

דו"ח מסכם תלת שנתי 2017-2019 : תהליכי פיצוי בקליטת מים ויסודות הזנה בגידול ירקות ועצי מטע בתנאי עקת מים ומלח

**שם התחום:** פיצול שורשים

**שם התכנית:** חקירת יחסי קרקע-מים-שורש ותהליכי פיצוי בקליטת מים ויסודות הזנה בגידולי שדה ועצי מטע בתנאי עקת מים ומלח

**מספר מוקד פנימי:** 82328

**חוקר ראשי:** אהוד צאלים

**חוקרים שותפים:** ד"ר אלון בן-גל

**סטטוס התכנית:** מסתיימת

**מועד התחלה וסיום התכנית:** 2017-2019

**רקע, תיאור הבעיה ומטרות המחקר:**

צמחים מותאמים לתנאים משתנים במרחב ובזמן. שורש בודד נחשף לשינויים בכמות וזמינות מים, זמינות חומרי הזנה וריכוזים של מלחים כאשר מתקיימת זרימת מים דרך הקרקע וכאשר מתרחשים תהליכים של קליטה ואידוי. פרופיל הרטיבות וריכוזי היונים במערכות שורשים של צמחי תרבות אינו אחיד, בשל שונות מרחבית של תכונות הקרקע ושונות בפיזור המים על ידי מקור המים. לכן, שורש מסוים של הצמח חשוף לתנאים שונים של מים, חמצן, חומרי הזנה ומלחים לעומת שורשים אחרים של אותו הצמח. השונות המרחבית בתכולת הרטיבות מושפעת באופן שונה מגשם, השקיה בהצפה והשקיה בטפטוף. מערכות השקיה בטפטוף נפוצות מאד באזור הערבה הדרומית ולכן קיימת חשיבות רבה לבחינת תהליכי פיצוי הנגזרים מהשונות הגבוהה הנוצרת במערכות אלה.

ההנחה המקובלת היא שמנגנוני הפיצוי, המאפשרים קליטה מוגברת משורשים באזורים שבהם התנאים מיטביים והימנעות מנזקים כתוצאה מתנאי גידול רעים באזורים אחרים, מחולקים לטווח קצר (שעות) ולטווח ארוך (ימים ויותר). קליטה משתנה הינה המנגנון לטווח קצר. עיקר הקליטה (של מים ושל חומרי הזנה) מתקיים באזורים בהם יש מים וחומרי הזנה זמינים, ריכוז חמצן גבוה, ומליחות נמוכה. על ידי כך הצמח מפצה על אזורים או תקופות של תנאים בעייתיים שאמורים לגרום לתגובות של עקה על ידי קליטה מווסתת מאזורים ובתנאים מועדפים. בטווחים של ימים, צמחים מפתחים שורשים לכיוון אזורים בקרקע בהם ישנה זמינות גבוהה של מים וחומרי הזנה.

קיימות שתי אסטרטגיות למידול קליטת מים על ידי צמחים: הראשונה, גישה מיקרוסקופית, בה ניתן לשקלל פיצוי בתהליכי קליטה על ידי שורשים. גישה זו מטפלת רק בקנה מידה קטן מאוד ברמה של שורש או חלקי שורש. תרגום הגישה והתאמת מודלים מיקרוסקופיים לסקאלה של צמח שלם או חלקה לא צלחה עד עתה.

גישה מקובלת יותר לביצוע סימולציות של קליטה היא הגישה המאקרוסקופית המבוססת על מיצוע תנאי בית השורשים (במרחב ובזמן). במקרים אלה ההתייחסות להעדפה של קליטה מתאפשרת הודות למניפולציה מתמטית ולא על ידי מדידת התנאים הדינאמיים האמיתיים בקרקע. במודלים מסוג זה הכרחי לבצע כיוול אמפירי על מנת להצליח לאפיין תגובות עונתיות של צמחים לתנאי הגידול השונים. כאשר מניחים גרדיאנט פוטנציאל מטריצי רציף מן הקרקע אל פני ולתוך השורש, הפוטנציאל האוסמוטי גדל בהדרגה בשכבת המגע קרקע-שורש כתוצאה מקליטת מינרלים בקצב נמוך יחסית לקצב קליטת מים (מפני שהמינרלים נחסמים באופן סלקטיבי בפני או על ידי ממברנות

(השורש). היכולת לצפות שינויים בערכי הפוטנציאלים בסביבת בית השורשים תאפשר הערכה טובה יותר של תגובת הצמחים לתנאים הצפויים.

תיאור מתמטי-פיזיקאלי מפורט של קליטה בפרופיל הקרקע דורש חיזוי או מדידה דינאמית של פירוס מערכת השורשים הפעילה. חיזוי מיקום שורשים פעילים מסובך ותלוי הן בתכונות גנטיות והן בהתנגדות הקרקע להתארכות שורשים, צפיפות הקרקע, זמינות המים ויסודות ההזנה. ריבוי דרגות החופש מקשה על חישוב ותיאור של תנועת מים ומומסים המלווה בקליטת מים על ידי צמחים. לעומת זאת, קיימות עבודות שמדגימות מנגנון פיזיו בין שורשים בקרקעות בהן קיימת הטרוגניות בתכולת הרטיבות. כלומר קליטת מים מוגברת במקומות בהם זמינות המים גבוהה ו/או מליחות תמיסת הקרקע נמוכה. כאשר מתייבשות שכבות הקרקע העליונות, קיימת קליטה מוגברת בשכבות התחתונות. על כן, ידיעת פונקציית התפלגות השורשים עם העומק איננה הגורם היחיד המשפיע על קליטת המים על ידי צמחים, וייתכן שאינו העיקרי.

עקרון מנגנון הפיזיו בבית השורשים מבוסס על קליטה התלויה בריכוז מלחים בכל בית השורשים ולא רק בריכוז מלחים מקומי (בדומה לעיקרון הסופרפוזיציה). היות ומערכת השורשים של צמחים ניתנת לתיאור כמערכת של צינורות המוליכים מים, היא מפצה על קצבי קליטה נמוכים באזורים בעלי זמינות מים נמוכה על ידי קליטה גבוהה באזורים זמינים יותר. על ידי כך מערכת השורשים מקטינה את השונות המרחבית של תכונות כמו ריכוז מומסים ורטיבות נפחית.

למרות השונות הטבעית של תכונות פיזיקאליות בקרקעות, כאשר מניחים רצף של מים במערכת קרקע-צמח בשדה מושקה הנתון לתנאי גבול משתנים עם הזמן, קיימים תהליכים פיזיקאליים הפועלים לפירוס אחד של התכונות הפיזיקאליות של מים בקרקע, הנמדדות במרחב ובזמן. מנגנון פיזיו לטווח קצר (שעות-ימים ספורים) מתרחש לפי עיקרון פיזיקאלי, ללא התערבות אקטיבית של מערכות שורשים. התערבות אקטיבית של הצמח מתרחשת בטווחי זמן ארוכים, על ידי התפתחות שורשים בעלת אוריינטציה למצב המים, מליחות תמיסת הקרקע וריכוז חומרי ההזנה. שטף המים מהקרקע אל השורש תלוי במכפלת המוליכות ההידראולית של תווך הזרימה במפל הפוטנציאלים שבין השורש ובין הקרקע. במערכות חקלאיות המושקות באופן סדיר, השינויים במוליכות ההידראולית הם הגורם הדומיננטי המשפיע על קליטת מים אל השורש. על כן באזורים יבשים המוליכות ההידראולית הנמוכה גורמת לירידה בשטף אל השורש, בעוד שבאזורים רטובים קיימת מוליכות הידראולית גבוהה.

השערת המחקר הראשית היא ששורשים מפצים בצורה מוחלטת על תנאים שאינם אופטימליים. כלומר שכל עוד ישנם מים, חומרי הזנה וחמצן מספקים בחלק מסוים של בית השורשים, הצמח לא יושפע בצורה שלילית מתנאים לא טובים (יבשים/דלים בחומרי הזנה/חמצן נמוך/מליחות גבוהה) באזורים אחרים של מערכת השורשים.

הפיזיו יכול להיות מוסבר באחת או יותר מהדרכים הבאות:

(א) קליטה דיפרנציאלית - סגירה או פתיחה של מנגנוני קליטת מים על פי תנאים יחסיים באזורים שונים בבית השורשים.

(ב) רצף הידראולי - חיבור הידראולי בין שורשים מאפשר קליטה דיפרנציאלית כתלות במנגנון פיזיקאלי של חיפוש תנאי שיווי משקל.

ג) גידול שורשים יחסי - קצב גידול שורשים מוגבר אל ובתוך אזורים בעלי תנאים משופרים. צפיפות שורשים גדולה וקליטת מים מוגברת.

ד) זרימת מים לפי מפלי פוטנציאליים אמיתיים המחושבים בקנה מידה נכון. חישוב של זרימת מים מהקרקע לשורש המבוסס על סה"כ סכום של הפוטנציאל המטריצי והפוטנציאל האוסמוטי בקרקע ומייצג באופן נכון בקנה מידה של חלק ממערכת השורשים ולא כולה.

#### מטרות המחקר:

1) לאפיין את תופעת פיצוי קליטת מים ע"י שורשים בתנאי מליחות.

2) להבין את המנגנון/ים לתופעת הפיצוי.

3) לשלב את המסקנות שיתקבלו בהמלצות גידול (השקיה) ובמודלים.

#### מהלך המחקר ושיטות העבודה (תכנון לעומת ביצוע):

ב-2017 התחלנו בהקמה והפעלה של מערכת ניסוי נתמכת בקרת מערכת IOD (המבוססת על בקרת משוב מחיישני קרקע) לבחינת קליטת המים ופיצוי בקליטה מאזורי בית השורשים הנמצאים תחת השראת איכות מים המתבטאת ברמת מליחות ונמדדת במוליכות חשמלית שונה (להלן בהמשך פירוט מערכת 1, ואיורים 1 ו-2). המערכת שימשה לניסוי אביב 2017 בגידול עגבנייה מזן 2525 וניסוי סתיו 2017 בגידול עגבנייה מזן ניקוס. שני הניסויים התבצעו בשטח פתוח בחלקה בגודל 1.1 דונם. בניסויים אלה מיושם הידע מהניסיונות ההקדמיים של מערכת זו בקנה מידה קטן, אשר בוצעו ב-2016 לבחינת ההשפעה של השראת מליחות משתנה באזור השורשים הנמדדים (על ידי IOD) לפרקי זמן קצרים, ומדידה של קליטת מים מכל אזור ואזור בבית השורשים במהלך בתקופות אלה. בדוח זה מוצגות גם תוצאות של ניסויים הקדמיים בתאי גידול שורשים (להלן מערכת 2, ראה איור 3) בגידול חסה ובגידול פלפל. ניסויים מדויקים אלו בוצעו על מנת לבחון השפעה של משטרי המלחה ושיטת המאפשרים הסתכלות על תפקוד של חלקים שונים במערכת שורשים של צמח בודד תחת תנאי רטיבות שונים בשני חלקי מערכת השורשים המפוצלת.

סיום הבנייה והפעלה הקדמית של מערכת ליזימטרי שקילה גדולים לעצים המשלבת IOD ו-SPLIT ROOT (להלן מערכת 3) התבצעה במהלך 2019.

**מערכת ניסוי 1** - גידול ירקות בשטח פתוח: חלקת הניסוי בגודל 1.1 דונם מחולקת ל-16 ערוגות בכיוון מזרח מערב משמשת אותנו לניסויים במערכת 1 (ראה פירוט בדוחות קודמים, ותמונות 1,2 בדו"ח זה). כל ערוגה היא שורת גידול ולמעשה חזרה באחד מארבעת הטיפולים שיפורטו בהמשך. שתי הערוגות הצפוניות ושתי הדרומיות הן שורות שוליים. סה"כ בניסוי 12 ערוגות, 3 ערוגות לכל טיפול. הטיפולים בניסוי הם: 1. השקיית כל בית השורשים במים מותפלים בלבד במהלך כל עונת הגידול; 2. השקיית כל בית השורשים במים באיכות נמוכה ( $EC \sim 7ds/m$ ) במהלך כל עונת הגידול; 3. השקיית מחצית בית השורשים במים מותפלים ומחציתו השנייה במים באיכות נמוכה ( $EC \sim 7ds/m$ ) במהלך כל עונת הגידול; ו-4. השקיה מתחלפת המאפשרת שינוי מידי של איכות המים כל צד של מערכת השורשים באופן עצמאי.

הצבת מערכת ההשקיה בניסוי כללה שלוחת טפטוף בודדת בכל צד של שורת הגידול ובמרחק אחיד (10 ס"מ) משורת הגידול, כלומר שתי שלוחות לכל שורת גידול. בתחילת הניסוי בעת התבססות הצמח ומערכת השורשים

מתבצעת השקיה ברמה (מנה) זהה בשתי השלוחות. לאחר הגעה לבית שורשים משמעותי וסימטרי ככל הניתן מתבצע מעבר להשקיה על ידי בקרת IOD. בטיפולים 1,2 חיישן אחד קובע את תזמון ההשקיה. בטיפולים 3,4 ההשקיה נקבעת עבור כל שלוחה מכל צד של שורת הגידול בנפרד (מערכות עצמאיות) על ידי שני חיישנים המודדים את ערך העומד המטריצי בחצי בית השורשים הרלוונטי. קביעת תזמון ההשקיה מתבצעת על פי אלגוריתם שפותח במו"פ. ערך הסף להשקיה הוא ערך העומד מטריצי ( $\Psi$ ) בהגעה לקיבול שדה (בבוקר שלאחר השקיית לילה טכנית). למעשה ההשקיה בפועל מתבצעת במנה שנקבעת ע"י המפעיל (0.75 מ"מ עובי פולס השקיה בניסוי זה) כך שבטיפולים 1,2 ו-3 אין התערבות של המפעיל ולאורך עונת הגידול ההשקיה מתבצעת באופן אוטומטי לחלוטין. בטיפולים 4, כאשר המערכת מגיעה לתדירות השקיה קבועה וזוהי בין שני חצאי בית השורשים בתנאי השקיה באיכות מים טובה ( $EC=0.9 \text{ ds/m}$ ) המיושמים משתילה ועד התבססות הצמחים, מוחלפת איכות המים באחת מהשלוחות לאיכות נמוכה ( $EC \sim 7 \text{ ds/m}$ ). החל מרגע השינוי באיכות המים נמדדת ומתועדת תגובת מערכות ה- IOD השולטות בשני חצאי בית השורשים, כאשר אנו מצפים לשינויים בתדירות ההשקיה בכל צד בהתאם לאיכות המים המיושמת בו. באופן זה, מערכת ה- IOD משמשת למעשה ככלי למדידת עוצמת העקה מחד (בצד המועק) ועוצמת הפיצוי מאידך (בצד בו איכות המים טובה). הניסוי השנה בוצע באופן דומה לניסוי ב-2017 אך הפעם נבחר הזן ניקוס במטרה להגדיל את רגישות הצמח הנבחן לעקת המלח (הזן 5656 שנבחן בשנת הניסוי הראשונה גילה עמידות גבוהה מאד למליחות).

## מערכת ניסוי 2: (תאי שורשים מבוקרים, ראה תמונה 3)

### מטרת הניסוי:

מדידת השינוי בקצב קליטת המים של חסה ופלפל כתלות בתכולת הריכוז באזור בית השורשים. השוואה בין בית שורשים שלם בתנאים אחידים לבית שורשים מפוצל והשראת תנאי עקת מים על 50% מהשורשים.

### מערכת הניסוי:

בניסוי שני תאי גידול שורשים לא מפוצלים, ותא גידול שורשים מפוצל. בכל תא נשתלו 5 שתילים תנאים בתחילת הניסוי: משטח פריאטי (העומק בקרקע בו ערך העומד המטריצי הוא אפס) בעומק 25- ס"מ (מפני הקרקע) זהה בכל התאים (1-4).

תאורה ייעודית (metal halide 800W) בכל מערכת (2 תאים בודדים, תא כפול, סה"כ 3 מערכות) מ-6:00 18:00

במהלך תקופת הגידול אפשר לציין מספר שלבים:

(א) שלב התאקלמות וביסוס מערכות השורשים

(ב) שלב השראת עקת מים בתא מפוצל ובתאים שלמים

(ג) שחזור תנאים הומוגניים לכל מערכות השורשים, על ידי טיוב התנאים באזור העקה, ושוב השראת עקת מים, הפעם על החלק השני של מערכת השורשים.

(ד) חזרה על שלב ב'.

מדידות: קצב החזר מים לתאים (השלמת איבוד המים הנובע מאידוי, דיות, ומעבר מים בין תאים – בתאים 1,2 בלבד).

**מערכת ניסוי 3:** מאפשרת כימות של מקום וזמן קליטת המים בתנאים שונים של זמינות מים ומליחות בעצי פרי (, ראה תמונות 4, 5 ו-6 להלן)

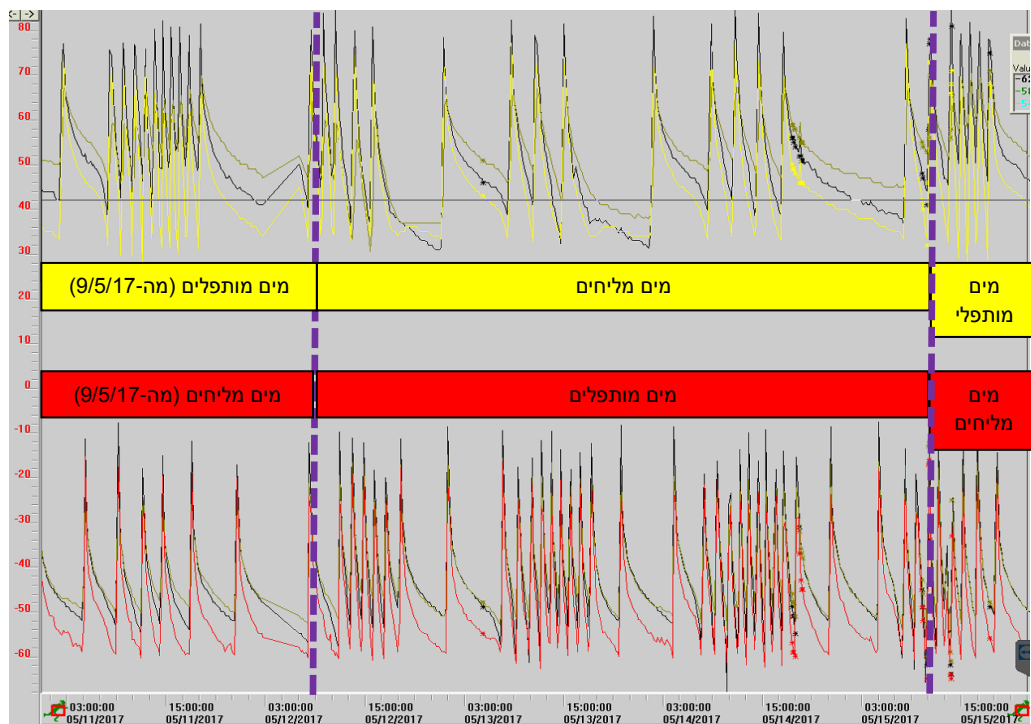
במערכת זו נבחנת תגובת 6 עצי מטע – אנו בחרנו פומלה כצמח מודל (*Citrus maxima*). העצים גדלים ומאוקלמים בתנאים המאפשרים חלוקה של בית השורשים השלם לשני חלקים נפרדים בתוך שני ליזימטרים נפרדים. על ידי הפרדה זו מתקבלת שליטה בתנאי הגידול הקרקעיים (רמת השקיה, ואיכות מי השקיה). על ידי שינוי התנאים ב-3 חזרות (3 עצים מתוך 6 הקיימים במערכת) ניתן לבחון את תגובת העץ לשינויים אלו, תהליכי פיצוי בקליטת מים וכדומה.

#### **תוצאות:**

**2017:**

**ניסוי מדידת קליטת מים במערכת ניסוי 1** (מערכת נתמכת בקרת IOD להשקיה ע"פ משוב משורשי הצמח ומדידת קצבי קליטת מים מאזור חלקי של בית השורשים, ראה תמונות 1 ו-2)

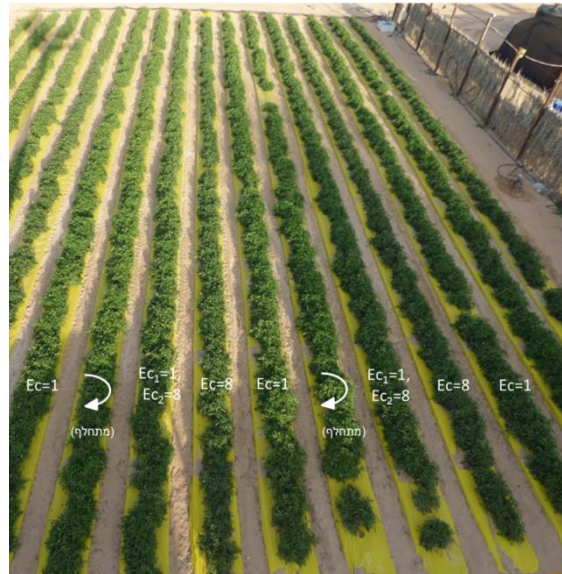
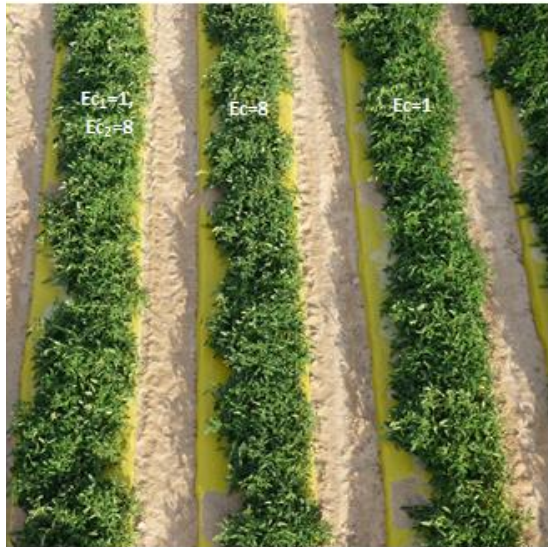
בניסוי במערכת זו נצפתה תגובה מידית לשינוי איכות המים המיושם בחלק ממערכת השורשים על קצב קליטת המים מסביבת חלק זה. בתרשים 1 מוצג טיפול 4: בטיפול זה ניתנת השקיה באיכות מים טובה (1 דצ"ס/מ') ובכמות זהה (על פי דרישת מערכת IOD) בשתי שלוחות הגידול. כאשר הצמחים מבוססים דיים (לאחר כ-30 ימי גידול) מוחלפת איכות המים בשלוחה אחת ומערכת הבקרה האוטונומית ממשיכה לקבוע את תדירות ההשקיה באופן עצמאי עבור כל אחת מהשלוחות. ע"י כך מתקבלת למעשה תדירות השקיה שונה עבור כל שלוחה **בהתאם לדרישה באותו צד של מערכת השורשים**. החלפות איכות המים מתבצעות לפרקי זמן קצרים יחסית (עד 72 שעות) על מנת להפחית ככל הניתן את האפשרות לתגובה הנובעת מהשפעה ארוכת טווח על מערכת השורשים ומנגנוני פיצוי הנגזרים מתגובה זו (ראה פירוט בפרק הרקע לעיל). במהלך החלפות איכות מים בשני צידי בית השורשים, ניתן לראות כיצד משתנה קצב ההשקיה, הנתמך בבקרה אוטונומית של מערכת IOD, כאשר איכות המים בצדה האחד של שורת הגידול משתנה. **איכות המים המסופקת לשלוחה גורמת להקטנה (במקרה של מעבר למים באיכות נמוכה) או הגברה (במקרה של מעבר למים באיכות גבוהה) של תדירות ההשקיה**. סכימה של מספר אירועי ההשקיה לפרק זמן נתון היא כמות המים שנצרכה על ידי המערכת (אווופורנספירציה וחלחול אל מתחת לבית השורשים) ומבטאת שינויים בקצב קליטת המים של שני חלקי בית השורשים.



**תרשים 1:** רישום העומד המטריצי (ציר Y) כתלות בזמן (ציר X) בטיפול 4 בניסוי, יצוין, שהערכים המוצגים בציר Y אינם הערכים האמיתיים אלא מוצגים בקיזוז (offset) קבוע על מנת להקל על הבנת התופעה המתוארת. קצב ההשקיות משתנה בהתאם לסוג המים שמושם בכל שלוחה. השקיה בתדירות גבוהה מעידה על קצב קליטת מים גבוה של השורשים באותו אזור. ניתן לראות כיצד הצמח מגיב לשינויים באיכות המים בשני הצדדים ובהתאם למידת העקה משתנה קצב הקליטה.

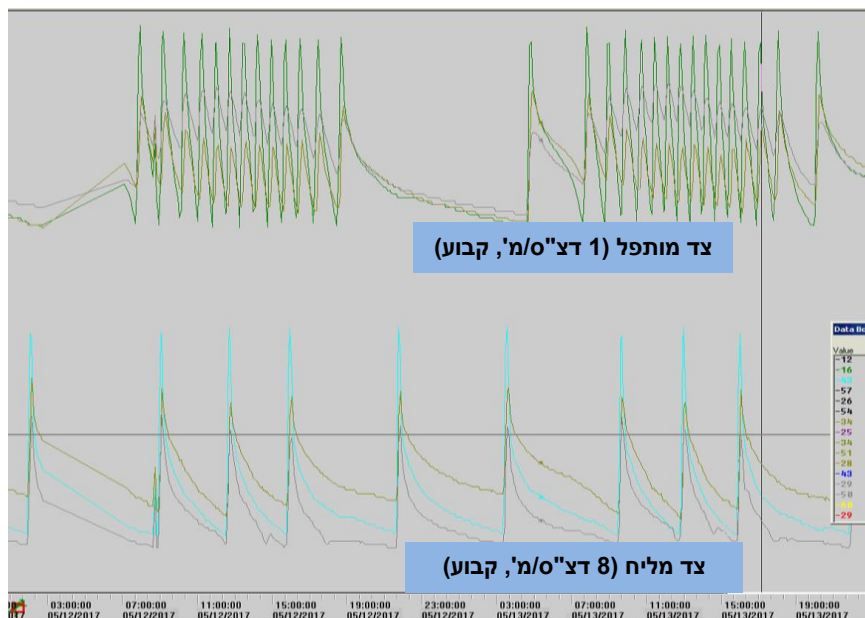


**תמונה 1:** מערכת ניסוי הקדמית (ניסוי 2016) הנתמכת בבקרת מערכת IOD לבחינת קליטת המים ופיצוי בקליטה מאזורי בית השורשים הנמצאים תחת השראת רמת מליחות שונה. ניתן לראות את הצבת מערכת ההשקיה: שלוחת טפטוף בודדת בכל צד של שורת הגידול ובמרחק אחיד משורת הגידול. בתחילת הניסוי בעת התבססות הצמח ומערכת השורשים מתבצעת השקיה זהה (איכות מים ורמת השקיה) בשתי השלוחות. לאחר הגעה לבית שורשים משמעותי וסימטרי ככל הניתן מתבצע מעבר להשקיה על ידי בקרת ה-IOD. במהלך הניסוי עצמו איכות מי ההשקיה נשלטת וניתנת לשינוי באופן מיידי על ידי המפעיל (תמונה מימין). ניתן לראות את אופן הצבת מערכת בקרת ההשקיה האוטונומית (IOD) על כל שלוחה באופן עצמאי לחלוטין ללא תלות בשלוחה השנייה (תמונות באמצע ומשמאל). חיישני ה-IOD הם חיישנים תת קרקעיים ולכן מקטע הטפטוף טמון וצמוד לחיישנים המיוחדים באזור הצבתם.



תמונה 2: חלקת הניסוי בעגבנייה, אביב (זן 2525), סתיו (זן ניקוס) 2017. יישום איכות מים נמוכה (רמת מוליכות חשמלית 8 דצ"ס/מ') גרמה לעקה נמוכה מהמצופה. ככל הנראה השפעת השימוש הייחודי במי רכז המופקים במתקן ההתפלה של המו"פ נמוכה מהצפוי והמוכר מניסויי השקיה לקבלת עקומי תגובה למליחות בתמיסות המבוססות על הוספת NaCl ו-CaCl2. להערכתנו תוצאה זו מעידה על חשיבות הרכב המלחים מעבר לסכום המלחים (המתבטא במוליכות החשמלית) על רמת העקה.

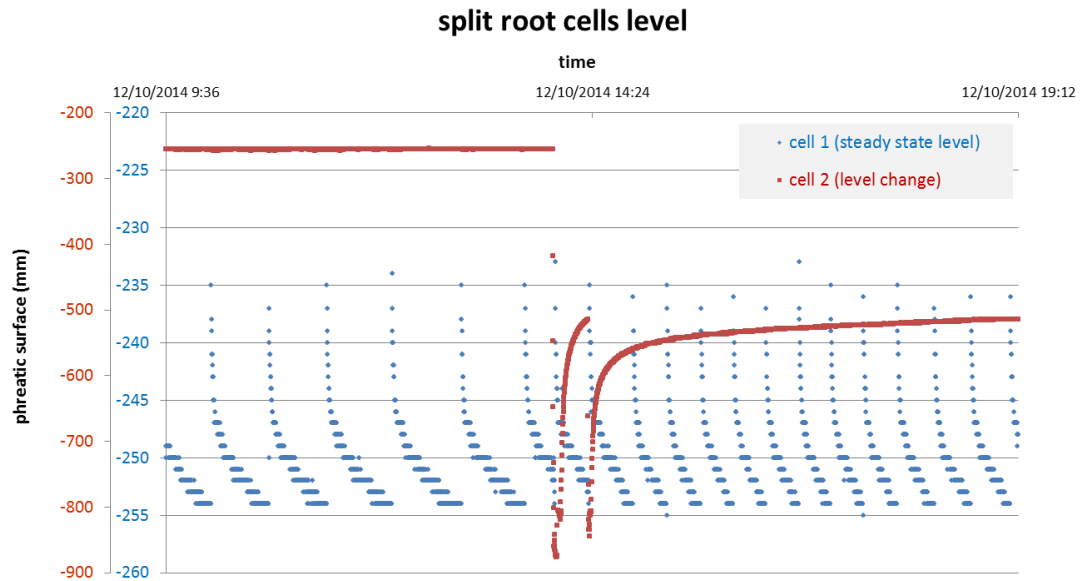
התגובה לאיכות המים באה לידי ביטוי כמותי בקליטת המים כמתואר לעיל בתרשים 1, ולהלן בתרשים 2.



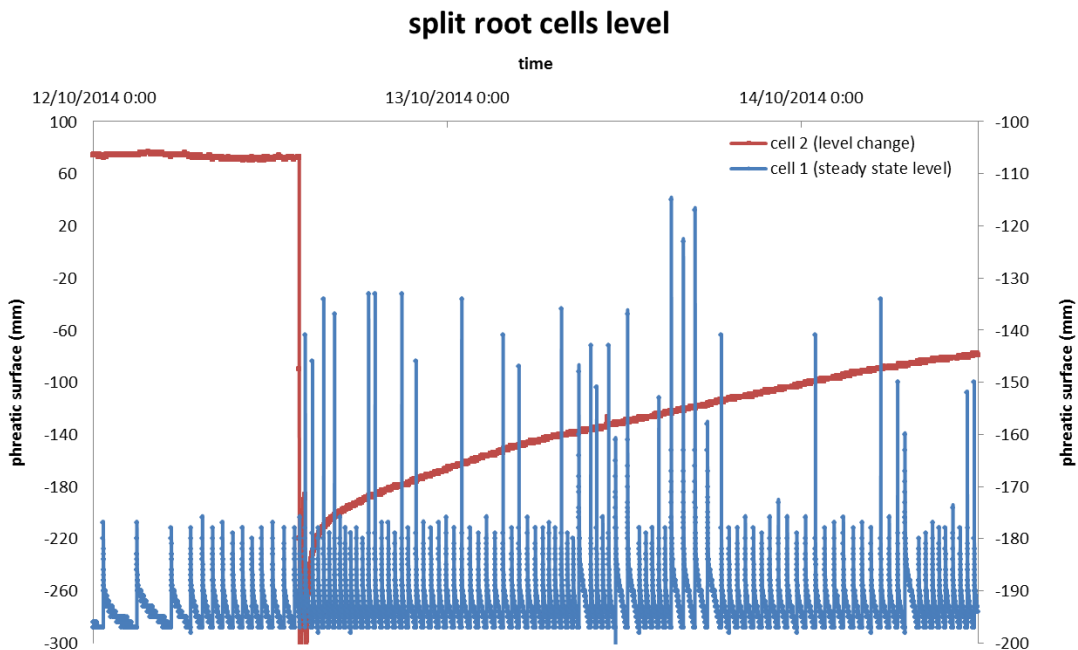
תרשים 2: רישום העומד המטריצי (ציר Y) כתלות בזמן (ציר X) בטיפול 3 בניסוי. ניתן לראות תדירות השקיה גבוהה או תדירות השקיה נמוכה בהתאם לאיכויות המים המיושמות בשתי שלוחות ההשקיה. תדירויות אלה נקבעות בעיקר כתוצאה מקצבי קליטה שונים הנקבעים בהתאם להתפתחות מערכת השורשים באופן לא סימטרי. זוהי



תוצאה של השקיה רצופה (מהלך כל תקופת הגידול) באיכויות המים שונות בשני חלקי בית השורשים (תגובה ארוכת טווח לעקה).

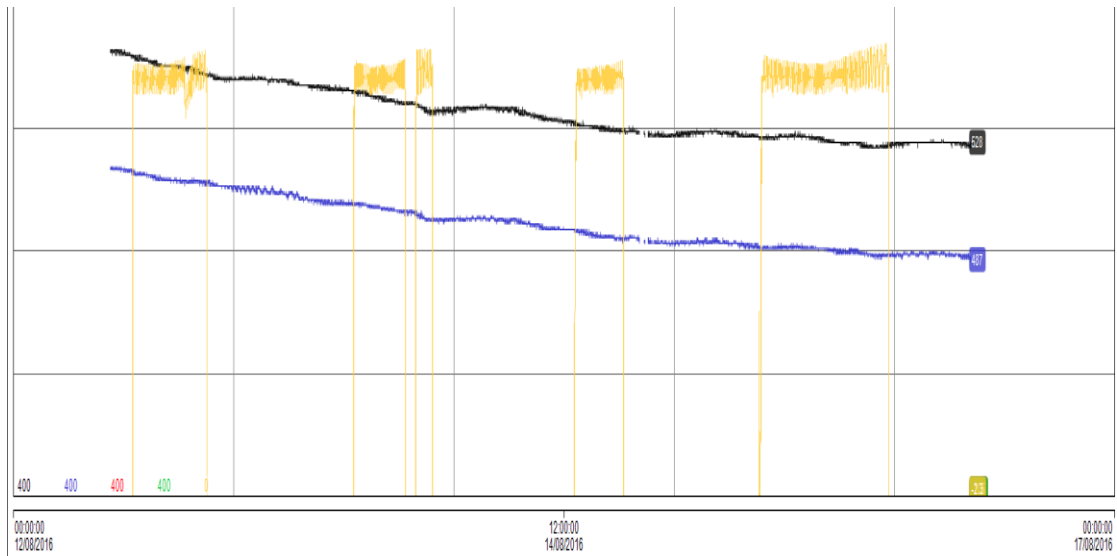


תרשים 3: מפלסי תא השורשים המפוצל (50/50). עד 14:00 המפלס בשני התאים היה זהה. קצב איבוד המים בתא 1 היה כ-30 מ"ל לשעה. לאחר הורדת המפלס בתא 2 נצפתה עליה בקצב איבוד המים בתא 1 והתייצבה על כ-70 מ"ל לשעה (המפלס בתא קבוע בעומק 25- ס"מ).

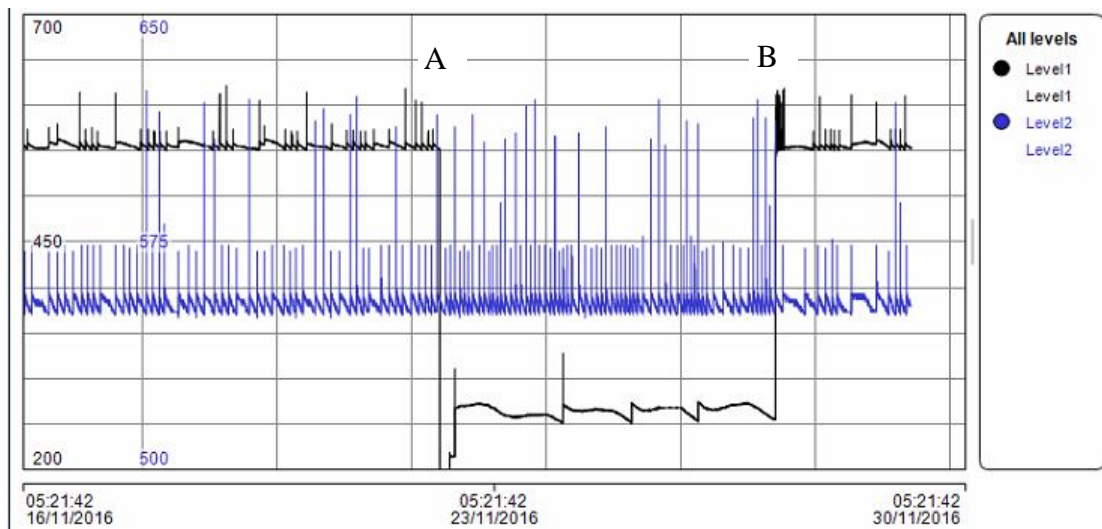


תרשים 4: הורדת המפלס בתא 2: חלה עלייה בקצב צריכה/איבוד המים מתא 1. קצב איבוד המים המחושב ממספר מילויי המים שנקבעו על 25 מ"ל לפולס. **הקצב הוכפל**. במקביל, מפלס תא 2 ממשיך לעלות. כלומר תא מספר 1 ממלא את תא 2. הקשר היחיד בין התאים הוא נפח הקרקע שנמצא בבסיס השתיל (כ- 50-100 סמ"ק קרקע לשתיל) שפוצל לשני התאים בתחילת הניסוי. מעבר המים יכול להתרחש דרך הקרקע או דרך שורשי הצמח.





**תרשים 5:** מפלסי התא המפוצל לאחר שדרוג מערכת התאים למניעת תנודות הנובעות משינויי טמפרטורה. עקומים שחור וכחול הם המפלס בשני התאים 1 ו-2 בהתאמה. ירידת המפלס הנצפית היא תוצאה של אידוי. עקום צהוב: טמפרטורה. ניתן לראות שהשפעת הטמפרטורה על המפלס נעלמה לאחר שדרוג המערכת.



**תרשים 6:** ניסוי גידול פלפל במערכת המשודרגת. בתרשים מוצגת תלות המפלסים בזמן. לאחר אקלום הצמחים בוצעה הנמכת מפלס (נקודה A) בתא 1 (שמפלסו מסומן בשחור). באופן מיידי נצפתה עלייה בתדירות ההשקיה בתא 2. לאורך כ-4 ימים הושוו המפלסים. תדירות ההשקיה בתא 2 חזרה לתדירות המקורית. יש לזכור שתדירות ההשקיה נקבעת על פי האופוטורנספירציה מתאי הגידול הנפרדים המאכלסים מחצית משורשי הצמח בעל מערכת השורשים המפוצלת.

**:2018**

תוצאות ניסוי במערכת 1 (עגבנייה-שטח פתוח)

**יבול בניסוי עצבנייה:** בתרשים 7 ניתן לראות שהתקבלו הבדלים גדולים ומובהקים ביבולים מארבעת הטיפולים, כאשר בטיפולים 2 ו-3 התקבלו יבולי הפרי הגדולים ביותר בניגוד לציפיות (טיפול 2 הוא טיפול איכות המים הנמוכה בשני צידי מערכת השורשים). היבול הכללי בחלקה היה גבוה באופן יחסי, כ-14 טון לדונם (כולל פחת של כ-20%). בבדיקות מעבדה לפרי שנקטף במהלך פברואר 2018 במהלך 4 קטיפים לבדיקת פרמטרים איכותיים וכמותיים שונים המשפיעים על איכות הפרי ומעידים על אורך חיי המדף נמצא שכ-50% מהיבול נמצא לא ראוי לשיווק/למאכל לאחר כ-10 ימים בטמפרטורה של  $12^{\circ}\text{C}$  מעלות ויומיים נוספים בטמפרטורה של  $20^{\circ}\text{C}$ . הסיבה לאחוז גבוה כל כך של נגיעות נובעת ממועד קטיפה שהתאחר ובעיות הגנ"צ בחלקה. פירוט לגבי הבדיקות הנ"ל ניתן לראות בטבלאות 1-4 להלן.

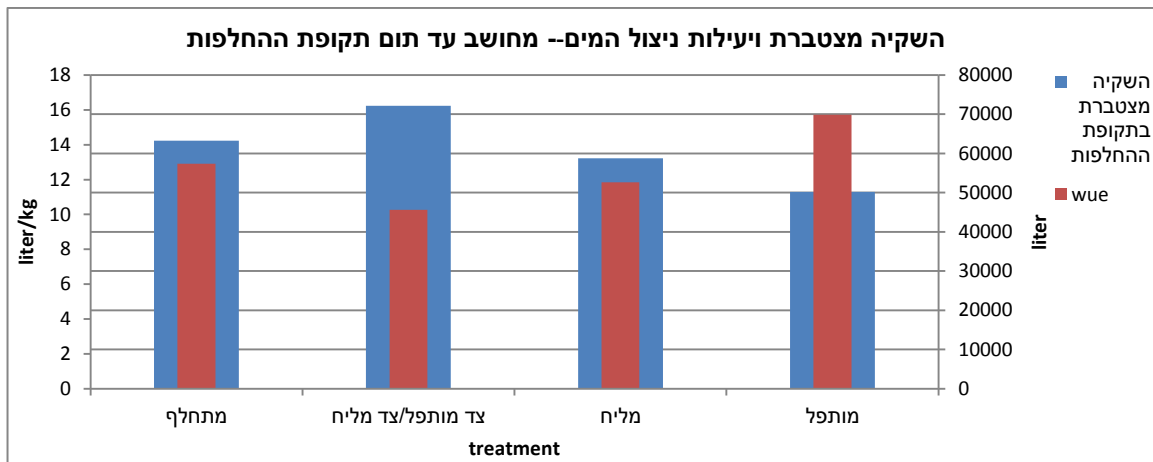
בניסוי השנה ניסינו לבחון את כמויות המים המצטברות שנצרכו בטיפולים השונים, ואת יעילות השימוש במים אלה. נמצא, שכאשר איכות המים הייתה נמוכה יותר, נצפתה עלייה ביעילות השימוש במים. (תרשימים 8 ו-9) בטיפול 4 נבחנת תגובה קצרת טווח של הצמח לעקה על מחצית בית השורשים, המתבטאת בתדירות ההשקיה התלויה בקצב קליטת המים באזור חיישן ה-IOD בקרקע. בתחילת עונת הגידול ניתנת השקיה באיכות מים טובה ( $0.9$  דצ"ס/מ') ובכמות זהה (על פי דרישת מערכת IOD) בשתי שלוחות הגידול. כאשר מערכת השורשים היתה מבוססת דיה (לאחר כ-30 ימי גידול) הוחלפה איכות המים בשלוחה אחת ומערכת הבקרה האוטונומית המשיכה לקבוע את תדירות ההשקיה באופן עצמאי עבור כל אחת משתי השלוחות. ע"י כך התקבלה תדירות השקיה שונה עבור כל שלוחה **בהתאם לדרישה באותו צד של מערכת השורשים**. החלפות איכות המים התבצעו כאמור לפרקי זמן קצרים יחסית על מנת להפחית ככל הניתן את האפשרות לתגובה הנובעת מהשפעה ארוכת טווח על מערכת השורשים ומנגנוני פיצוי הנגזרים מתגובה זו (ראה פירוט בפרק הרקע לעיל). במהלך החלפות איכות מים בשני צידי בית השורשים, ניתן לראות כיצד משתנה קצב ההשקיה, הנתמך בבקרה אוטונומית של מערכת IOD, כאשר איכות המים בצדה האחד של שורת הגידול השתנתה. איכות המים המסופקת לשלוחה גרמה להקטנה (במקרה של מעבר למים באיכות נמוכה) או הגברה (במקרה של מעבר למים באיכות גבוהה) של תדירות ההשקיה. סכימה של מספר אירועי ההשקיה לפרק זמן נתון היא כמות המים שנצרכה על ידי המערכת (דיות, אידוי, וחלחול אל מתחת לבית השורשים) ומבטאת במידה ניכרת שינויים בקצב קליטת המים של שני חלקי בית השורשים. תרשים 11 מציג את תוצאות צריכת המים היומית בטיפול 4 במשך תקופת החלפות איכות המים בשתי שלוחות הטיפול. ניתן לראות שכמות המים היומית נגזרה מאיכותם, כך שירידה באיכות המים הובילה לירידה בכמות הנצרכת, ולהיפך. עם זאת, הצד שקיבל את איכות המים הטובה לא צרך כמות המהווה פיצוי מלא על הירידה בקליטה בצד המועק. תוצאות אלה דומות לתוצאות שהתקבלו בניסויים ב-2017.



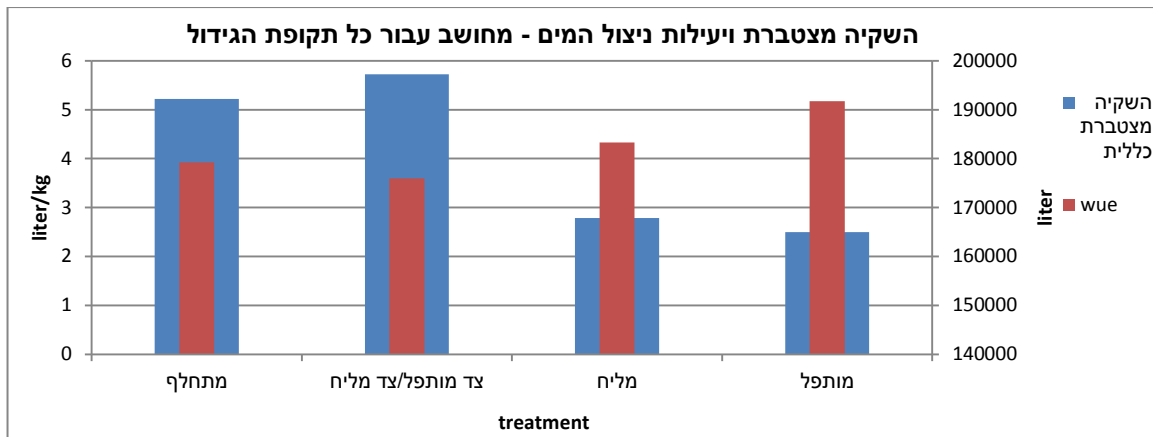
(%)	(%)	(י"ק)	(%)	(12-1)	(12-1)	(%)	(%)	(ג')	
1.2±0.1	4.3±0.1	29±1.5	1.5±1.5	11	8.5	32±4.5	1.9±0.1	127±5.3	מליחים
0.9±0.1	3.8±0.1	29±0.9	3.3±3.3	11	8.0	55±12	3.2±0.2	137±4.3	מותפלים

טבלה 4: איכות פרי לאחר 10 ימים ב-12 מ"צ + 4 ימים ב-20 מ"צ. קטיף ב-6.3.18. ממוצע ± שגיאת תקן

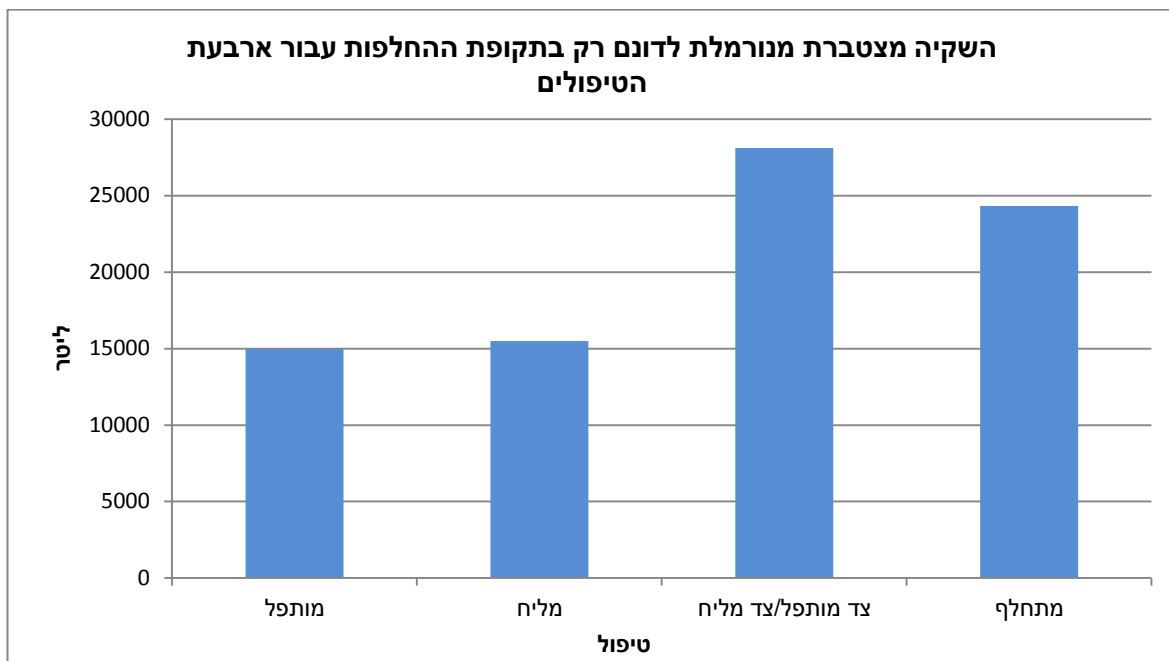
חומצה ציטרית (%)	סוכר (%)	מוצקות (י"ק)	לחי צהובה (%)	צבע מקסימום (12-1)	צבע מינימום (12-1)	ריקבון (%)	איבוד משקל (%)	משקל ממוצע (ג')	טיפול
-	-	29±1.1	3.2±3.2	11	9.0	49±6.8	2.7±0.2	128±5.1	מליחים
-	-	32±1.5	6.9±3.8	11	7.8	76±10.0	3.4±0.2	134±5.1	מותפלים



תרשים 8: סכימת כמויות המים שנצרכו ע"י כל טיפול בחודשיים הראשונים של הגידול (עד סיום תקופת ההחלפות איכות המים בטיפול המתחלף) ויעילות ניצול המים המתאימה (ליטר/ק"ג). ככל שהערך (liter/kg) קטן יותר כך היעילות גבוהה יותר.

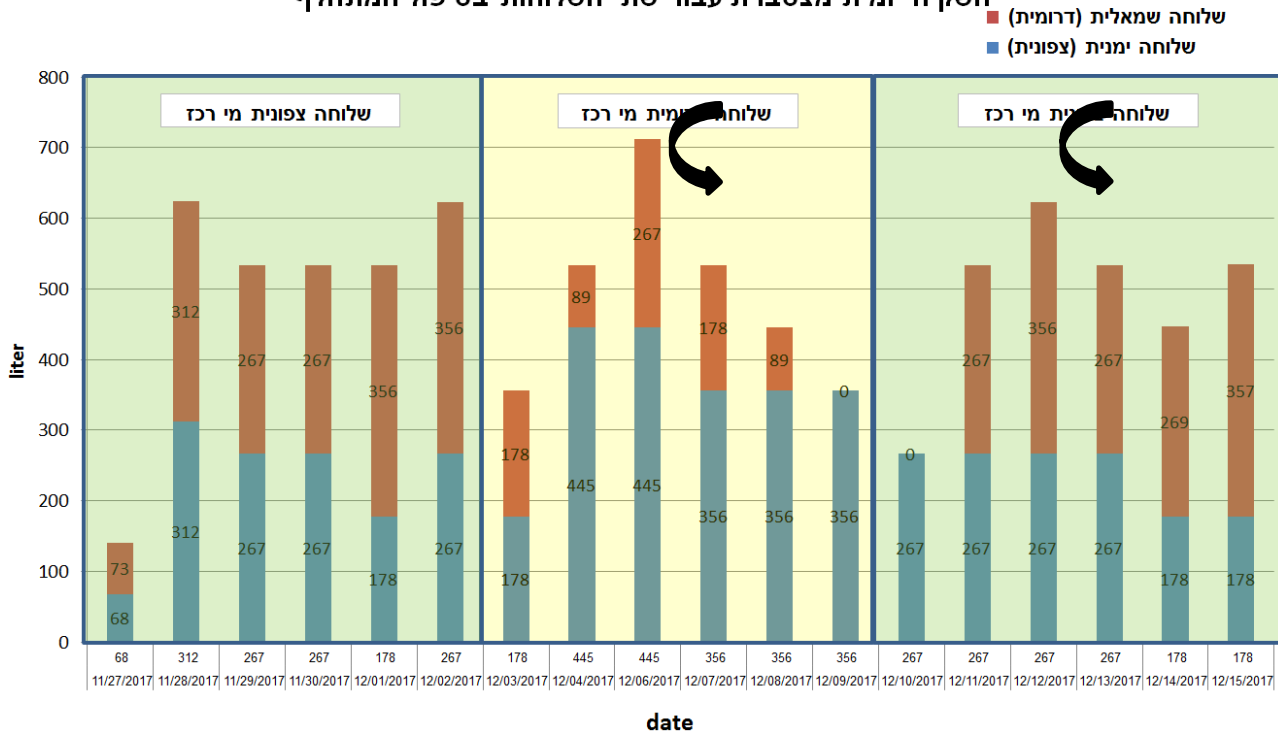


**תרשים 9:** סכימת כמויות המים שנצרכו ע"י כל טיפול במהלך כל עונת הגידול. ויעילות ניצול המים המתאימה. ככל שהערך (liter/kg) קטן יותר כך היעילות גבוהה יותר. לא נמצאו הבדלים מהותיים ביחסיות בין הטיפולים ביעילות ניצול המים בהשוואה בין כל תקופת הגידול לתקופה הראשונה שכללה את החלפות בטיפול 4 (תרשים 2).



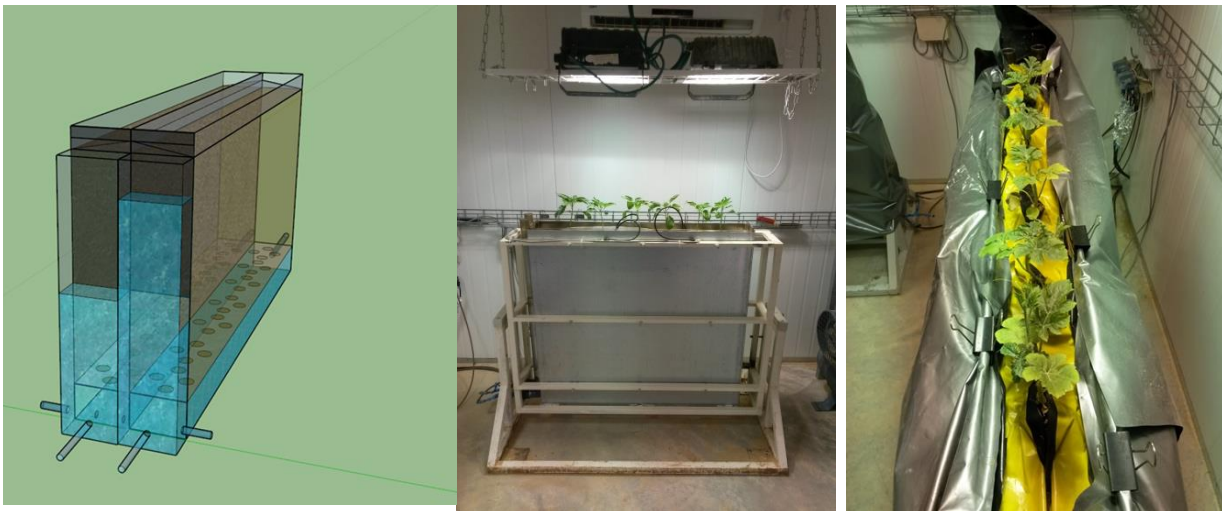
**תרשים 10:** סכימת כמויות המים שנצרכו ע"י כל טיפול במהלך שלושת השבועות בהם התבצעו החלפות איכות המים בטיפול 4.

### השקיה יומית מצטברת עבור שתי השלוחות בטיפול המתחלף



**תרשים 11:** סיכום תוצאות החלפת איכות המים בין שני חלקי בית השורשים בטיפול 4 במערכת 1. החלפת איכות המים בין שני הצדדים (מסומנת בחצים שחורים) גרמה לתגובה המתבטאת בתדירות הפעלת ההשקיה על ידי מערכת ה- IOD המלמדת על שינויים בקצב קליטת המים באזורים השונים בבית השורשים.

### תמונות:



**תמונה 3:** תאי שורשים מפוצלים לבחינת קליטת המים ברזולוציה גבוהה. בצד שמאל מוצג תרשים סכמתי של התא. תא המפוצל במהלך גידול פלפל בתמונה האמצעית וניסוי הקדמי באבטיח בתמונה הימנית.



תמונה 4: מערכת 3, 2017. שלב הקמת התשתית הבסיסית



תמונה 5: מערכת 3, 2018. התבססות העצים לאחר נטיעה במערכת ליזימטרים לשורשים מפוצלים



תמונה 6: מערכת 3, 2019. העצים מאוקלמים בליזימטרים ומערכת השורשים המפוצלת מבוססת ומוכנה לניסוי





**תמונה 7:** מערך ליזימטרים של עץ בודד במערכת 3 כולל שני ליזימטרים נשקלים. כל ליזימטר מהווה כלי מדידה עצמאי למחצית מבית השורשים. בכל ליזימטר מערכת שקילה (ליזימטר+נקז) ובקרת IOD עצמאית.

### **2018 ו-2019:**

בשנת המחקר השנייה (2018) נמשכה הקמת המערכת ותחילת הפעלה של מערכת ליזימטרי שקילה גדולים לעצים המשלבת SPLIT ROOT ו- IOD. העצים הועברו לליזימטרים לאחר שבית השורשים פוצל ואוקלם בתנאי הפרדה במהלך 2017 מחצית 2018. החל מאמצע 2018 העצים מושקים באופן סימטרי בשני חלקי בית השורשים. מערכת הבקרה כוללת שליטה בהשקיה, נקז, שקילת הליזימטרים והפעלת בקרת ה- IOD. במהלך הרבעון הראשון של 2019 המערכת הופעלה אך עקב עיכוב בסיום הכשרת המערכת והמדידות המדויקות של המשקלים, הניסוי בתנאי עקה למדידת תופעות פיזיו בקליטת המים בבית השורשים יתבצע ב-2020.

### **התקדמות במחקר שחלה מאז הדו"ח האחרון:**

במהלך 2019 הסתיימה הקמת מערכת 3 הניסויים במערכת זו ימשכו ב-2020

**מסקנות, בעיות שהתעוררו, והמלצות להמשך המחקר:** בניסויים במערכת נתמכת בקרת IOD להשקיה ע"פ משוב משורשי הצמח ומדידת קצבי קליטת מים מאזור חלקי של בית השורשים (מערכת 1 לעיל) **התקבלה תגובה ברורה לשינויים באיכות המים בצד אחד של בית השורשים בגידול עגבניות מזן ניקוס. תוצאות אלה מחזקות את התוצאות שהתקבלו בניסויי 2017 ובהן נצפתה תגובה של מערכת השורשים המלמדת שכאשר מושרית עקה על צד אחד של בית השורשים נצפית הפחתה בקליטת המים מצד זה, ומתקיים פיזיו חלקי בלבד בצד בו מיושמת איכות מים טובה. בכל הרצות הניסויים לא נצפה פיזיו מלא בקליטת המים על ידי המחצית הבלתי מועקת של בית השורשים. במקביל לבהינת קצב קליטת המים כתלות בעקת המלח, נבחנו בניסוי גם פרמטרים נוספים: יכול, צריכת מים יומית ומצטברת, יעילות השימוש במים (WUE) והבדלים באיכות הפרי לאחר קטיף. בבדיקות היכול הממצאים מעידים על אי תלות של כמות היבול באיכות המים. ניתן לראות שכמויות המים המצטברות בטיפולים בהם מוטמנים 2 חיישנים בקרקע היו גבוהות בכ-15% עד 20% מהכמויות המצטברות בטיפולים בהם מוטמן רק חיישן אחד (במערכת ניסוי 1, בטיפולים 3,4 וטיפולים 1,2 בהתאמה). מעובדה זו ניתן להסיק שייתכן והשימוש בשתי מערכות עצמאיות בטיפולים המפוצלים גורם להשקיה בעודף, למרות התאמת עובי**

ההשקיה על פי הטיפול. תוצאה זו משליכה גם על מדד יעילות ניצול המים: יעילות השימוש במים הנמוכה ביותר התקבלה בטיפול 1, כלומר על מנת לייצר יחידת משקל של פרי נדרשה כמות מים גבוהה ביותר בטיפול המותפל. המסקנות מבדיקות איכות הפרי הן:

(1) בהשקיה במים מותפלים מתקבל פרי גדול יותר; (2) במים מליחים הפרי מאבד פחות משקל כתלות בזמן, , ופחות מוצק; (3) במים מותפלים אחוזי הריקבון גבוהים יותר; ו-4) במים מליחים אחוז הסוכר והחומצה גבוהים יותר.

לא בוצעו ההרצות במערכת ניסוי 3 עקב אילוצי תשתית. למרות זאת, השימוש המחקרי במערכת ניסוי 3 יתבצע במהלך 2020, ובכך יושגו יעדי המחקר שהוגדרו מבחינת הניסיונות.