות האור. בתקופת החורף המנה המצטברת צריכה להיות לפחות 3 מ"מ. איכות מי ההשקיה השפיעה באופן ברור במהלך העונה על קצב הגידול של הצמחים ועל יבול הפירות הכללי. ככל שמליחות המים נמוכה יותר יעמוד לרשות הצמחים נפח בית שורשים פעיל גדול יותר ובהתאם ייצור הנוף והיבול יהיו גבוהים יותר.

מתן מנת השקיה אחת גדולה במנה של כ-6 מ"מ פעם ביום או פעם ביומיים שלושה בחורף, תרמה לשטיפת מלחים יעילה ולשינויים קלים ברמת המוליכות החשמלית בתמיסות המשאבים. התפתחות הגידול הייתה דומה לטיפול שהושקה מספר פעמים ביום. ממשק זה אפשרי בדרך כלל בקרקעות בהן יש 80% חול או פחות. שיפור באיכות המים על ידי התפלתם תורם להתפתחות טובה יותר של הצמחים והנבת יבול גבוה יותר באותה כמות מים קרי יעילות שימוש במים משופרת. את הצורך בהוספת קשת יסודות ההזנה למים המותפלים אפשר להחליף על ידי מהילה עם מים מליחים עד לרמת מליחות של כ-1.5 דצ"ס/מטר.

תודות

לקרן שה"מ לניסויים על מימון תוכנית המחקר מספר 12-6199-870.

ספרות

קרמר ש,, קניג א', זר י' 2007. לימוד ייעול ההשקיה על ידי ניהולה באמצעות חיווי מחיישני לחות קרקע בגידול פלפל ליצוא במבנים בערבה. סיכום עונת מחקר 2006/7. מו"פ ערבה תיכונה וצפונית.

קרמר ש', קניג א', זר י' 2008. ניהול ההשקיה על פי חיווי מטנסיומטר – בחינת משמעות ערך הפעלת ההשקיה על כמות המים העונתית והיבול בגידול פלפל בערבה. סיכום עונת מחקר 2007/8. מו"פ ערבה תיכונה וצפונית.

קרמר ש', קניג א', בן-גל א', אופנבך ר', מדואל ע' 2010. בחינת שילובים של תדירות השקיה ומנת מים לייעול ממשק ההשקיה במים מליחים בגידול פלפל דו"ח התקדמות 2009/10. סיכום עונת מחקר 2009/10. מו"פ ערבה תיכונה וצפונית.

קרמר ש', בן-גל א', אופנבך ר', מדואל ע' 2011. בחינת שילובים של תדירות השקיה ומנת מים לייעול ממשק ההשקיה במים מליחים בגידול פלפל דו"ח מסכם 2009/11. סיכום עונת מחקר 2010/11. מו"פ ערבה תיכונה וצפונית.

Optimizing combined water quality and irrigation frequency for peppers in the Arava Valley

Shlomo Kramer, Field service, Extension service, Negev region, Ministry of Agriculture and Rural development. Gilat Center 85820. Email: Shlomo@arava.co.il

Alon Bengal, Ph.D, Environmental Physics and Irrigation, Gilat Research Center, Agricultural Research Organization, Mobile Post Negev 2 85280 Israel bengal@agri.gov.il

Naftali Lazarovitch, Ph.D, Wyler Department of Dryland Agriculture, French Associates Institute for Agriculture and Biotechnology of Drylands, Jacob Blaustein Institutes for Desert Research, Ben-Gurion University of the Negev, Sede Boqer campus, 84990, Israel lazarovi@bgu.ac.il

Keywords: Vegetable in greenhouse, pepper irrigation, water conservation, saline water, water quality.