



דו"ח מסכם 2025

תכנית 92-03-0005



מו"פ דרום / דו"ח סופי מסכם

- מספר מחקר: 92-03-0005

- שם התכנית: התאמת ממשק הדישון למשטרי ההשקיה של פלפל קיץ באזור הבשור

- חוקרת ראשית: טלי אילני

- חוקרים שותפים: שקד כוכבא, שה"מ; דיוד סילברמן, שה"מ; ניר ברהולץ, שה"מ; מולי זקס, שה"מ; משה ברונר, מו"פ דרום

- סטטוס התכנית: הסתיימה

- מועד התחלה וסיום התכנית: אפריל 2025 – דצמבר 2025

תקציר

המחקר בחן את התאמת ממשק הדישון למשטרי ההשקיה של פלפל קיץ באזור הבשור. מטרת המחקר הייתה לקבוע את צריכת החנקן של הפלפל בבית רשת ולבחון את משטר הדישון המתאים למשטרי ההשקיה שונים, כדי לגבש המלצות מדויקות לחקלאים. המחקר כלל שני מרכיבים: (1) מדידת צריכת מים וחנקן באמצעות ליזימטרים עודפים, המאפשרים חישוב מדויק של האופוטורנספירציה ומאזני החנקן; (2) ניסוי שדה בקרקע, שבו נבחנו שילובי דישון (50%, 100%, 200% מהמינון המישיקי המקובל) ותדירויות השקיה (פעם או פעמיים ביום). במהלך העונה נמדדו צריכת מים, ריכוזי ניטרט ו-EC במי ההשקיה ובתמיסת הקרקע, ריכוזי יסודות בפטוטורות, התפתחות הצמחים, מספר החנטים ויבול איכותי ולא איכותי. התוצאות הראו כי צריכת המים של הפלפל עלתה עד כ-115 ימים לאחר שתילה, בדומה לניסויים קודמים. טיפול 200% דשן הוביל לעלייה משמעותית ב-EC, ניטרט, זרחן ואשלגן, כולל הדחה לשכבות עמוקות - עדות לעודף דשן ולסיכון סביבתי. טיפול 50% דשן הראה ירידה בריכוזי הניטרט והאשלגן בשלבים המאוחרים, מה שמעיד על אפשרות למחסור הזנתי. ריכוז הניטרט בפטוטורות היה גבוה במיוחד בטיפול 200% ונמוך במיוחד בטיפול 50% בשלבים המאוחרים. מבחינת יבול, הליזימטרים הניבו יבול גבוה אך גם אחוז גבוה של פירות לא איכותיים (בעיקר שחור פיטם). טיפול 50% דשן הניב יבול איכותי גבוה יותר בשלבי הקטיפה המאוחרים לעומת טיפול 200%. המסקנה המרכזית היא שניתן להפחית את מינון הדשן מהמקובל ללא פגיעה ביבול ואף עם שיפור באיכות, בתנאי שתדירות ההשקיה היא לפחות פעמיים ביום. יחד עם זאת, בשל אי-ודאות לגבי הופעת מחלות קרקע, מומלץ להתחיל את העונה במינון גבוה יותר ולהפחיתו בשלבים המאוחרים.

רקע קצר ותיאור הבעיה

באזור הנגב מגדלים כ-3000 דונם פלפל בבתי צמיחה, בקרקע חולית (85-90% חול). לכמויות המים והדשן, בהם משתמש החקלאים להשקיית החלקות, יש השפעה ניכרת על הצלחת הגידול מבחינת איכות וכמות היבול ומבחינת עלות התשומות. השקיה עודפת גורמת לבזבז משאבים (מים ודשן) וזיהום הקרקע ומי התהום

בעודפי דשן. לעומת זאת, השקיה בחסר עלולה לגרום לתופעת שחור פיטם בפרי ולפגיעה משמעותית בכמות ואיכות היבול המתקבלת. בשני המקרים נפגעת יעילות תהליך הייצור ורווחיותו.

המלצות ההשקיה והדישון הקיימות כיום פותחו לפני מספר שנים ומאז חלו מספר שינויים בגידול הפלפל באזור. אחד השינויים העיקריים הוא מעבר לטפטפות בעלות ספיקה נמוכה יותר (ירידה מטפטוף של 1.6 ליטר לשעה לטפטוף של 0.6 ליטר בשעה) בצפיפות גבוהה יותר על מנת ליצור פס הרטבה לאורך כל שורת הצמחים. השינוי הזה מוביל לשינוי בשטף המים מהקרקע ובקרקע ומשפיע על התפתחות צמחי הפלפל (Agele, 2007). בעבר קצב הטפטוף היה מהיר וחלק גדול מהמים שניתנו במנה אחת התנקז ולא נוצל על ידי הצמח. בנוסף, במהלך היום נוצר הפרש גדול בין תכולת הרטיבות באזור הקרוב לשורש לבין תכולת הרטיבות הממוצעת בחתך. ירידה קטנה בתכולת הרטיבות גורמת לירידה בסדרי גודל במוליכות ההידראולית של קרקעות ומכאן, לירידה בקצב הקליטה של מים ויסודות הזנה על ידי הצמח. קצב תנועת המסה והדיפוזיה של יונים נמוך בד"כ מקצב הקליטה על ידי מערכת השורשים ולכן ריכוז היונים בקרבת השורש הוא נמוך בהרבה מהריכוז הממוצע בתמיסת המצע (Jungk, 1996). תכולת הרטיבות והמוליכות ההידראולית הנגזרת ממנה בקרבת השורש היא מהגורמים החשובים ביותר הקובעים את קצב ההולכה של יונים אל השורש. אסולין וחובריו (2004) בחנו האם בהשקיה מתמשכת לאורך מרבית שעות הפוטוסינטזה מאפשרת התאמה טובה יותר בין קצב אספקת המים והדשן לקצב הצריכה של הצמח. הם מצאו כי הקטנת ספיקת הטפטפות והגדלת תדירות ההשקיה משפרת את קליטת המים ויסודות ההזנה ע"י הצמח. העלייה בתדירות ההשקיה מובילה לירידה ב-pH כנראה בגלל הריכוז הגבוה של אמון בקרקע כתוצאה מרציפות ההוספה. הריכוז הגבוה של האמון גורם להגדלת קצב קליטתו על ידי הצמח ולהגברת קצב שחרור פרוטונים על ידי השורשים ולירידה ב-pH. שליטה ב-pH של תמיסת הקרקע יכולה להשפיע על התפתחות הגידול ועל יעילות קליטת יסודות ההזנה ומכאן חשיבותה.

בעקבות מספר ניסויים שהראו שיפור בגידול עם הגדלת תדירות ההשקיה חקלאים רבים עברו להשקיה בתדירות גבוהה יותר במשך היום בקרקעות החוליות אך לא להשקיה רציפה מפאת קושי ביישום בשטחים גדולים. בשנים האחרונות אנו עורכים ניסוי הבוחן את צריכת המים של פלפל המגודל בבית רשת בקיץ ובהתאם בוחנים את משטר ההשקיה המתאים לקבלת יבול מקסימלי ואיכותי. לפי המלצות אלו נדייק את כמות המים הניתנת בהשקיה ואת תדירות ההשקיה. כבר בשלבי הניסוי הראשונים ראינו כי בהשקיה בתדירות גבוהה (2-4 פעמים ביום) בספיקה נמוכה מאוד (0.6 ליטר לשעה) המים נשארים ב-20 ס"מ העליונים של הקרקע וכבר בעומק 40 ס"מ אנו רואים ירידה משמעותית בפוטנציאל המים. גם אסולין וחובריו (2004) מצאו כי הדשיה (השקיה +דישון) בתדירות גבוהה יוצרת מערכת שורשים רדודה יותר. מערכת שורשים רדודה מידי יכולה להוביל לחוסר יציבות של הצמח. ישנה חשיבות ליחס שורש/נוף כאשר הצימוח אינו מאוזן ומערכת השורשים רדודה מאוד זה יכול לגרום לחוסר יציבות של הצמח ולרגישותו למחסור רגעי במים (תקלות במערכות ההשקיה הן לא דבר נדיר). לדישון חנקני יכולה להיות השפעה חיובית בשמירה על יחס שורש/נוף

רצוי (Leskovar et al., 1989). שינוי משטר ההשקיה מחייב בחינה של משטר דישון מתאים. חשיבות רבה במיוחד ישנה לדישון החנקני – כיום המלצות הדישון לוקחות בחשבון שטיפה של חלק מהחנקן מתחת אל בית השורשים. השקיה שמובילה לפחות הדחה של החנקן אל מתחת לבית השורשים מחייבת התאמת הדישון על מנת להימנע מדישון עודף בחנקן ויתרה מכך – על מנת להפחית את השימוש בדשן חנקני שמחירו עולה.

שיטה מקובלת לאמוד את צריכת המים האמיתית של צמחים הינה ליזימטרים. ליזימטר עודפים הוא ליזימטר שבו משקים את הפלפל הגדל במארז בעודף ומודדים את כמות המים שיוצאת כנקז. ההפרש בין כמות המים שניתנה בהשקיה לכמות המים שיצאה בנקז היא צריכת המים של הגידול. השתמשנו בשיטה זו על מנת להעריך את צריכת המים של הפלפל. בניסוי ההמשך אנו רוצים להשתמש בכלי זה על מנת לקבוע את צריכת החנקן המדויקת של צמחי פלפל על ידי איסוף הנקז וניטור ריכוז החנקן בו. הנתונים הנאספים בליזימטר ישמשו כבסיס לניסוי שדה בתנאים קבועים לאורך מספר שנים של שילובי דישון והשקיה על מנת לפתח המלצות אופטימליות לחקלאי.

מטרות המחקר

המטרה העיקרית של המחקר היא להתאים ממשק דישון לממשק ההשקיה שנמצא כמומלץ ביותר בניסויים שנערכו בשנים האחרונות במופ דרום עבור פלפל קיץ בבית רשת באזור הבשור. על מנת לבנות את משטר ההדשיה עלינו לעמוד במספר יעדי המשנה:

1. הערכת צריכת החנקן של פלפל קיץ בבית רשת.

ידועה צריכת החנקן של פלפל בגידול בערבה אולם צריכת החנקן של הפלפל בבשור לאורך העונה כולה כאשר קצב הגידול שלו ועצמת הגידול שונים בעקבות תנאי מזג האוויר השונים ביחס לערבה לא נמדדה עד היום. הערכת צריכת החנקן בעזרת ליזימטר עודפים בשלבים השונים לאורך העונה יכולה לעזור לנו לדייק את הדישון החנקני של הגידול.

2. בחינת התאמת משטר הדישון למשטר ההשקיה

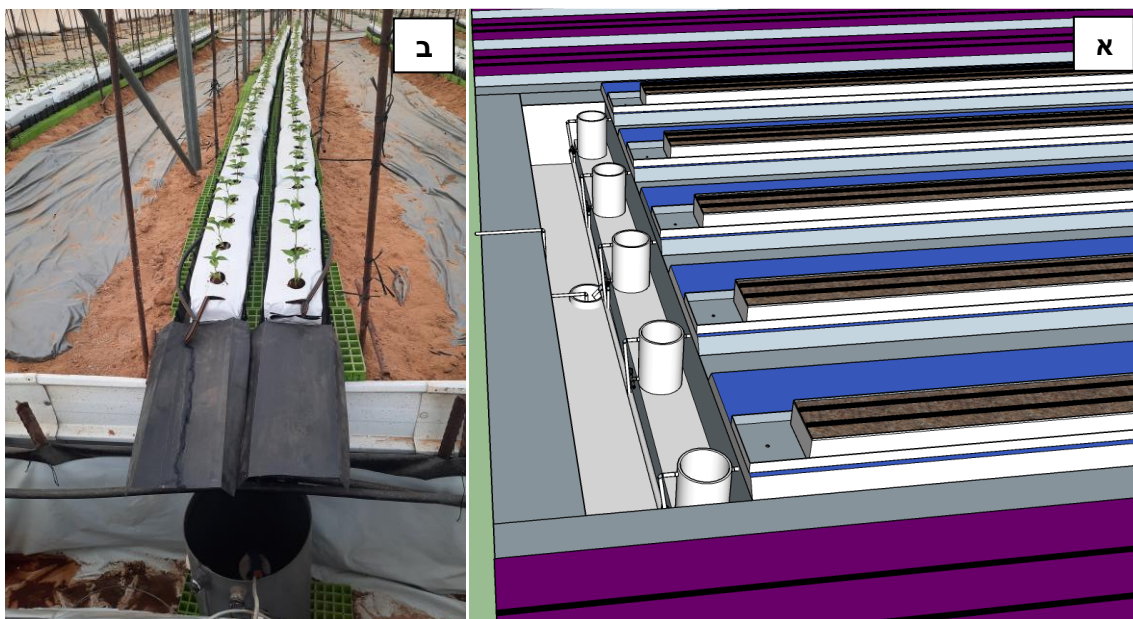
בחינה של משטר הדישון בשני משטרי השקיה שונים בגידול בקרקע בבית רשת יכול לעזור לנו לפתח המלצות הדשיה מתאימות יותר לחקלאים. בחינה של כמויות הדשן בהתאם למשטר ההשקיה יכול לשפוך אור על הדרך לחבר בין ההשקיה לדישון. לפעמים חקלאים מוגבלים במשטר ההשקיה אותו הם יכולים ליישם מסיבות שונות (כמו ספיקת המערכת) ולכן הבנה של משטר הדישון בהתאם לממשק ההשקיה חשובה על מנת לאפשר לחקלאי לדייק את הדישון גם תחת מגבלות

מהלך המחקר ושיטות עבודה

בשנת 2024 נשתלה העונה הראשונה של הניסוי במתכונת זהה לזו המתוארת בעונה זו. בעונת 2024 השטח הותקף על ידי נמטודות ולכן הצמחים לא התפתחו בצורה תקינה. מסיבה זו תוצאות עונה זו אינן מוצגות בדוח זה אלא רק התוצאות של עונת 2025.

מעקב אחרי צריכת החנקן וצריכת המים של הפלפל בעזרת ליזימטרים

בבית רשת 50 מש נבנו ליזימטרים עודפים למדידת נתוני צריכת המים של הצמחים. שניים עשר זוגות של מארזי גידול (growbags) עם קוקוס בגודל 18X15X100 ס"מ כל אחד הוצבו על גבי מגביה (בצורת תבנית ביצים המאפשרת מעבר מים ללא הפרעה) בתוך מרזב ("מעטפת") באורך 12 מטרים. עודפי המים היוצאים מהמארזים מתנקזים אל מיכלי איסוף (איור 1).



איור 1. א. תיאור סכמטי של המארזים ובור איסוף הנקז. ב. צילום של אחד הליזימטרים.

מערכת זו מאפשרת הפעלת ממשק השקיה בעודף ("מערכת סלחנית") עקב יכולת הניקוז הגבוהה שלה, מבלי לגרום לבעיות של עודפי מים בבית השורשים. מדידה עקבית של כמויות המים להשקיה וכמויות המים בנקז, מאפשרים קבלת מאזני מים מדויקים ואמינים ברמה עונתית, יומית ואף במהלך היום. בנוסף, מדידה עקבית של ריכוז החנקן במי ההשקיה ובנקז מאפשר קבלת מאזני חנקן. ההשקיה היא בטיפטוף: שלוחה אחת לכל מארז, טפטפות בספיקה של 0.65 ל"ש במרווח 15 ס"מ. המארזים הושקו בהשקיית יתר בכדי שכמות הנקז תהייה לפחות 20%-40% מההשקיה. כמות הנקז שנאגר במיכל האחסון נאספה ונמדדה בכל פעם לפני ההשקיה הבאה. דוגמא מהנקז נאספה פעם בשבוע ונמדד בה ה-EC וריכוז הניטרט. צריכת המים של הפלפל, האופוטרנספירציה, חושבה ככמות המים שניתנה בהשקיה פחות כמות המים בנקז. צריכת המים המחושבת מתוך הליזימטרים משמשת כבסיס להשקיית הפלפל בקרקע באותו בית רשת.

בחינת התאמת משטר הדישון למשטר ההשקיה

ב-13.5.25 נשתל בבית רשת פלפל מזן רלמפגו במארזים ובקרקע בעומד זהה. קרקע טין-חרסית חולית. צמחי הפלפל נשתלו בשתי שורות במרחק של 30 ס"מ בין הצמחים בשורה. הדליה ספרדית. בין החודשים יוני לסוף אוגוסט – הונחה רשת צל על המבנה. בחודש הראשון כל הטיפולים קיבלו דישון זהה בקרקע (דשן שפר 6-6-6) לאחר כחודש הוחלף הדשן לשפר 7-1-7 (60% ניטרט מכלל החנקן) וכמה ימים לאחר מכן החלו טיפולי הדישון וההשקיה כפי שמפורט בטבלה 1. כל טיפול בוצע בארבע חזרות (ארבע חלקות מפוזרות באקראי בשטח). במארזים ניתן לאורך כל העונה דשן מור 4-2.5-6. כמה ימים לאחר תחילת הניסוי חלה תקלה במשאבת הדשן והחלקות של שני טיפולים (טיפול 1X200% וטיפול 1X50%, טיפולים 3 ו-5 בהתאמה) קיבלו כמות גבוהה מידי של דשן כך שהשתילים בחלקות אלו נשרפו והטיפולים הורדו מהניסוי.

טבלה 1. הטיפולים בניסוי בשנת 2025.

טיפול	דשן	תדירות השקיה (מספר פעמים ביום)	דישון
1	שפר פלוס 7-1-7	1.0	מישקי
2	שפר פלוס 7-1-7	2.0	מישקי
3	שפר פלוס 7-1-7	1.0	מישקי + 100%
4	שפר פלוס 7-1-7	2.0	מישקי + 100%
5	שפר פלוס 7-1-7	1.0	מישקי – 50%
6	שפר פלוס 7-1-7	2.0	מישקי – 50%
ליזימטר	מור 4-2.5-6	5.0	מישקי

טבלה 2. פירוט הדישון המישקי שניתן בניסוי לפי המלצות שה"מ.

ימים לאחר שתילה	שלב וגטטיבי	(גרם לקוב) N
0-30	צימוח	50
30-45	תחילת חנטה	150
45-50	צבירת חנטים	150
50-125	סיום חנטה	100
125-סיום	קטיף	100

מעקב אחרי כמות ואיכות היבול. בכל קטיף נמדדה כמות ואיכות היבול. כאשר היבול מויין ליבול איכותי, פירות מעוותים, פירות עם שחור פיטם, נזקי חום וסוג ב'.

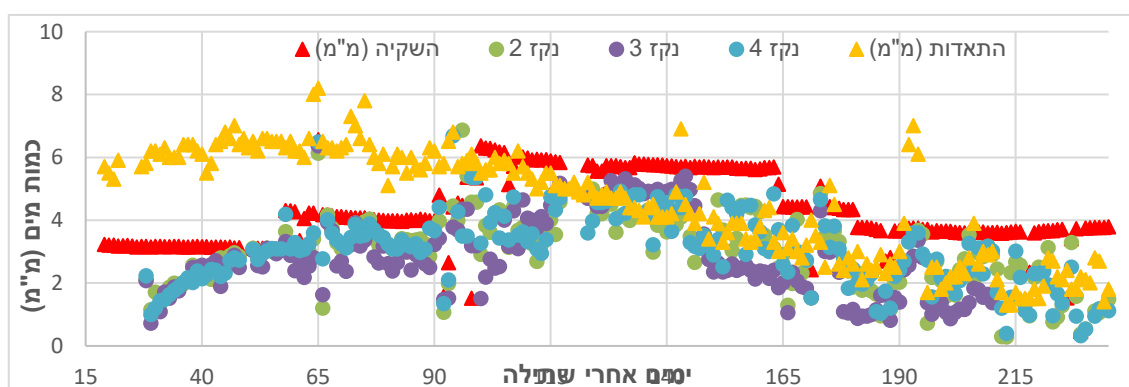
מעקב אחר מצב יסודות ההזנה בקרקע. בשטח הוצבו משאבים ונלקחו דוגמאות אחת לשבוע לאנליזת EC וריכוז ניטרט בעזרת מכשירי Horiba. בתחילת העונה נלקחו דוגמאות קרקע מעומק 20 ס"מ ו-40 ס"מ ונשלחו לבחינת EC, ריכוז חנקן, זרחן ואשלגן.

מעקב אחר התפתחות צמחי הפלפל. גובה הצמחים ומספר חנטים ב-6 צמחים מכל חזרה וכן ריכוז ניטרט ואשלגן בפטוטורות העלים נמדדו אחת לשבועיים החל מ-20 ימים לאחר שתילה ועד 170 ימים לאחר שתילה.

מבחן סטטיסטי. הנתונים עברו מבחן ANOVA לבדיקת השונות בין הטיפולים. הניתוח הסטטיסטי לשונות נערך בחבילת תוכנת JMP 7.0 בשיטת Tukey-Kramer HSD, אותיות שונות בין הטיפולים מציינות הבדל סטטיסטי מובהק ברמת מובהקות של 0.05.

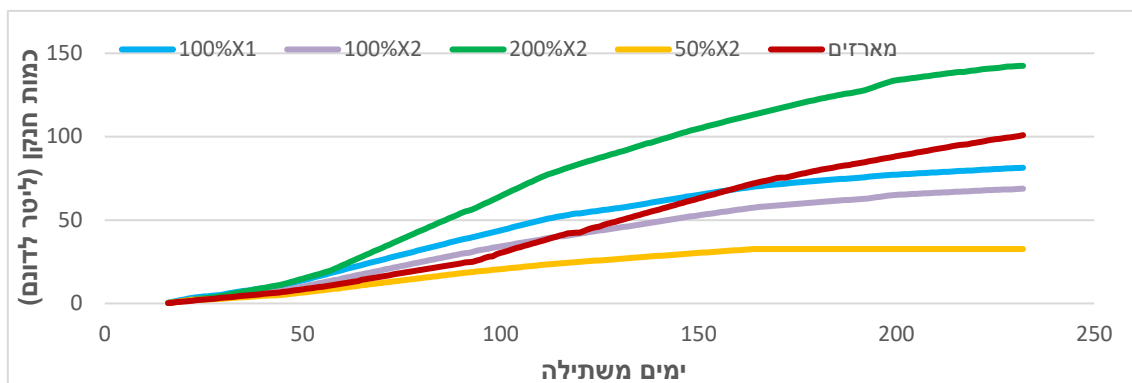
תוצאות

נתוני צריכת המים שנמדדו בליזימטרים וכמות המים הכוללת שניתנה באותו יום בהשקיה מוצגים באיור 2. בליזימטרים 1 ו-5 לא היה איסוף עיקבי של מי הנקז לאורך העונה ולכן הורדנו אותם ממעקב הנקז. בליזימטרים 2,3,4 הניקוז נאסף כמתוכנן. בכל המערכות התפתחות הצמחים היתה תקינה. הנתונים שהתקבלו השנה דומים לאלו שהתקבלו במהלך ניסוי ההשקיה 2020-2022 שנערך במבנה אחר. רואים עליה בצריכת המים עם התפתחות הצמחים עד ל-115 ימים לאחר שתילה. מזמן זה (סוף אוגוסט-תחילת ספטמבר) החלה ירידה בהתאדות מחוץ למבנה. בזמן זה הורדה רשת הצל ולכן לא רואים שינוי בצריכה של הפלפל. החל מחודש אוקטובר צריכת המים של הצמח היתה דומה להתאדות שנמדדה מחוץ למבנה. כמות המים שניתנה בהשקיה היתה בתגובה להשתנות בצריכה.



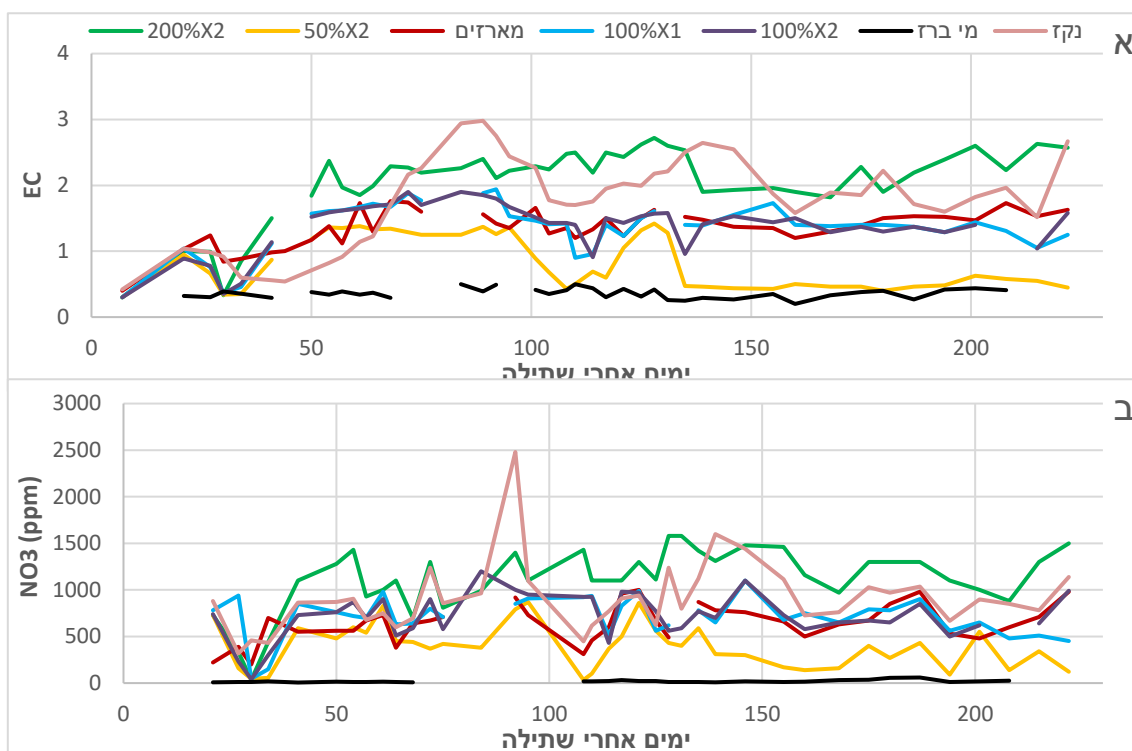
איור 2. נתוני צריכת המים היומית שנמדדו בליזימטרים, ההתאדות המחושבת לפי פנמן (מחוץ למבנה) וכמות המים הכוללת שניתנה באותו יום בהשקיה.

כמות החנקן שניתנה בדשן (ליטר לדונם) מתוארת באיור 3. ניתן לראות כי בשני טיפולי ההשקיה בהן ניתן 100% דשן כמות החנקן שניתנה היתה דומה. כמות החנקן שניתנה בטיפול 50% עמדה בפועל על כ-45% מהכמות בטיפול 100% ובטיפול 200% הכמות עמדה על כ-190%. במארזים ניתנו השקיה בעודף של כ-30% ומאחר שהדישון ניתן באופן פרופוציונלי כמות הדשן עמדה על כ-130%.



איור 3. כמות החנקן שניתנה בדשן (ליטר לדונם) במהלך הניסוי בכל טיפול.

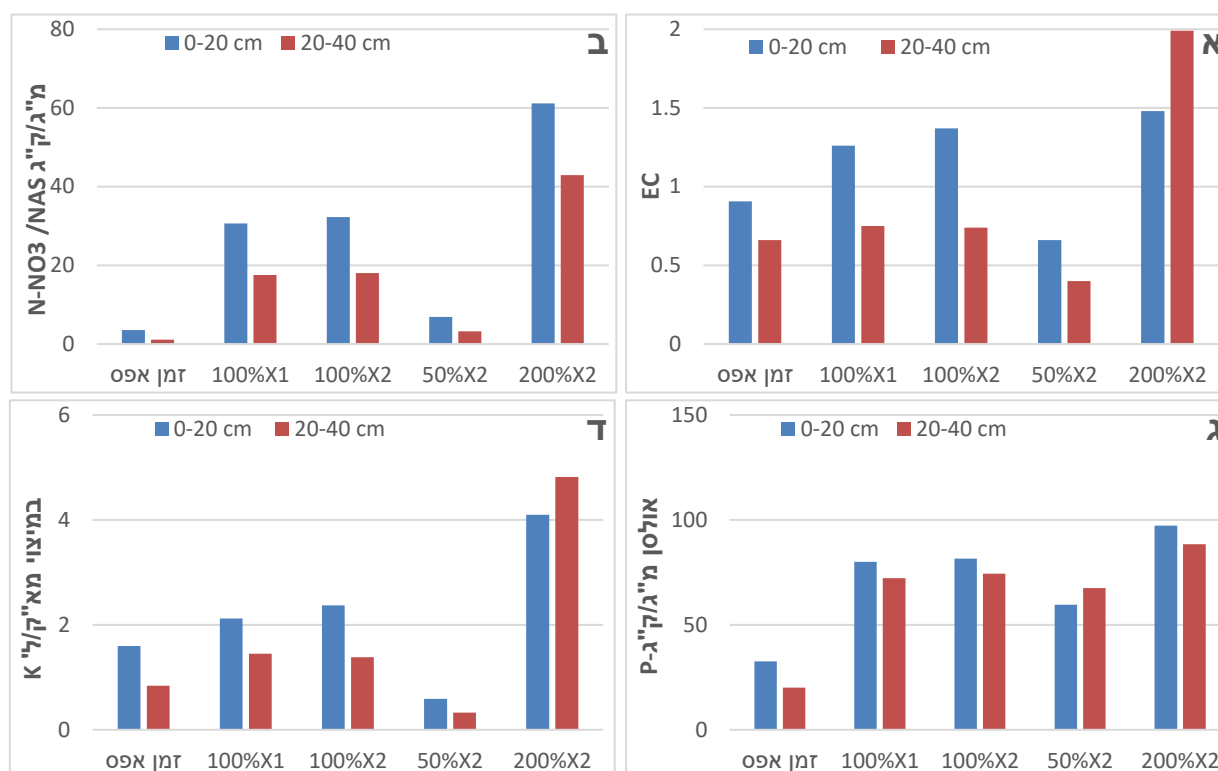
המוליכות החשמלית וריכוז הניטרט של מי הטפטפת (מי ההשקיה כולל הדשן) נמדדו עבור ארבעת הטיפולים, הליזימטרים, מי הנקז של הליזימטרים ומי הברז לפני הוספת הדשן (איור 4). הערכים היו גבוהים ביותר בטיפול 150% והנמוכים ביותר עבור טיפול 50%, כמתוכנן. בין שני טיפולי ההשקיה שקיבלו 100% דשן וטיפול הליזימטרים לא היו הבדלים משמעותיים. ערכי ה-EC היו גבוהים יותר בנקז לעומת מי הטפטפת. ריכוז הניטרט היה דומה לאורך רב העונה.



איור 4. א. המוליכות החשמלית במי הטפטפת בטיפולים השונים, בנקז של הליזימטרים ובמי הברז. ב. ריכוז הניטרט במי הטפטפת בטיפולים השונים, בנקז של הליזימטרים ובמי הברז.

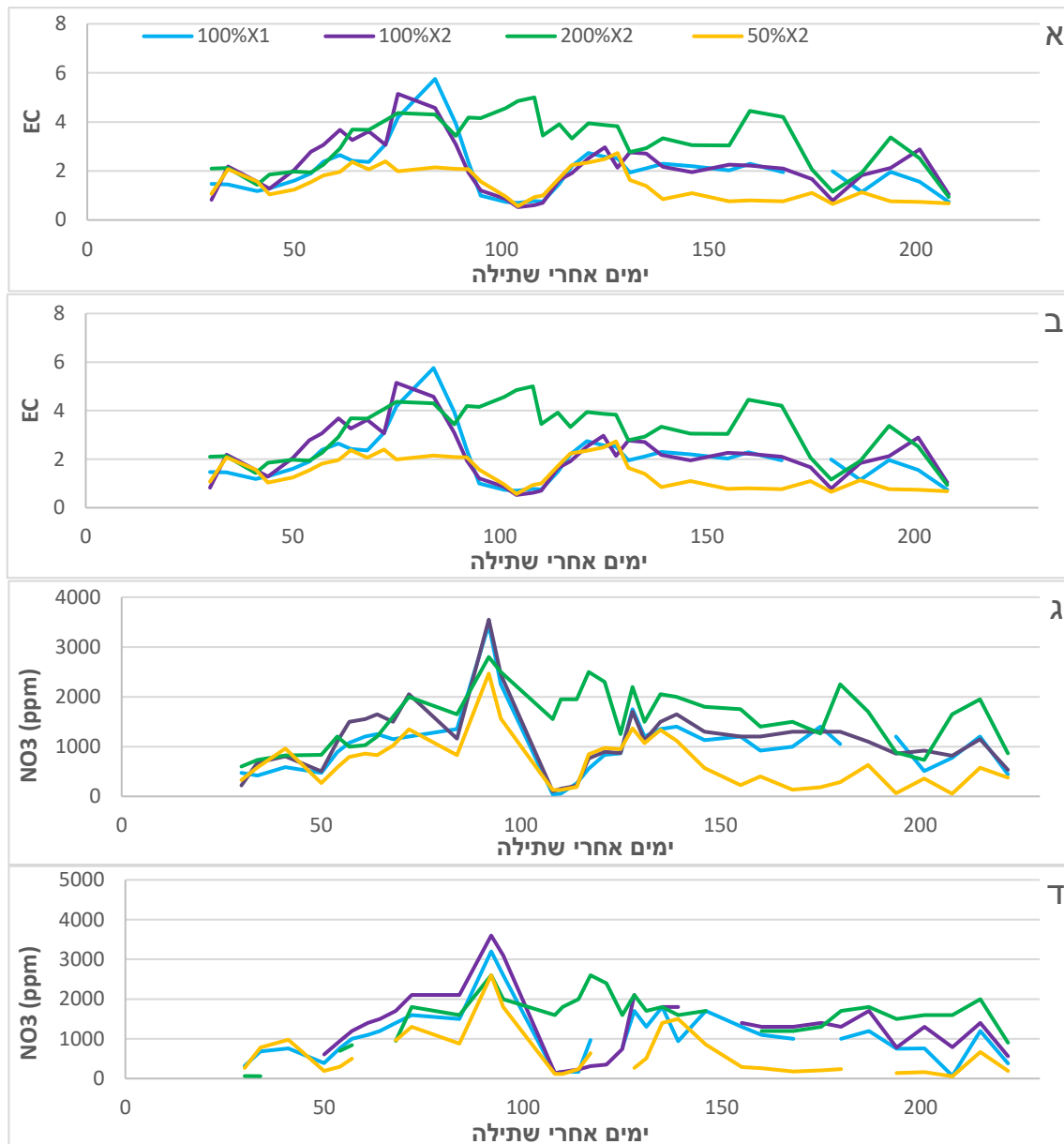
תוצאות בדיקת הקרקע בתחילת וסוף הניסוי מוצגות באיור 5. בכל הפרמטרים שנבדקו פרט לריכוז הזרחן חלה ירידה בטיפול 50% לעומת זמן אפס. בשני טיפולי 100% לא היה הבדל משמעותי בערכים בניהם ובכל

הפרמטרים פרט לריכוז האשלגן חלה עליה לעומת זמן אפס. בטיפול 200% חלה עליה משמעותית בכל הפרמטרים לעומת זמן אפס והם היו גבוהים יותר גם מהטיפולים האחרים. בטיפול זה המוליכות החשמלית וריכוז האשלגן אף עלה בעומק 20-40 ס"מ מעבר לערכים בעומק 0-20 ס"מ.



איור 5. תוצאות בדיקת הקרקע מעומק 0-20 ס"מ שבוצעו בתחילת וסיום העונה בטיפולים השונים. א. מוליכות חשמלית; ב. ריכוז ניטרט; ג. ריכוז זרחן אולסן; ד. ריכוז אשלגן. התוצאות המוצגות הן של מספר דוגמאות מכל טיפול שעורבבו ונשלחו לאנליזה כדוגמא אחת.

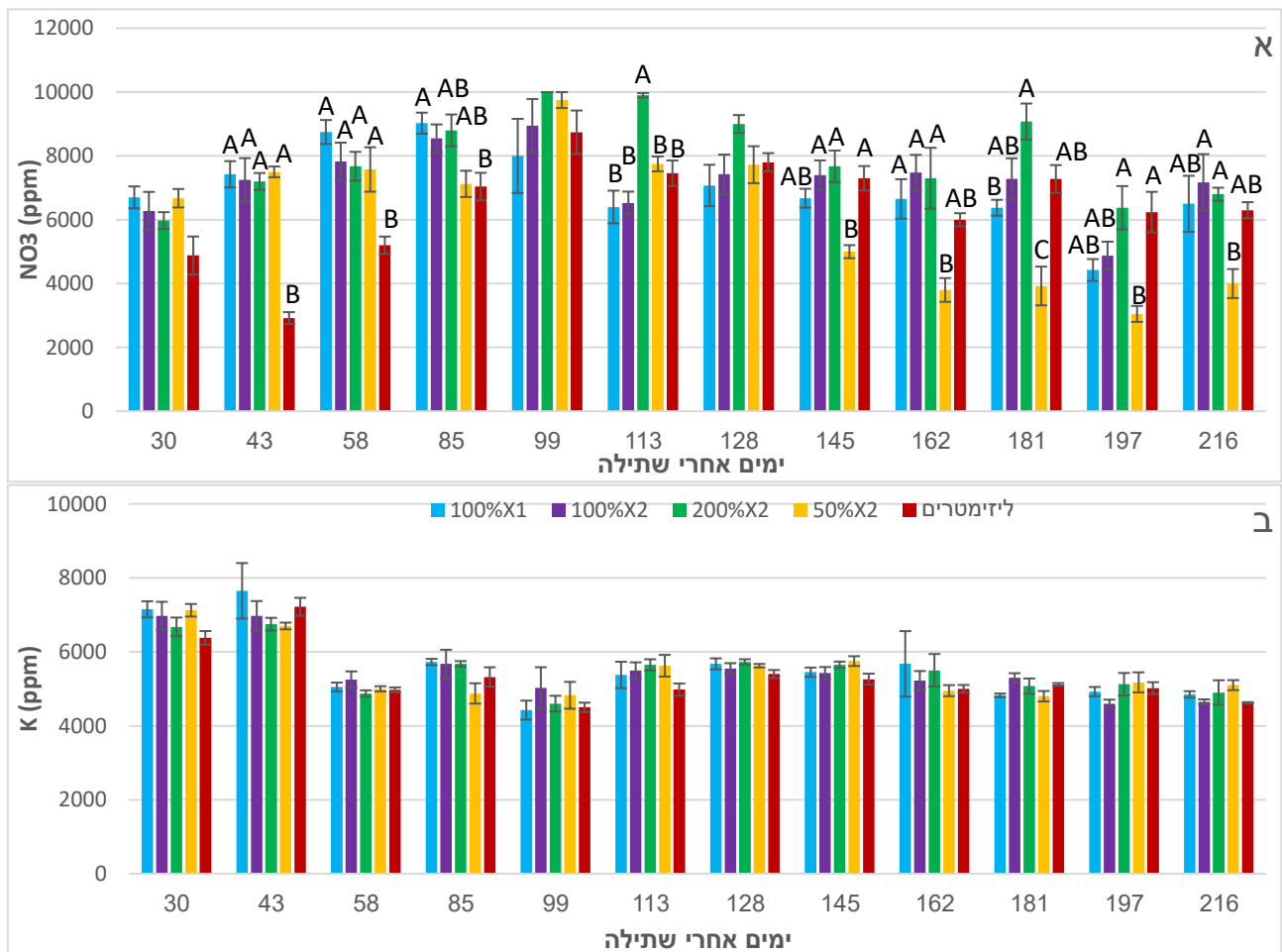
במי המשאב שנלקחו בתמיסת הקרקע אפשר לראות מגמה עבור ה-EC וריכוזי הניטרט בשני העומקים (איור 6) – החל מ-90 ימים לאחר שתילה הערכים היו גבוהים יותר עבור הטיפולים שדושנו במנה השווה ל-200% דשן. בין 60 ל-90 ימים לאחר שתילה הערכים בטיפול שדושן ב-50% ממנת הדשן היו מעט נמוכים יותר. לאחר מכן, עד 130 ימים לאחר שתילה הערכים היו זהים לאלו של טיפולי 100% דשן ואז שוב נמוכים יותר ברב הדיגומים עד לסוף העונה. בשני הטיפולים שדושנו ב-100% ממנת הדשן אם הושקו פעם ביום או פעמיים ביום לא נמצאו הערכים בתמיסת הקרקע היו זהים במהלך כל העונה.



איור 6. המוליכות החשמלית (א,ב) וריכוז הניטרט (ג,ד) שנמדדו במשאבים בעומק 15 ס"מ (א,ג) ובעומק 30 ס"מ (ב,ד) במהלך העונה.

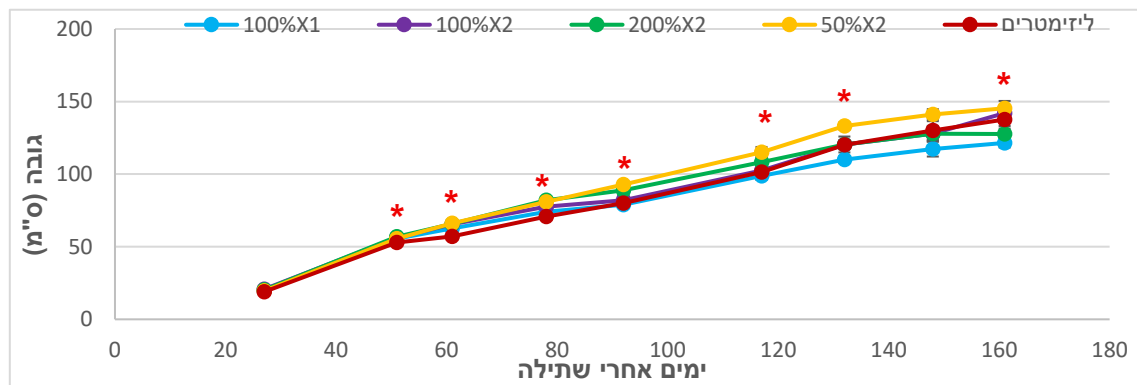
ריכוז הניטרט בפטוטורות עלה בין 30 ימים אחרי שתילה ל-99 ימים אחרי שתילה ולאחר מכן החל לרדת בכל הטיפולים (איור 7א). 43 ימים אחרי שתילה ריכוז החנקן בפטוטורות העלים של הצמחים בליזימטרים היה נמוך משמעותית משאר הטיפולים ורק 99 ימים אחרי שתילה הגיע לריכוז זהה עם שאר הטיפולים. 113 ימים אחרי שתילה ריכוז החנקן בטיפול שקיבל 200% מכמות הדשן ריכוז הניטרט בפטוטורות נשאר גבוה בעוד בשאר הטיפולים כבר החל לרדת כך שהיה גבוה משמעותית משאר הטיפולים. החל מ-145 ימים אחרי שתילה ריכוז הניטרט בפטוטורות העלים של הצמחים שקיבלו 50% מכמות הדשן היתה נמוכה משמעותית משאר

הטיפולים ונשארה נמוכה יותר עד סוף העונה. ריכוז האשלגן בפטוטורות העלים היה דומה בכל הטיפולים כאשר בכולם הוא היה גבוה ב-43 הימים הראשונים ולאחר מכן ירד לאזור ה-5000 ח"מ ונשאר כך עד לסוף העונה (איור 7ב).



איור 7. א. ריכוז הניטרט (ח"מ) בפטוטורות העלים; ב. ריכוז האשלגן (ח"מ) בפטוטורות העלים. התוצאות מוצגות כממוצעים ± שגיאת תקן. הבדלים מובהקים (0.05) על פי מבחן שוניות All pairs, Tukey-Kramer HSD שנמצאו בין הטיפולים השונים בכל דיגום באים לידי ביטוי באותיות שונות.

גובה הצמחים (איור 8, טבלה 3) בליזימטרים היה נמוך משאר הטיפולים עד 117 ימים אחרי שתילה אבל לאחר מכן השיג את שאר הצמחים. בטיפול 100% דשן בהשקיה אחת ביום החל מ-78 ימים אחרי שתילה הצמחים היו נמוכים יותר מרב הטיפולים. בשאר הטיפולים לא היה הבדל משמעותי בגובה הצמחים.

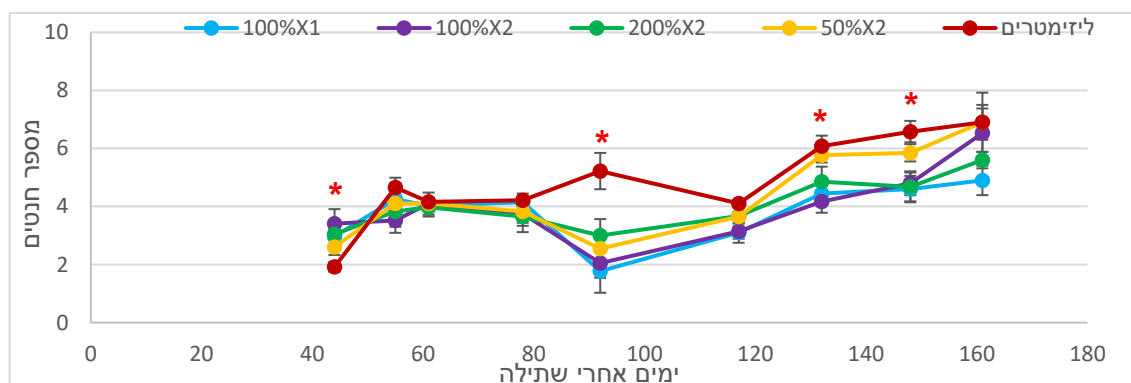


איור 8. גובה הצמחים במהלך העונה בטיפולים השונים. התוצאות מוצגות כממוצעים $\pm$ שגיאת תקן. זמנים בהם נמצאו הבדלים מובהקים בין הטיפולים מסומנים בכוכבית אדומה. המבחן הסטטיסטי לשוניות בין הטיפולים השונים במועדים אלו מוצג בטבלה 3.

טבלה 3. תוצאות המבחן הסטטיסטי עבור גובה הצמחים במהלך העונה. הבדלים מובהקים על פי מבחן שוניות All pairs, Tukey-Kramer HSD שומרים בין הטיפולים השונים מוצגים באותיות שונות עבור כל דיגום.

גובה צמחים							
ימים לאחר שתילה							
161	132	117	92	78	61	51	טיפול
A	A	A	A	A	A	AB	50% X 2
B	B	B	B	BC	A	AB	100% X 1
AB	AB	AB	AB	AB	A	AB	100% X 2
AB	AB	AB	AB	A	A	A	200% X 2
AB	AB	B	B	C	B	B	ליזימטרים

מספר החנטים לצמח (איור 9, טבלה 4) היה נמוך ביותר בליזימטרים במדידה הראשונה, 44 ימים אחרי שתילה. לאחר מכן המצב התהפך ומספר החנטים בליזימטרים היה מהגבוהים. בטיפולים שקיבלו 100% דשן מספר החנטים היה הנמוך ביותר 92 ו-132 ימים אחרי שתילה ובטיפול 100% דשן שהושקה פעם ביום אף נשאר הנמוך ביותר גם 148 ימים אחרי שתילה. במהלך העונה היו מדידות בהן מספר החנטים היה דומה בכל הטיפולים.

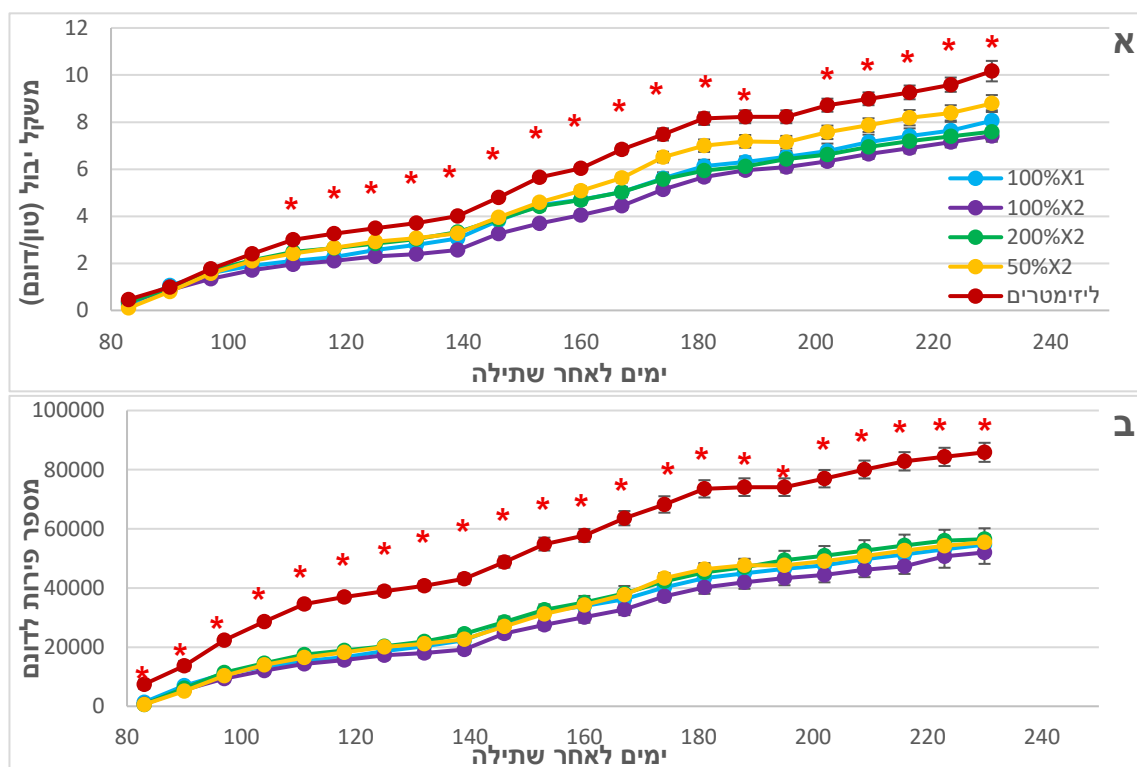


איור 9. מספר החנטים לצמח במהלך העונה בטיפולים השונים. התוצאות מוצגות כממוצעים $\pm$ שגיאת תקן. זמנים בהם נמצאו הבדלים מובהקים בין הטיפולים מסומנים בכוכבית אדומה. המבחן הסטטיסטי לשוניות בין הטיפולים השונים במועדים אלו מוצג בטבלה 4.

טבלה 4. תוצאות המבחן הסטטיסטי עבור גובה הצמחים במהלך העונה. הבדלים מובהקים על פי מבחן שוניות All pairs, Tukey-Kramer HSD שנמצאו בין הטיפולים השונים מוצגים באותיות שונות עבור כל דיגום.

מספר חנטים חדשים				טיפול
ימים לאחר שתילה				
148	132	92	44	
AB	AB	AB	AB	50% X 2
B	B	B	AB	100% X 1
AB	B	B	A	100% X 2
AB	AB	AB	AB	200% X 2
A	A	A	B	ליזימטרים

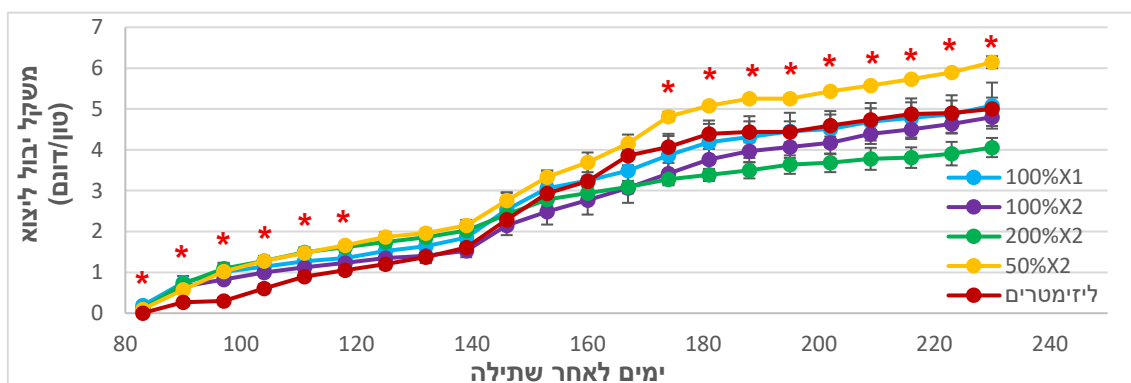
במשקל היבול הכולל (איור 10א) התחילו להופיע הבדלים בין הטיפולים רק בקטיף בחמישי כאשר היבול בליזימטרים היה גבוה משמעותית מהיבול בטיפולים שקיבלו 100% ו-150% מהדשן. בקטיף שבוצע 195 ימים לאחר שתילה לא נמצאו הבדלים משמעותיים ביבול של כל הטיפולים. מספר סך כל הפירות (איור 10ב) היה גבוהה משמעותית בליזימטרים לעומת הקרקע במהלך כל הקטיפים.



איור 10. סך כל היבול המצטבר במהלך הניסוי. א. משקל היבול (טון/דונם), ב. מספר הפירות לדונם. התוצאות מוצגות כממוצעים $\pm$ שגיאת תקן. זמנים בהם נמצאו הבדלים מובהקים בין הטיפולים על פי מבחן שוניות All pairs, Tukey-Kramer HSD מסומנים בכוכבית אדומה.

כאשר מסתכלים על משקל היבול האיכותי ליצוא המצטבר (איור 11, טבלה 5) התמונה מעט שונה. בששת הקטיפים הראשונים היבול בליזימטרים היה הנמוך ביותר. בקטיפים השביעי עד השלוש עשר לא היו הבדלים בין הטיפולים השונים. בשני בקטיפים הבאים היבול עבור הטיפולים שקיבלו 200% דשן ו-100% דשן בשתי

השקיות ביום היו נמוכים משמעותית מהיבול בטיפול שקיבל 50% דשן. בשבעת הקטיפים האחרונים וסך כל היבול בטיפול 50% היה גבוה משמעותית מהיבול בטיפול 200%.

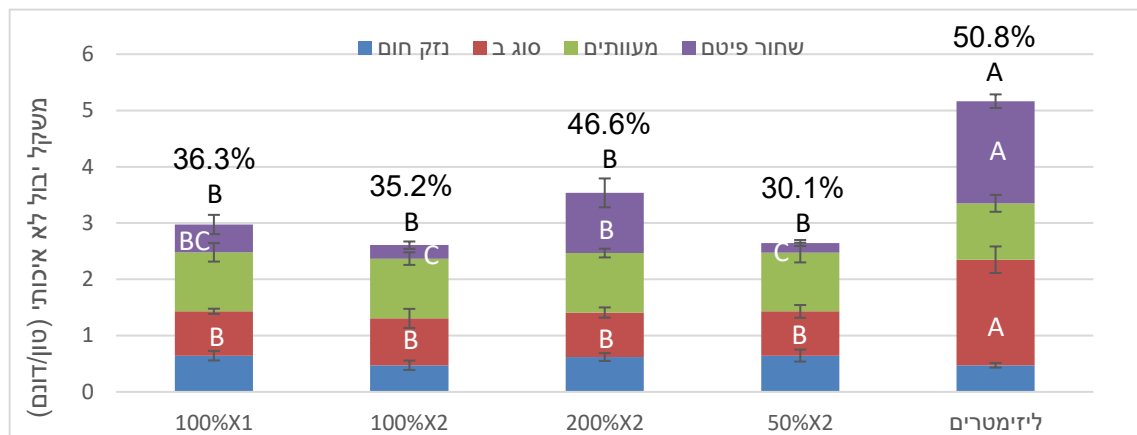


איור 11. משקל מצטבר של יבול איכותי ליצוא (טון/דונם). התוצאות מוצגות כממוצעים $\pm$ שגיאת תקן. זמנים בהם נמצאו הבדלים מובהקים בין הטיפולים מסומנים בכוכבית אדומה. המבחן הסטטיסטי לשוניות בין הטיפולים השונים במועדים אלו מוצג בטבלה 5.

טבלה 5. תוצאות המבחן הסטטיסטי עבור יבול הפירות האיכותיים ליצוא בקטיפים השונים במהלך העונה. הבדלים מובהקים על פי מבחן שוניות All pairs, Tukey-Kramer HSD שנמצאו בין הטיפולים השונים מוצגים באותיות שונות עבור כל קטיפי.

משקל יבול ליצוא					
טיפול					
ליזימטרים	200%X2	100%X1	100%X2	50%X2	ימים לאחר שתילה
B	AB	A	AB	AB	83
B	A	A	AB	AB	90
B	A	A	A	A	97
B	A	A	AB	A	104
B	A	AB	AB	A	111
B	AB	AB	AB	A	118
A	A	A	A	A	125, 132, 139, 146, 153, 160, 167
AB	B	AB	B	A	174, 181
AB	B	AB	AB	A	188, 195, 202, 209, 216, 223, 230

משקל היבול הלא איכותי מוצג באיור 12. כמות היבול הלא איכותי הגבוהה ביותר התקבלה בליזימטרים והיא היוותה כ-50% מסך היבול בטיפול זה. כאשר בעיות של שחור פיטם ונזקים קלים שונים בנראות הפרי היו הגורמים העיקריים לירידה באיכות הפרי בטיפול זה. בטיפול שבו ניתנה מנת דשן של 200% גם אחוז ניכר מהיבול (כ-47%) היה לא איכותי בעיקר עקב בעיות של שחור פיטם.



איור 12. נשקל היבול הלא איכותי הכולל בתום העונה בכל טיפול. סגול – יבול עם שחור פיטם, ירוק – פירות מעוותים, אדום – פירות עם נזקים קלים (סוג ב'), כחול – פירות עם סימפטומים של נזק חום הנתונים מוצגים כממוצעים $\pm$ שגיאת תקן. הבדלים מובהקים (0.05) על פי מבחן שוניות All pairs, Tukey-Kramer HSD (0.05) שנמצאו בין הטיפולים בכל קטגוריה השונים באים לידי ביטוי באותיות שונות בלבן ובסך הכל היבול בשחור. מעל כל עמודה מופיע אחוז היבול הלא איכותי מתוך כלל היבול באותו טיפול.

דיון

המלצות ההשקיה שנבנו במחקר שנערך בשנים 2019-2022 (ברונר וחובריו, 2022) כללו הנחיות למקדמי השקיה מדויקים יותר לאזור. שינוי זה בממשק ההשקיה שינה את דינמיקת הרטיבות בקרקע ואת זמינות יסודות ההזנה לשורש, ועל כן מחייב המלצות דישון מעודכנות. הניסוי בוצע תוך שימוש בשיטת ליזימטרים עודפים למדידת צריכת מים וחנקן, לצד ניסוי שדה הבוחן שילובים של מינון דשן (50%, 100%, 200% ממנת הדישון המישיק) ותדירות השקיה (פעם או פעמיים ביום).

צריכת המים. צריכת המים בניסוי השנה הראתה מגמה דומה לזו שנצפתה בניסוי בשנים 2019-2022, עלייה הדרגתית בצריכת המים עד לכ-115 ימים לאחר שתילה (סוף אוגוסט–תחילת ספטמבר), ולאחר מכן ירידה בתיאום עם ירידת ההתאדות מחוץ למבנה. ממצאים אלו מחזקים את אמינות הנתונים. נתונים אלה עולים בקנה אחד עם ממצאי אסולין וחובריו (2004), שמצאו כי הגדלת תדירות ההשקיה בספיקה נמוכה משפרת את התאמת קצב אספקת המים לקצב הצריכה של הצמח.

מצב הנוטריינטים בקרקע. ממצאי הניסוי השנה היו דומים לאלו שהתקבלו בשנה שעברה (למרות התקפת הנמטודות) כאשר טיפול 200% דשן הוביל לעלייה משמעותית בכל פרמטרי הקרקע (EC, ניטרט, זרחן ואשלגן) לעומת זמן אפס, גם בשכבה העמוקה (20–40 ס"מ). העובדה שריכוז האשלגן וכן המוליכות החשמלית היו גבוהים יותר בשכבה העמוקה מאשר בשכבת הקרקע העליונה מצביעים על הדחה אל מתחת לאזור הפעיל של השורשים — ממצא בעל חשיבות אקולוגית ואגרונומית גם יחד. טיפול 100% דשן, בשתי תדירויות ההשקיה, הראה עלייה מתונה בפרמטרי הקרקע, ללא ירידה בזמינות יסודות ההזנה. טיפול 50% דשן הוביל לירידה בריכוז הניטרט, האשלגן וה EC-בקרקע לקראת סוף העונה, ובהמשך לירידה בריכוז

הניטרט בפטוטורות, מה שיכול להצביע על אפשרות של מחסור תזונתי בשלבי הגידול המאוחרים. ממצאים אלה תואמים את הידוע בספרות: Jungk (1996) הראה כי ריכוז היונים בסמוך לשורש נמוך בהרבה מהריכוז הממוצע בתמיסת הקרקע, ולכן שמירה על רצף תזונתי זמין בבית השורשים היא קריטית. במהלך העונה לא נצפו הבדלים ב וריכוז הניטרט ובמוליכות החשמלית בתמיסת הקרקע בין הטיפול שהושקה פעם ביום לטיפול עם אותו ריכוז דשן שהושקה פעמיים ביום. לכמות הדשן היתה השפעה גדולה יותר מאשר לתדירות ההשקיה. בעונת הגידול הקודמות, שלא צלחה, נראו הבדלים משמעותיים בין הפרמטרים הללו בין תדירויות ההשקיה. נראה כי מי משאב לא יכול להיות מדד בלעדי ניטרלי לניהול הדישון — יש להתחשב בתדירות ההשקיה בפרשנות ערכי המשאב בתנאים לא מיטביים.

ריכוז הנוטריינטים בפטוטורות. ריכוז הניטרט בפטוטורות עלה בין 30 ל-99 ימים לאחר שתילה ולאחר מכן ירד בכל הטיפולים. בטיפול 200% דשן, ריכוז הניטרט נשאר גבוה גם לאחר 113 ימים, תופעה שעשויה להעיד על עודף חנקני שמוביל לצימוח וגטטיבי על חשבון הפרי. בטיפול 50% דשן, ריכוז הניטרט ירד באופן מובהק לאחר 145 ימים - סימן לתחילת מחסור תזונתי בשלב הקטיפה. הערכים שנמדדו בפטוטורות בתחילת העונה (6,000–7,000 חלקים-למיליון ניטרט) תואמים את הטווח שפרסם Hochmuth (1994) לירקות — 6,000–7,000 ח"מ לניטרט ו-3,000–5,000 ח"מ לאשלגן — מה שמאמת את תקינות הניסוי. לעומת זאת, ריכוז האשלגן היה דומה בכל הטיפולים לאורך כל העונה, מה שמלמד כי אשלגן לא היה גורם מגביל בניסוי זה.

התפתחות הצמחים. גובה הצמחים בניסוי 2024 (כ-1.25 מטר) היה נמוך מהמקובל בהדליה ספרדית (1.5–2 מטר), ככל הנראה בשל הנגיעות הנמטודות. בניסוי 2025, טיפול 100% דשן פעם ביום היה הנמוך ביותר מ-78 ימים ואילך — ממצא המחזק את ההשערה שתדירות השקיה נמוכה בשילוב מינון הדשן הסטנדרטי אינה מספקת לתמיכה בצימוח תקין. הליזימטרים השיגו גובה זהה לשאר הטיפולים בשלב מאוחר, אך פיגרו בתחילת העונה. מספר החנטים בליזימטרים עלה על שאר הטיפולים בשלב המאוחר — דבר שיכול להסביר את היבול הגבוה יותר בקטיפים המאוחרים.

יבול. היבול הכולל הליזימטרים היה גבוה משמעותית גבוה מאשר בטיפולים בקרקע אך גם היה בעל האחוז הגבוה ביותר של יבול לא איכותי. זאת, ככל הנראה, בשל מצב מים תנודתי במארזים, שחשף את הפרי למחסור רגעי בסיידן, הגורם המוכר לתופעת שחור פיטם. טיפול 50% דשן הציג יבול איכותי גבוה יותר מטיפול 200% בסך כל שבעת הקטיפים האחרונים מה שמלמד כי עודף דשן פגע באיכות הפרי. טיפול 200% דשן הוביל לאחוז גבוה (כ-47%) של פירות לא איכותיים, בעיקר שחור פיטם. ניתן לשייך זאת לתחרות בין עודף חנקן לאמוניום לבין קליטת הסיידן. עודף אמוניום ידוע כמעכב קליטת Ca^{2+} (Kafkafi & Tarchitzky, 2011). בעונת 2024 נמצא שהשקיה פעמיים ביום הפחיתה את שכיחות שחור הפיטם לעומת פעם ביום — תוצאה עקבית עם הידוע על חשיבות הרצף ההידראולי לקליטת סיידן (Ho et al., 1993). בעונת 2025, עדיין היתה מגמה כזו אך פחות משמעותית.

מסקנה מרכזית. בגידול פלפל מזן רלמפגו בשתילת מאי בבשור, במקרים בהם אין מחלות משמעותיות ניתן לצמצם את מינון הדשן מהמינון שנמצא עד כה כמומלץ לגידול פלפל, ללא פגיעה ביבול בשלבי הגידול הראשונים ואף עם שיפור ביבול האיכותי בסוף העונה — בתנאי שמשטר ההשקיה הוא פעמיים ביום לפחות. מאחר ואין לדעת האם צפויה להופיע מחלה או מזיק קרקע (כגון נמטודות) מומלץ בשלבים הראשונים לדשן במינון גבוה יותר (אך לא להגיע למינון עודף) על מנת לבנות מערכת שורשים עניפה וחזקה ובשלבים מאוחרים יותר להוריד את המינון כך שלא יהיה עודף דשן שיוביל לפחיתה באיכות הפרי. בניסוי זה התקבלו התוצאות הטובות ביותר כאשר נבחן דישון ב-50% ממנת החנקן המומלצת אולם לקראת סוף העונה החלו להופיע מחסורים בטיפול זה. מכאן שמומלץ למתן בכמות הדישון שניתנת אולם כדאי לנטר ריכוז נוטריינטים בפטוטורות ובתמיסת הקרקע ולדייק את הדישון על מנת לא להגיע למצבים של מחסור.

לסיכום: ממצאי שתי עונות הניסוי מספקים בסיס מדעי ראשוני לגיבוש המלצות מעשיות לחקלאים, ובפרט לדיוק מינון הדשן בשילוב עם השקיה פעמיים ביום. יחד עם זאת, כדי לגבש המלצות מחייבות, מומלץ לערוך ניסוי בו יבחנו שיטות לניטור מצב ההזנה של הצמח על מנת לתת לחקלאי כלים מותאמים יותר לדישון מדוייק לפי התנאים בשטח.

ביבליוגרפיה

- Agele, S.O. 2007. Soil, plant and canopy resistance to water flow in bell pepper (*Capsicum annuum* L.) as affected by fertigation regimes. *Journal of Applied Horticulture*, 9(1): 56-61
- Jungk, A. O. 1996. Dynamics of nutrient movement at the soil-root interface. In "Plant Roots, the Hidden Half", pp 529-556. Ed. Waisel, Y., A. Eshel, and U. Kafkafi. 2nd ed. Marcel Decker. New York
- Ho, L.C., Belda, R., Brown, M., Andrews, J., Adams, P. (1993). Uptake and transport of calcium and the possible causes of blossom-end rot in tomato. *Journal of Experimental Botany*, 44(262): 509–518.
- Hochmuth, G.J. 1994. Efficiency range for Nitrate-Nitrogen and Potassium for vegetable petiole sap quick tests. *HortTechnology*. 4(3): 218-222
- Leskovar, D.I., D.J. Cantliffe, P.J. Stoffela. 1989. Pepper (*Capsicum annuum* L.) root growth and its relation to shoot growth in response to nitrogen. *Journal of Horticultural Science*. 64 (6): 711-716.

אסולין, ש. א. זליבר, י. כהן, ש. כהן, א. לבקוביץ, ש. סוריאנו, א. מתן, ד. שמואל, ח. יחזקאל, ש. כהן, מ. ברונר, א. קניג, י. פוסלסקי, ג. רשף, ז. חנן. 2004. צמצום זיהום קרקע ומקורות מים באמצעות השקיה מתמשכת: תאור משטר המים ויסודות המזון בשכבת בית השורשים של פלפל בקרקע בשור. דוח ניסוי. מו"פ דרום.

ברונר, מ., אילני, ט., אברהם, ל., סילברמן, ד., 2022, ייעול ההשקיה של גידול פלפל בהנבה קיצית בבתי רשת בנגב. דוח ניסוי. מו"פ דרום.