

שנת מחקר 2 מתוך 3 שנים

בחירת טיפולים למניעה ותיקון הנזק מהשקיה בקולחים במטעים בקרקעות כבדות

Examination of treatments for the prevention and amendment of damage caused by TWW irrigation in orchards planted on clay soils

מוגשת למדען הראשי ע"י

חורחה טרצ'יקי - מו"פ צפון, tarchitz@agri.huji.ac.il, חוקר ראשי ומרכז המיזם
אשר בר-טל - המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מנהל המחקר החקלאי, abartal@agri.gov.il,
כימיה של הקרקע והזנת הצמח
משה שנקר - המחלקה לקרקע ומים, הפקולטה לחקלאות, האוניברסיטה העברית,
moshe.shenker@mail.huji.ac.il, כימיה של הקרקע
גיא לוי - המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מנהל המחקר החקלאי, vwguy@volcani.agri.gov.il,
כימיה פיזיקלית ויציבות מבנה של הקרקע.
עמרם אשל - ביה"ס למדעי הצמח ואבטחת מזון, אוניברסיטת ת"א, amrame@tauex.tau.ac.il,
התפתחות שורשים
שבתאי כהן - המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מנהל המחקר החקלאי, vwshep@agri.gov.il,
אחראי על צוות פיזיולוגיה סביבתית. אגרונומטאורולוגיה.
דוד רוסו - המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מנהל המחקר החקלאי,
ywrosd@volcani.agri.gov.il, מודל תלת מימדי
אלכס פורמן - הפקולטה להנדסה אזרחית וסביבתית, טכניון, alexfurmantech@nion@gmail.com,
פיזיקה של הקרקע
אמנון שוורץ - המכון למדעי הצמח, הפקולטה לחקלאות, האוניברסיטה העברית בירושלים,
amnon.schwartz@mail.huji.ac.il, פיזיולוגיה של הצמח
יהונתן אפרת - המכונים לחקר המדבר ע"ש יעקב בלאושיין שדה בוקר, אוניברסיטת בן גוריון,
yoni@bgu.ac.il, פיזיולוגיה של הצמח – התפתחות שורשים
הדר כהן - מו"פ גליל-מערבי, hadpa@bezeqint.net, אבוקדו גליל המערבי
מוטי פרס - מו"פ צפון, peres@migal.org.il, קרקע ומים

תקציר

במטרת למצוא מענה לתופעת הפגיעה במטעים המושקים בקולחים בקרקעות כבדות הוקמה חלקת הניסוי במטע האבוקדו של קיבוץ יסעור ובה 5 טיפולים בהם נבחנים פתרונות אגרוטכניים למניעת או מזעור ההשפעות השליליות של ההשקיה בקולחים בקרקעות עם תכולת חרסית גבוהה. נערכו בדיקות מים וקרקע ומדידות רטיבות, ריכוז החמצן ופוטנציאל רדוקס. בצמח נבדקו תכולת המינרלים באברים שונים, זרימת המים בעץ, התפתחות שורשים, תא לחץ והיבול. כמו כן, נבנה מודל לבחינת הסעת מים במומסים בקרקע.

נמצא שהשקיה בקולחים מגדילה באופן משמעותי את ריכוזי הנתרן, הכלוריד וה-SAR בחתך הקרקע לעומת מים שפירים. בכל הטיפולים המשפרים שנבחנו, הריכוזים בחתך הקרקע היו נמוכים מאשר בהשקיה בקולחים. למעט טיפול הטוף ניכרת בכל הטיפולים ירידה חדה בריכוזי החמצן לאחר ביצוע ההשקיה. החזרה לריכוזי חמצן גבוהים הינה איטית (שעות רבות). מבין הטיפולים, הירידה הבולטת ביותר והערכים הנמוכים ביותר נמצאו בטיפול ההשקיה בקולחים בממשק המשקי המקובל שבו שררו תנאים סב-אוקסיים. לעומת זאת, במרבית הטיפולים האחרים שררו לאורך כל תקופת המדידה תנאים אוקסיים. השפעה בולטת ועקבית נמצאה לגבי ריכוז הניטריט שנמצא בתמיסת הקרקע בהשקיה בקולחים בממשק המשקי, אך לא בטיפולים האחרים.

צריכת המים הגבוהה ביותר היתה בהשקיה עם מים שפירים. השוואה בין הטיפולים מראה שערכים נמוכים של מוליכות עלים לאדי מים התקבלו עבור טיפול הקולחים המשקי.

הן בבדיקת כלל השורשים בפרופיל והן בבדיקת מספר השורשים בעומקי הקרקע השונים לא נמצא הבדל מובהק בין הטיפולים. במדידת צמיחת שורשים בשיטת גלילי רשת נמצאו הבדלים לא מובהקים בקוטר השורשים הממוצע ושבפיזור שטח הפנים של השורשים בהתאם לקוטר היו הבדלים בין הטיפולים. בטיפולי MIX, TWW נמצא הפיזור המעיד על כך שחלק עיקרי של השורשים היה בקטרים הנמוכים, דבר המעיד על הסתעפות רבה ונוכחות שורשים דקים בכמות גדולה יחסית. בבדיקות של עלים, שורשים ועצה רק ריכוזי הגופרית, הברזל המנגן והנתרן נמוכים יותר באופן מובהק בתעלות הטוף TUF מאשר בטיפול הקולחים TWW. רמת היבול הדו-שנתי של האס היתה טובה ורמת הסירוגיות בכל הטיפולים גבוהה מאד. בטיפולי השפירים, המיהול והריווח של אינטרוול ההשקיה התקבלו יבולים גבוהים יותר.

מעריכים מומלצים לבדיקת הדוח המדעי:

1. פרופ' אבי שביב

2. פרופ' בני חפץ

3. ד"ר אדולפו לוין

מרץ 2018

אדר תשע"ח

הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים.
תוצאות המחקר אינן מהוות המלצה לחקלאים



חתימת החוקר:

תוכן עניינים

1	תקציר
2	מבוא ותיאור הבעיה
3	מטרות המחקר
4	חומרים ושיטות
13	תוצאות
43	סיכום ודיון
50	רשימת ספרות
51	נספח

1. **מבוא ותיאור הבעיה:** בצפון הארץ (גליל, גולן והעמקים) גדלים 448 אלף דונם מטעים, חלק ניכר מהם נטוע בקרקעות המאופיינות בתכולת חרסית גבוהה (מעל 40%) וכרבע מהם מושקים בקולחים. שטח זה מתווסף למטעים ופרדסים מושקי קולחים במרכז הארץ, השפלה והדרום.

בשני מיזמים שנערכו בשנים 2012-2014 (נבחנו המנגנונים המשפיעים על המטעים המושקים בקולחים לעומת אלו המושקים במים שפירים בקרקעות כבדות).

במטע אבוקדו בגליל המערבי (טרצ'יצקי ואח', 2015; Yalin et al., 2017) בקרקע המושקית בקולחים ה-ESP היה גבוה לעומת הקרקע המושקית במים שפירים, בהתאמה לערך ה-SAR הגבוה יותר בקולחים. במקביל, בחלקות הקולחים עלתה גם מידת התפיחה בקרקע וירדו כושר החידור, המוליכות ההידראולית ברוויה והספיגות, בהשוואה לחלקות השפירים. נמצא קשר הדוק בין רטיבות הקרקע לבין ערכי הרדוקס שנמדדו לאורך שנתיים רצופות בבית השורשים. ערכי הרדוקס הנמוכים יותר התקבלו בטיפול הקולחים. גורם מבחין בין שני הטיפולים הוא ריכוז הנתרן והכלוריד בחלקי העץ התחתונים. באבוקדו תפקדו חלקי העץ התחתונים כחסם בפני תנועת נתרן, אך לא כלוריד, אל חלקי העץ העליונים. תוצאות המחקר באבוקדו הצביעו על בעיית האוורור וירידת פוטנציאל הרדוקס בבית השורשים כגורם לפגיעה פיזיולוגית בשורשים. שני המדדים הצביעו על ירידה לערכים נמוכים רק למשך פרקי זמן קצרים יחסית שלא הביאו לתהליכי חיזור נמרצים בבית השורשים. יחסי נתרן-אשלגן בחלקי העץ התחתונים (שורשים וגזע), הראו כי בתנאים אלו נפגעות מערכות קליטה אקטיביות (ולכן תלויות-חמצן), ואלו מתבטאות בירידה בסלקטיביות הקליטה של אשלגן מול נתרן.

במיזם השני נחקרה השפעת ההשקיה בקולחים לעומת השקיה במים שפירים על עצי הדר (אשכולית) בקרקע כבדה (בר-טל ואח', 2015). במיזם זה נמצא שמעבר להשקיה בשפירים לאחר השקיה ממושכת בקולחים גרמה לשינויים הפיזיולוגיים הבאים: גידול בצימוח שורשים (מספר ואורך), עליה במוליכות ההידראולית של השורשים, התרחבות הגליל המרכזי בשורש, עליה בשטף המים בגזע, עליה בקצבי הפוטוסינתזה והטרנספירציה ליחידת שטח עלה, ירידה בהתנגדות למעבר מים בעלה, עליה (לערכים פחות שליליים) בפוטנציאל המים בעלים חשופים ובגזע (סימן לירידה בעקת המים), ירידה בריכוז פרולין בשורשים (תנאי עקה גורמים לעליה בריכוז הפרולין), ירידה בדליפת מומסים מהממברנות, וירידה בריכוזי הכלוריד והנתרן בעלים ובשורשים. אלה ומדדים פיזיולוגיים נוספים הצביעו על שיפור במצב הפיזיולוגי של העצים עם המעבר מהשקיה בקולחים להשקיה במים שפירים. יבול הפרי בשלוש שנות המחקר הראשונות לא היה שונה במובהק בין שני הטיפולים, אולם בכל שנה היבול בשפירים היה גבוה מאשר בקולחים, ובקטיף האחרון בנובמבר 2015 יבול הפרי בהשקיה בשפירים היה גבוה באופן מובהק ב-17% מאשר בקולחים. המעבר להשקיה במים שפירים בפרדס גרם לירידה בריכוז המלחים המומסים בקרקע (לפי המוליכות החשמלית, EC), לירידה בריכוזים של מרכיבי המליחות העיקריים בקרקע, ולירידה בערך ה-SAR.

2. **היפותזת המחקר:** (1) ניתן לשפר את מצב האוורור בקרקעות כבדות שנפגעו מהשקיה רבת שנים בקולחים ע"י טיפולים אגרוטכניים; (2) השיפור באוורור הקרקע יביא למניעת הפגיעה הפיזיולוגית בפעילות השורשים והעץ כולו, ללא צורך בשינוי איכות הקולחים מעבר לתקנות המקובלות (תקנות הקולחים); (3) הקרקע והעצים מגיבים בזמן קצר יחסית לשיפור בהרכב המים ובממשק ההשקיה, בהתאם לממצאים במיזם ההדרים (בר-טל ואח', 2015; Paudel et al., 2015). לגבי הטיפולים האגרוטכניים אנו מניחים ששיפור מצב האוורור בבית השורשים יכול להיות מושג במספר דרכים: (1) שינוי בממשק ההשקיה; (2)

בניית תעלות אוורור; 3) שינוי בהרכב המים שיקטין את ערך ה-SAR וישפר את מבנה הקרקע. מכיוון שהשקיה במנות מים גדולות גורמת למצב של מחסור בחמצן ופוטנציאל רדוקס נמוך, אנו מניחים שהקטנת תדירות ההשקיה יחד עם הגדלת מספר נקודות הטפטוף יביאו לצמצום הפגיעה עקב חוסר חמצן. לחילופין אנו מניחים ששיפור האוורור בנפח מצומצם, בתוך תעלות אוורור, יאפשר התפתחות ופעילות שורשים תקינה שתפצה על חוסר האוורור העיתי בנפח הקרקע הכללי. בנוסף, אנחנו מציעים לבדוק את הייתכנות של הורדת ה-SAR של המים כדרך לשיפור הדרגתי של מבנה הקרקע ושיפור מצב האוורור בבית השורשים.

הנחת עבודה נוספת הינה שלכנות שונות יש עמידות שונה לקולחים, בדומה לידוע לגבי עמידות למליחות ולתכונות קרקע (גיר, pH ואוורור). חלקת המחקר נבחרה בהתאם, כך שהכנות יהיו אחידות.

3. **מטרות המחקר והתועלת הצפויה:** מטרת המחקר הכללית הינה מציאת מענה לתופעת הפגיעה במטעים המושקים בקולחים בקרקעות כבדות. עיקר המאמץ המחקרי הינו בבחינת פתרונות לבעיית האוורור ולאינטראקציות שבין בעיית האוורור לבעיות המליחות (פוטנציאל אוסמוטי) והרעילות הספציפית של נתרן וכלור.

נבחנות השיטות האגרוטכניות הבאות למניעה ו/או מזעור של נזקים לקרקע ולעצים מהשקיה בקולחים בקרקעות כבדות:

א. התקנת תעלות אוורור

ב. ממשק השקיה מותאם לקולחים – תדירות נמוכה ופירוס טפטפות על שטח מוגדל.

ג. הקטנת ערך ה-SAR של הקולחים ע"י העלאת ריכוז יונים דו ערכיים (סידן ו/או מגנזיום) ו/או הקטנת ריכוז הנתרן (ע"י מיהול במים שפירים ברמה הנדרשת).

מטרות משנה הן:

א. לזהות ולאפיין את השינויים (עיתיים ורצופים) בהרכב תמיסת הקרקע, ובתכונות הקרקע באזור בית השורשים בעקבות השקיה ממושכת בקולחים, בהשוואה למים שפירים ובהשוואה לממשקים אגרוטכניים שנועדו לשפר את האוורור.

ב. לבחון תגובה של עצים הגדלים בקרקעות כבדות, מרמת התהליכים הפיזיולוגיים בעלים ובשורשים ועד לרמת הצמח השלם בעקבות השקיה בקולחים, בהשוואה למים שפירים ובהשוואה בין הממשקים.

ג. שימוש במודל תלת-מימדי של פירוס תכונות הקרקע הרלוונטיות לזרימה והסעה, בהתבסס על מדידות של תכונות אלה ותוך שימוש בכלים גיאוסטטיסטיים כדי: א. לנתח זרימת מים והסעת מומסים בחתך הקרקע במטע (פרדס ומטע אבוקדו) המושקה בקולחים באמצעות מודל פיזיקלי תלת-מימדי של זרימה והסעה, המביא בחשבון את האינטראקציה בין הזורם לקרקע והשפעתה על תכונות ההולכה של הקרקע; ב. להעריך את ההשפעה ארוכת הטווח של שימוש בקולחים על תכונות הקרקע, על הולכת מים ומומסים ועל קליטת מים ע"י השורשים; ג. לבחון ולהדגים את ההשפעה של הטיפול האגרוטכניים שהוצגו (תעלות אוורור, ממשק השקיה, הקטנת ערך ה-SAR) על תכונות הקרקע, על הולכת מים ומומסים ועל קליטת מים ע"י השורשים.

ד. אופטימיזציה של הטיפולים האגרוטכניים הנ"ל לשמירה על רמה רצויה של יבול ושל איכות מי התהום.

4. חומרים ושיטות

א. מבנה הניסוי

הניסוי מתבצע בחלקה 12 בקבוץ יסעור. שטח החלקה הינו של כ-17 ד' שניטעה בשנת 2009, בזנים האס על כנה דגניה 117 ואטינגר על כנה אשדות 17. נבחנו 5 טיפולים (טבלה 1). הניסוי מבוצע בשש חזרות במתכונת של אקראיות גמורה כאשר בכל חזרה שלוש שורות של 7 עצים כאשר בכל חזרה 2-3 עצי אטינגר באחד משורות הגבול. עצי המדידה הם שלושת העצים המרכזים בשורה המרכזית של כל חזרה (רק עצי האס). תוכנית חלקת הניסוי מוצגת בנספח 1. החלקה מושקית בטפטוף עילי, 2-4 שלוחות לשורה מסוג (יונירעם) 0.7 או 1.6 לישעה במרווח של 0.3 מ' - 'נטפים'). ההשקיה תוכננה במטרה ליישם את אותה כמות מים בכל הטיפולים, ואכן, ההבדלים בין הטיפולים קטנים והטיפול של תעלות האוורור קיבל 5.7% יותר מים מטיפול הקולחים ביקורת (טבלה 2), הצטברה במשך מספר שבועות לפער של כ-100 מ"קד' לעומת הטיפולים האחרים. כמויות דשן (בהתחשב בערך הדישוני של הקולחים) של הטיפולים שנתנו בפועל מוצגות בטבלה 3.

טבלה 1: פירוט הטיפולים

מספר שלוחות	טיפול			
	קוד	סוג מים	אינטרוול השקיה	תיאור הטיפול
1.612 ל'שי	TWW	קולחים	שלוש פעמים בשבוע	השקיה משקית
1.612 ל'שי	FW	שפירים	שלוש פעמים בשבוע	השקיה משקית
1.613 ל'שי	LFI	קולחים – ממשק השקיה	פעמיים בשבוע	אינטרוול ארוך
0.714 ל'שי	MIX	קולחים-שפירים	שלוש פעמים בשבוע	50% קולחים ו-50% מים שפירים כל שלוחה הינה חיבור של 2 שלוחות של טפטפות 0.7 לישעה
1.612 ל'	TUF	קולחים-תעלות אוורור	השקיה יומית פרט לשבת	שתי תעלת אוורור (אחד מכל צד של העץ במרחק 30 ס"מ מהגזע). התעלות הן 25 רוחב ו-30 ס"מ עומק ומלאות בטוף 8-0

טבלה 2: כמויות מים שניתנו בפועל במהלך עונת ההשקיה, 2017.

טיפול		קוד
סוג מים	כמות מים [מ"קד']	
קולחים	891.4 (100%)	TWW
שפירים	894.1 (100.3%)	FW
קולחים – ממשק השקיה	900.2 (101%)	LFI
קולחים-שפירים	קולחים = 450.6 + שפירים = 450.8 – סה"כ = 901.4 (101.1%)	MIX
קולחים-תעלות אוורור	942.6 (105.7%)	TUF

טבלה 3: כמויות של יסודות הזנה

כמות יסודות הזנה [ק"ג/ד']									סוג הדשן	טיפול	
סה"כ			מים			דשן				סוג מים	קוד
K ₂ O	P ₂ O ₅	N	K ₂ O	P ₂ O ₅	N	K ₂ O	P ₂ O ₅	N			
57.7	5.5	46.1	41.1	5.5	12.6	16.6	--	33.5	12-0-6	קולחים	TWW
42.1	---	39.9	3.6	---	1.4	38.5	--	38.5	8-0-8	שפירים	FW
59.4	5.5	48.9	41.5	5.5	12.7	17.9	--	36.2	12-0-6	קולחים –ממשק השקיה	LFI
30.2	2.8	25.5	20.7	2.8	6.4	9.5	--	19.1	12-0-6	קולחים	MIX
17.5	---	16.4	1.9	---	0.8	15.6	--	15.6	8-0-8	שפירים	
47.7	2.8	41.9	22.6	2.8	7.2	25.1	--	34.7		סה"כ	
62.3	5.8	51.3	43.4	5.8	13.3	18.9	--	38.0	12-0-6	קולחים-תעלות אוורור	TUF

ב. איכות המים

בטבלה 4 מוצגת איכות המים. מקור הקולחים המשמשים להשקיית החלקה היא מאגר יסעור שמקבל קולחים ממט"ש כרמיאל.

טבלה 4: איכות מי ההשקיה

סוג מים	יחידות	pH	מוליכות חשמלית dS/m	כלוריד מ"ג/ל'	נתרן מ"ג/ל'	סידן מ"ג/ל'	מגנזיום מ"ג/ל'	אשלגן מ"ג/ל'	בורון מ"ג/ל'	דו-פחמה מא"ק/ל'	גפרה מ"ג/ל'	SAR
שפירים	ממוצע	7.8	0.82	92	1.4	4.7	2.7	3.4	0.07	5.5	8.6	0.70
	סטיית תקן	0.20	0.03	16.4	0.1	0.4	0.39	1.80	0.09	1.23	2.76	0.03
קולחים	ממוצע	8.4	1.59	233	7.6	4.2	3.1	38.4	0.10	7.1	75.3	3.99
	סטיית תקן	0.4	0.10	21.4	0.9	0.5	0.5	4.0	0.02	1.4	11.9	0.43

סוג מים	יחידות	TSS	BOD	COD	חנקן חנקתי מ"ג/ל'	חנקן אמוניאקלי מ"ג/ל'	חנקן קלדהל מ"ג/ל'	זרחן מסיס מ"ג/ל'
שפירים	ממוצע				3.6		1.6	
	סטיית תקן				0.1		2.69	
קולחים	ממוצע	13	11	41	7.1	7.7	14.1	2.8
	סטיית תקן	8	4	13	5.0	9.1	12.2	1.7

ג. מעקב בקרקע

אפיון השפעת הטיפול על ההרכב הכימי של תמיסת הקרקע:

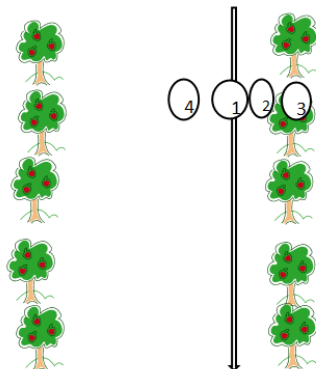
מטרת הפעילות במהלך השנה השנייה הייתה לאפיין את השפעת הטיפולים על ההרכב הכימי של תמיסת הקרקע (פאזה מוצקה ומומסת) בכדי להבין את המנגנונים המשפיעים על התכונות הפיזיקליות של הקרקע ועל העצים.

דיגום קרקע בוצע בשלושה מועדים: נובמבר 2016, יוני 2017, דצמבר 2017. הדיגום הראשון, נובמבר 2016 בוצע בתום עונת ההשקיה הראשונה על פי הטיפולים של הניסוי, אך האנליזות בוצעו לאחר פרסום דו"ח השנה הראשונה ולכן הן מוצגות בדו"ח הנוכחי. במועד זה התמקדנו בטיפול תעלת האוורור כדי להבין איך התעלה משפיעה על שטיפת המומסים בכוון האנכי ובכוון האופקי ולכן נעשתה השוואה בין טיפולי הקולחים עם וללא תעלות טוף. בשני מועדי הדיגום הבאים ביוני ונובמבר 2017 נדגמו כל חלקות הניסוי (כלומר כל החזרות של כל הטיפולים). בשני המועדים בתום עונת ההשקיה, נובמבר 2016 ודצמבר 2017 מיקום דיגום הקרקע העיקרי היה מתחת לשלוחת הטפטוף לחדך עומק של 90 ס"מ בחלוקה לשלוש שכבות 0-30, 30-60, ו-60-90 ס"מ. בוצע דיגום נוסף בשכבה 0-30 ס"מ בשלושה מיקומים נוספים: בשורת העצים, בניצב לשלוחת הטפטוף במרחק 30 ס"מ מהשלוחה לכוון שורת העצים, ולכוון הנגדי (איור 1) בחלקות טיפול הקולחים עם תעלות אוורור בנובמבר 2016 ודצמבר 2017, כאשר במועד האחרון הוספנו לדיגום זה גם את טיפול הקולחים המשקי. בדיגום בסוף עונת החורף ביוני 2017 בוצע דיגום לעומק 90 ס"מ בשורת העצים ודיגום לעומק 60 ס"מ מתחת לשלוחת הטפטפות.

נבדקו המדדים הבאים:

i. בפאזה המומסת נבדקו במיצוי מים: קרקע ביחס של 1:2 - מוליכות חשמלית (EC), pH, נתרן (Na), אשלגן (K), סידן (Ca), מגנזיום (Mg), כלוריד (Cl), פחמן אורגני מומס במים (DOC), חנקן כללי מומס (TDN), מדידת UV254, וחושבו ערכי ה-SAR.

- ii. זמינות יסודות הזנה – חנקן מינראלי זמין נבדק במיצוי 1N KCl וזרחן זמין במיצוי אולסן.
- iii. בפאזה המוצקה נקבעו – קבול הקטיונים החליפים (CEC), הרכב הקטיונים החליפים (Ca, Mg, Na, K), פחמן אורגני בקרקע, חנקן כללי בקרקע.
- בשני המועדים האחרונים נבדקו רק חלק מהמדדים (לא בוצעו חלק מהאנליזות בתמיסות הקרקע ובשלב זה לא מתוכנן לבצע את האנליזות של הפאזה המוצקה).



- 1* indicates under the dripper (30-60 and 60-90 cm under drippers)
 2* indicates 30 cm from the drippers to the row of trees
 3* indicates between trees in the row
 4* indicates 30 cm away from the drippers out of the rows of trees

איור 1: סכימה של מיקום דיגומי הקרקע. הדיגום עד עומק 90 ס"מ בנובמבר 2016 ובדצמבר 2017 היה בנקודה 1 (מתחת לשלוחות). ביוני 2017 הדיגום עד עומק 90 ס"מ היה בנקודה 3 (בין העצים) והדיגום הנוסף לעומק 60 ס"מ היה בנקודה 1 (מתחת לשלוחות).

מעקב אחר רטיבות הקרקע:

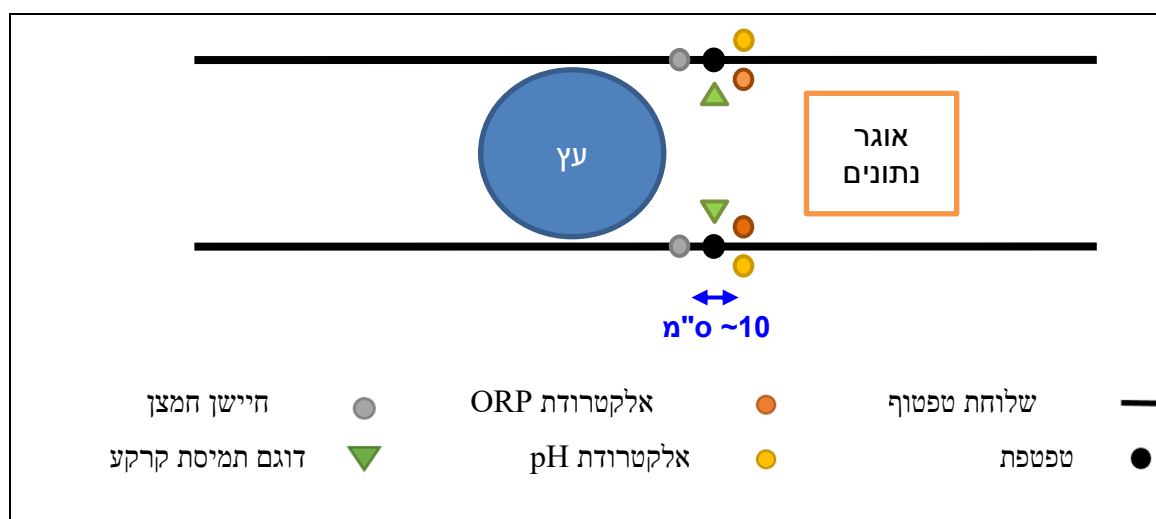
הוקם מערך ניטור לרטיבות קרקע במטע האבוקדו, שנתוניו מהווים בסיס ייחוס לכל קבוצות המחקר. לצורך כך נרכשו חיישני TDT מתוצרת Acclima למדידת תכולת הרטיבות בקרקע. החיישנים הוטמנו בשטח בעיקר בקבוצות של ארבעה חיישנים (אחד מעל השני, בעומקים של 10, 30, 50 ו- 80 ס"מ, מתחת לפני הקרקע) עפ"י הפירוט הבא:

- i. בטיפולים A (קולחים, TWW), B (שפירים, FW), C (קולחים בממשק תדירות השקיה נמוכה, LFI) ו- D (מיהול שולחים-שפירים, MIX), שתי קבוצות בכל טיפול בשורות 12 ו- 21, 15 ו- 18, 15 ו- 21, 12 ו- 18, בהתאמה. בכל אחד מהמקרים קבוצת החיישנים הוטמנה בשורת העצים בין שני עצים סמוכים.
- ii. בטיפול E (שוחת טוף, TUF) הוטמנה רביעיית חיישנים בשורות 18 ו- 21 עפ"י הפירוט הנ"ל. בנוסף, בשורה 21 הוטמנה רביעיית חיישנים נוספות כמטר בכיוון המעבר בין השורות, וכן הוטמנו שני חיישנים בתוך שוחת הטוף (בקירוב בעומקים של 10 ו- 30 ס"מ מתחת לפני הקרקע).

כל החיישנים חוברו לשני אוגרי נתונים (משותפים לקבוצת שבתאי כהן) במהלך חודש נובמבר 2016. הטמנת החיישנים מחייבת הפרה של הקרקע (לצורך חפירת בורות לחיישנים). אי לכך אין הרבה חשיבות למדידות המתקבלות בחודשים הראשונים ויש להמתין עד לחזרה של הקרקע להידוק הטבעי. להערכתנו במהלך השנה השנייה החלו להתקבל תוצאות משמעותיות, כפי שמוצג בהמשך. במהלך השנה התמודדנו ממושכות בפגיעה במערכת ע"י נברנים וחזירי בר, עד כדי החלפת חלק ניכר ממערכת התקשורת בכבלים משוריינים, פעולה שגזלה לא מעט זמן ותקציב. עם זאת נראה שהמערכת כעת יציבה ונתקלת במיעוט יחסי של בעיות.

מדידות פוטנציאל חמצון חיזור ורמות חמצן בבית השורשים:

1. רקע: פוטנציאל החמצון חיזור הינו משתנה בעל השפעה מכריעה על תהליכים כימיים רבים בקרקע, ובכללם על זמינות יסודות חיוניים לצמח או על עליית ריכוז של תרכובות שעשויות להיות בעלות השפעה שלילית לצמחים כבר בכמויות נמוכות. פוטנציאל החמצון-חיזור (רדוקס) מושפע ממצב האוויר בקרקע, ובעיקר מריכוז החמצן שהוא המחמצן החזק הנפוץ ביותר בקרקע. המצב השכיח בקרקעות מנוקזות הוא מצב מאוורר שבו דיפוזיית החמצן בקרקע תקינה ופוטנציאל הרדוקס גבוה. במצב זה עיקר התרכובות והיסודות המשתתפים בריאקציות חמצון חיזור יימצאו במצב מחומצן. כאשר יורד ריכוז החמצן, לרוב עקב הרוויה ממושכת של הקרקע, פוטנציאל הרדוקס בקרקע יורד והצורונים המחוזרים הופכים דומיננטיים יותר. היבט נוסף של ירידת ריכוז החמצן הוא פגיעה בנשימת השורש ופגיעה בתהליכים פיזיולוגיים שונים.
- השקיה בקולחים מוסיפה לקרקע חומר אורגני מסיס הגורם לצריכת חמצן מוגברת בקרקע. כמו כן מוסיפים הקולחים נתרן בריכוזים גבוהים בהשוואה להשקיה במים שפירים. עליית ערכי ה-SAR מלווה בקרקעות חרסיות בתהליכי תפיחה ואיטום של הקרקע, ואלה פוגעים בקצב דיפוזיית הגזים. השילוב של עליית קצב צריכת החמצן בקרקע יחד עם פגיעה בקצב דיפוזיית החמצן אל תוך הקרקע, גורם לירידה ברמת החמצן ובפוטנציאל הרדוקס, ולפגיעה בצמחים הגדלים בה. בקבוצת המחקר שלנו נבדקת ההשפעה של ממשקים שונים על התנאים בבית השורשים ועל הצמח השלם.
2. הצבת תחנות המדידה: בשטח מתבצעות מדידות רציפות של פוטנציאל הרדוקס, ערכי ה-pH ורמות החמצן, באמצעות חיישנים ייעודיים אשר הוחדרו לקרקע בעומק 35 ס"מ ובמרחק של 5-8 ס"מ מהטפטפת. כל חצי שעה מתבצעת קריאה והנתונים נשמרים באוגרי נתונים המוצבים בשטח. ישנן 15 תחנות מדידה, 3 תחנות עבור כל טיפול, ובכל תחנה נלקחות מדידות בשתי נקודות, משני צדי העץ. מערכת המדידה ואיסוף הנתונים ניזונה מפאנלים סולאריים, ועקב גידול העצים נוצרו בעיות הצללה, אי טעינה ואף הפסקת פעילות איסוף הנתונים. חלק מהחיישנים חוברו למערכת אלטרנטיבית של איסוף נתונים, וכרגע איסוף הנתונים מלא יותר, אך עדיין אין פתרון מלא לבעיה.
- פוטנציאל הרדוקס נמדד באמצעות אלקטרודות פלטינום בעלות פס רחב, ובסמוך להן, במרחק של 1-2 ס"מ, הוצבה אלקטרודת pH ובמרחק כ-10 ס"מ הוצב חיישן חמצן (KE-50, Figaro Engineering Inc., Osaka, Japan). המודד את ריכוז החמצן הגזי בנקבובי הקרקע. נתוני החמצן נאספים באוגרי הנתונים של קבוצת שבתאי כהן. בנוסף למדידות הרציפות הוצבו באותו עומק של החיישנים דוגמים של תמיסת קרקע. מבנה תחנות המדידה מוצג באיורים 2-4, והוא כולל שישה חיישנים לתחנה, ובסך הכל 90 חיישנים לעיקוב רציף אחר התנאים בבית השורשים. בנוסף, בסמיכות לנקודות המדידה, במרחק כ-10 ס"מ ובעומק זהה לזה של החיישנים, מותקנים בכל תחנה שני דוגמי תמיסת קרקע אינרטיים (MacroRhizons, חברת Rhizosphere Research Products, Wageningen, הולנד), לדגימת תמיסת הקרקע.



איור 2: הצגה סכמתית של הצבת החיישנים ודוגם תמיסת הקרקע בכל תחנת מדידה.



איור 4: אלקטרודות ודוגם תמיסה מוצבים בקרקע



איור 3: תחנת מדידה מגודרת.

ניתוח של זרימת מים והסעת מומסים במטע המושקה בקולחים בקרקע חרסיתית עם תעלות אוורור:

1. **מטרות המחקר בשנה השנייה:** (1) להרחיב ולהתאים את המודל הפיסיקלי של זרימת מים והסעת מומסים (Russo et al. 2015) לתנאים בהם שורות עצי המטע נטועות על גודדיות עם תעלות אוורור לאורכן, תוך התחשבות בהשפעת פרוס תכולת האוויר בקרקע על קליטת המים ע"י שורשי העצים; (2) ליישם את המודל המורחב לניתוח של זרימה והסעה במערכת זרימה מציאותית (סקאלת שדה, תלת-ממדית, הטרוגנית) הכוללת מטע המושקה במים מושבים, ולבחון את תגובת מערכת הזרימה לסוג התווך הנקבובי הממלא את תעלות האוורור ולאיכות מי ההשקיה; ו- (3) לבחון בצורה השוואתית תרחישי זרימה והסעה המתאימים לטיפולים שבוצעו בפועל במטע ולהציע תרחישים נוספים.
2. **מודל הזרימה וההסעה:** מודל הזרימה וההסעה (Russo et al. 2001; 2004) ו- Russo (2013) פותח והותאם לפרדס מזרע ומתואר ב- Russo et al. (2015). המודל מאפשר ניתוח כמותי של זרימה והסעה בקרקע כבדה, רוויה/לא-רוויה, המכילה תלכידים, שתכונותיה משתנות במרחב, תוך התחשבות בתהליכים של ספיחה/שחרור, שקיעה/המסה, ובשינויים בפרוס גודל תלכיד ונקבובי הקרקע החלים כתוצאה מהאינטראקציה בין הזורם לבין הקרקע. במסגרת עבודת המחקר הנוכחית, המודל הותאם לתנאים במטע האבוקדו ביסעור, ז.א., שורות העצים נטועות על גודדיות עם תעלות אוורור לאורכן. בנוסף, במודל המשופר

נלקחה בחשבון השפעת פרוס תכולת האוויר בקרקע על קליטת המים ע"י שורשי העצים תוך שימוש במודל שהוצע ע"י (Naasz et al. 2008).

הסכימה הנומריה ששולבה עם פרוצדורה איטרטיבית לקביעת אזורי איגום בפני הקרקע (הנוצרים בסמוך לטפטפות, או במהלך גשם/המטרה בעוצמות יחסית גבוהות), מתכנסת ויציבה בלתי-מותנית עבור משוואת הדיפוסיה הלינארית. מבחנים מוקדמים הראו שהסכימה שפותחה אינה מתנוונת בתנאי זרימה רוויה ומתאימה למקרים בהם עיקר שגיאות הקיטוע הן מרחביות, ולכן, מתאימה לקרקעות הטרוגניות בהם עשויים להתפתח גרדיינטים תלולים של העומד מחד, ואזורים רוויים, מאידך.

בניתוח נלקחו בחשבון תכונות כימיות ופיסיקליות של הקרקע והשתנון במרחב, שיטת ההשקיה, משטר ההשקיה, איכות מי ההשקיה, נתונים מטאורולוגיים (גשם, התאדות), וקליטת מים ע"י שורשי העצים. האנליזה הנומריה נעשתה ע"י מודל נומרי המבוסס על שילוב המודל הנומרי התלת-מימדי של (Russo et al, 2001) עם מודל לתיאור כמותי של התלות של תכונות ההולכה של קרקע עם פירוס נקבובים בי-מודלי בהרכב וריכוז תמיסת הקרקע, שמצידו יתבסס על המודל של (Russo and Bresler, 1977) עבור קרקע עם פירוס נקבובים חד-מודלי.

להשגת מטרות המחקר התייחסנו לחלקת מטע אבוקדו הנטוע על גדודיות (שגובהן 45 ס"מ ורוחב במתן 1.60 מ') במרווחי נטיעה של 3.5 מ' X 6 מ'. החלקה מושקת ע"י מערכת טפטוף, 2 שלוחות לכל שורת עצים, כל שלוחה במרחק 45 ס"מ ממרכז הגדודית. המרחק בין הטפטפות לאורך השלוחות הוא 30 ס"מ וספיקת הטפטפות 1.6 ליטר/שעה. מרכזיהן של שתי תעלות אוורור הממוקמות לאורך הגדודית נמצאים במרחק 90 ס"מ אחד מהשני ו- 45 ס"מ ממרכז הגדודית. רוחב התעלות 30 ס"מ ועומקן 30 ס"מ. בסימולציות של הזרימה וההסעה נלקח בחשבון אזור זרימה הכולל 2 שורות עצים (עם 2 עצים לכל שורת עצים) שממזיו האופקיים 15 מ' X 7 מ' ועומקו 3 מ'.

בניתוח זרימת המים והסעת המומסים נלקחו בחשבון תרחישים מציאותיים של ממשקי השקיה, התאדות פוטנציאלית, ונוכחות שורשי העצים. מכיוון שהפונקציות ההידראוליות של הקרקע באתר הניסיוני לא נאמדו עדיין, בשלב זה של העבודה נעשה שימוש בפונקציות ההידראוליות של קרקע חרסיתית עם תלכידים מפרדס מזרע (Russo et al. 2015, Bardhan et al. 2015) לתיאור מקומי של התכונות ההידראוליות במצב "יציב". פרופילים מדודים של תכולת הרטיבות, ריכוזי כלוריד, נתון וסידן בתמיסת הקרקע ואחוז נתון חליף בקרקע בסוף עונת הגשמים שימשו כנתוני התחלה להדמיית הזרימה וההסעה במטע האבוקדו. נתוני פירוס השורשים של עצי האבוקדו נלקחו מהספרות (Salagado and Cautin, 2008).

סימולציות של זרימה והסעה בוצעו עבור תקופת השקיה של 180 יום (השקיות יומיות) עם מים מושבים (ריכוז כלוריד 12.5 מא"ק/ליטר, SAR=3.56). הכמויות המצטברות של מי ההשקיה ושל האופוטורנספירציה הפוטנציאלית שנלקחו בחשבון היו 806 מ"מ ו-690 מ"מ, בהתאמה.

נבחנו חמישה תרחישים המתאימים לחמישה הטיפולים שבוצעו בניסוי (טבלה 1).

בנוסף נערכו הדמיות של ארבעה תרחישים נוספים שלא בוצעו בניסוי :

6. קולחים + מים מותפלים, עפ"י שיטה מוכוונת-נתונים (Russo et al. 2015) (ADW).

7. קולחים עם תעלות חול (SAND).

8. קולחים עם תעלות טוף, השקיה בפולסים (TUF+PULSE).

9. קולחים עם תעלות חול, השקיה בפולסים (SAND+PULSE).

התכונות ההידראוליות של הטוף והחול מוצגות ב- (Russo et al. 2008).

ד. מעקב צמחי

1. צריכת מים של עצים: צריכת מים (זרימה בגזע) נמדד עם חיישנים מסוג פיזור חום שנבנו במעבדה שלנו בבית דגן (Granier, 1985). החיישנים באורך 20 מ"מ ובעובי 2 מ"מ, הוכנסו ל-50 עצים בניסוי, 10 עצים לטיפול בשתי חלקות מכל טיפול. מרחק בין חיישן מחומם ללא מחומם כ-10 ס"מ כאשר העליון מחומם. אחרי ההתקנה החיישנים כוסו בקצף פוליאוריתאן לבידוד וכוסו בנייר אלומיניום. החיישנים חוברו לשלושה אוגרי נתונים תוצרת חברת Campbell Scientific והמדידות הוקלטו כל 15 דקות. שיטת המדידה, כיוול, וחישובים מתוארים ע"י Paudel et al. (2015).
ההתקנה בוצע בתחילת יולי 2016 כאשר תחילת עבודה סדירה עם מערכת תקינה ברובה החלה בחודש אוגוסט 2016. ב-2017 המערכת עבדה מתחילת מאי ובהמשך כל השנה. התוצאות המובאות פה הן ממאי עד סוף אוקטובר, העונה שחשובה ביותר לגבי השקיה.
מדידות זרימה בגזע, כפי שהן נעשות במחקר זה, מבוססות על כיוולים שנעשו במיני עצים שונים ובהנחה ששטף הזרימה דועך עם העומק בעצת העץ עד לעומק של 50 מ"מ באופן ליניארי, כפי שנצפה במינים רבים וגם בעצי אבוקדו (ראה גם Cohen et al 2008). כיוול חיישני פולס חום בעץ אבוקדו על מאזניים במחלקה שלנו הראה שמקדם הכיוול שלו דומה לזה של מינים אחרים (Cuantarias, 1995). לכן יש להתייחס למדידות זרימה בגזע ככמותיות ולא רק לצורך זיהוי הבדלים יחסיים בין טיפולים.
2. פוטוסינתזה ומוליכות עלים לאדי מים: מעבר גזים בעלים נמדד בעזרת מכשיר ייעודי LICOR LI-6400XT. המדידות נעשו בימים בודדים בחודשים יוני, יולי ואוגוסט במהלכים יומיים משעה 9:30 בבוקר ועד 15:00 אחה"צ. בכל טיפול נמדדו לפחות 7 עלים מוארי-שמש שנבחרו באקראי בכל טיפול. בנוסף למדידות פוטוסינתזה ומוליכות, נמדדה גם פלורסנציה של כלורופיל. מדידות אלה מובאות כ-Fv/Fm. מכיוון שלא נמצאו הבדלים מובהקים בין הטיפולים לא הבאנו ניתוחים נוספים של מדידות אלו, כלומר קצב הולכת אלקטרונים.
3. יחסי איזוטופים יציבים של פחמן בעלים: בסוף עונת ההשקיה נדגמו עלים למדידות איזוטופים יציבים. העלים יובשו ונטחנו. עד למועד הדו"ח לא התבצעו מדידות יחסי איזוטופים אך הן יבוצעו בהמשך ודיווח על התוצאות האלה יהיה בשנה הבאה.
4. צמיחת שורשים בשיטת Minirhizotron: התפתחות שורשים נמדדה ע"י מערכת סורק מיני-ריזוטרון מסוג CI-600 של חברת CID ארה"ב. 30 צינורות שקופים מפוליקרבונט באורך 150 ס"מ כל אחד הותקנו בחלקה, אחד לחלקה ליד עץ טיפול אופייני שלידו הותקנו גם גילי הרשת עבור דגימת שורשים. קידוחי הקרקע להחדרת הצינורות נעשו ע"י מקדח ממונע על טרקטור. החלק העליון של הצינורות שבלט מעל פני הקרקע נצבע מבפנים בשחור ומבחוץ בלבן ע"מ למנוע מאור לחדור לצינור וכדי שהצינורות לא יתחממו. בנוסף, הפתח העליון של הצינורות כוסה במכסה כדי למנוע כניסת מים ולכלוך. תאריך ההתקנה היה ב-13 ליוני 2016 והמדידות הראשונות בעזרת הסורק נערכו ב-22 לנובמבר 2016. כל סריקה נותנת תמונה של 360° ברוחב 20 ס"מ. נעשו סריקות מעומק 0 עד 120 ס"מ. התמונות הועברו למחשב שולחני ועובדו בעזרת תוכנה ייעודית (CI-690 RootSnap, CID Bio-Science, Camas, WA98607, USA).
5. צמיחת שורשים בשיטת גילי רשת (Ingrowth Cores): בכדי לעקוב אחרי התפתחות השורשים בטיפולים השונים נעשה שימוש גם בשיטת גילי רשת (Ingrowth Cores). בכל מועד (טבלה 5) בדיקה גילי הרשת הוצאו ונלקחו למעבדה במכון וולקני. לכל הקידוחים הוכנסו גילי רשת חדשים ומולאו בקרקע נקייה. השורשים מהגלילים נשטפו ואוחסנו עד למדידה בקירור באלכוהול 20%. לאחר מכן נסרקו השורשים

במעבדה באוניברסיטת ת"א ונקבעו אורך, קוטר ושטח פנים שלהם בתכנה ייעודית WinRhizo 2005b (Regent Instruments, Quebec, Canada). לאחר הסריקה השורשים יובשו בתנור (80°C , 48h) לקביעת משקלם היבש. מנתונים אלה חושב קצב צמיחת השורשים, במדדים השונים, בכל תקופה והתפלגות השורשים לפי הקוטר שלהם ואורך השורשים הסגולי (SRL) במועד הדגימה.

טבלה 5: מהלך הבדיקות של גלילי השורשים מתחילת הניסוי

תאריך	משך הזמן לצמיחת שורשים עד לבדיקה	
13/06/2016		הכנסת גלילים בפעם הראשונה
22/11/2016	5.3 חודשים	הוצאת גלילים [ללא מילוי קרקע*]
24/01/2017		מילוי קרקע לאחר ההוצאה הראשונה
16/05/2017	3.6 חודשים	הוצאת גלילים והכנסת חדשים
27/09/2017	4.3 חודשים	הוצאת גלילים והכנסת חדשים

* בגלל גשמים לא ניתן היה למלא קרקע מיד לאחר ההוצאה של הגלילים.

6. ריכוזי מינרלים בעלים ובדגימות גזע:

- i. **רקע:** מטרת האנליזה של תכולת המינרלים בחלקי הצמח היא לזהות מחסור בחומרי הזנה או הצטברות של מינרלים בעלי השפעה מזיקה וכן כהמלצה לתכנון הדישון. תכולת המינרלים בעלים של מינים שונים מצביעה על קיום הבדלים לאורך העונה וכן הבדלים הנובעים מגיל העלה. לאור העובדה שמינרלים מסוימים עשויים להצטבר ברקמות הגזע או השורש, כאמצעי למניעת "הסעתם" אל הנוף, אנליזה מינרלית של דגימות מרקמות אלו עשויה להשלים את תמונת מאזן המינרלים של העץ. דגימת רקמת הגזע עשויה לבטא את צבירת המינרלים במהלך מספר עונות. תאי הפרנכימה של העצה הם תאים חיים (תאי הפרנכימה של עצת הירך) וממלאים תפקיד מרכזי באגירת עמילן ותרכובות אורגניות ואי אורגניות. לדוגמה, עליה בריכוז הנתרן ברקמות הגזע עלולה בטווח הארוך להיות בעלת משמעות לתפקודו של העץ.
- מטרת החלק הנוכחי של המחקר היא למדוד את ההשפעה של השקיה בקולחים על ריכוזי המינרלים בעלים צעירים שנוצרו במהלך הקיץ האחרון ובעלים בוגרים בני שנתיים לפחות (גיל העלים בעצי אבוקדו אינו עולה בד"כ על ארבע שנים). ההנחה העומדת בבסיס חלק זה של המחקר היא כי הקינטיקה של הצטברות המלחים בחלקים הרב שנתיים של העץ מהווה אינדיקטור לקצב שבה מתפתחים בעץ תנאי עקה הנגרמת ממחסור או מעודפי מינרלים.
- ii. **ביצוע הדגימות:** דיגום העלים והגזע בוצע בנובמבר לפני תחילת הגשמים. נדגמו שישה עצים מכל טיפול (עץ לכל חזרה). שורשים בקוטר שבין 0.2 ל-0.6 ס"מ נדגמו מהקרקע ומתעלת הטוף בעומק שבין 0 ל-30 ס"מ. העצה של הגזע נדגמה ע"י איסוף נסורת מקידוח נקב בגזע בקוטר שישה מ"מ לעומק של כחמישה ס"מ. הקידוח בוצע ברוכב בגובה של כ-10 ס"מ מפני הקרקע. הנסורת שנאספה בזמן הקידוח כללה את רקמות הגזע, כולל: פרידרם, שיפה ועצה (לאחר הקידוח הנקב שנוצר בגזע נסתם "במשחת עצים"). נדגמו עלים צעירים קרוב לגודל הסופי של העלה ועלים בוגרים מבסיסי ענפים בוגרים. דגימות השורש והעלים נשטפו היטב כמקובל ויחד עם נסורת הגזע יובשו בתנור 70°C במשך שלושה ימים. החומר הצמחי נטחן ודוגמאות שמשקלן 150 מ"ג אוכלו באמצעות חומצה ניטרית בטמפרטורה שהועלתה בהדרגה עד 130°C המיצוי נמהל וריכוז המינרלים נמדד באמצעות ICP.

- iii. **פוטנציאל המים בצמח:** על-מנת לקבוע את משק המים בעצים נמדד פוטנציאל המים בגזע בתדירות של פעם בשבועיים לאורך העונה. המדידות בוצעו באמצעות תא לחץ (PMS OR USA) על עלים מחובו של הנוף שכוסו בשקית פלסטיק מצופה נייר אלומיניום כשעה וחצי עד שתיים לפני המדידה (בשעת הצהריים). נמדדו שני עלים לעץ ושני עצים לחזרה.
- iv. **יבול:** בכל החזרות מכל טיפול נקטפו באופן נפרד שלושה עצי המדידה ונמדד מספר הפירות לעץ ובוצעה שקילה של כל פרי בנפרד לקבלת התפלגות גודל הפרי. בנוסף נקטף היבול של עצי אטינגר שנמצאים בכל חלקות הניסוי כעצי שוליים.

5. תוצאות ודיון

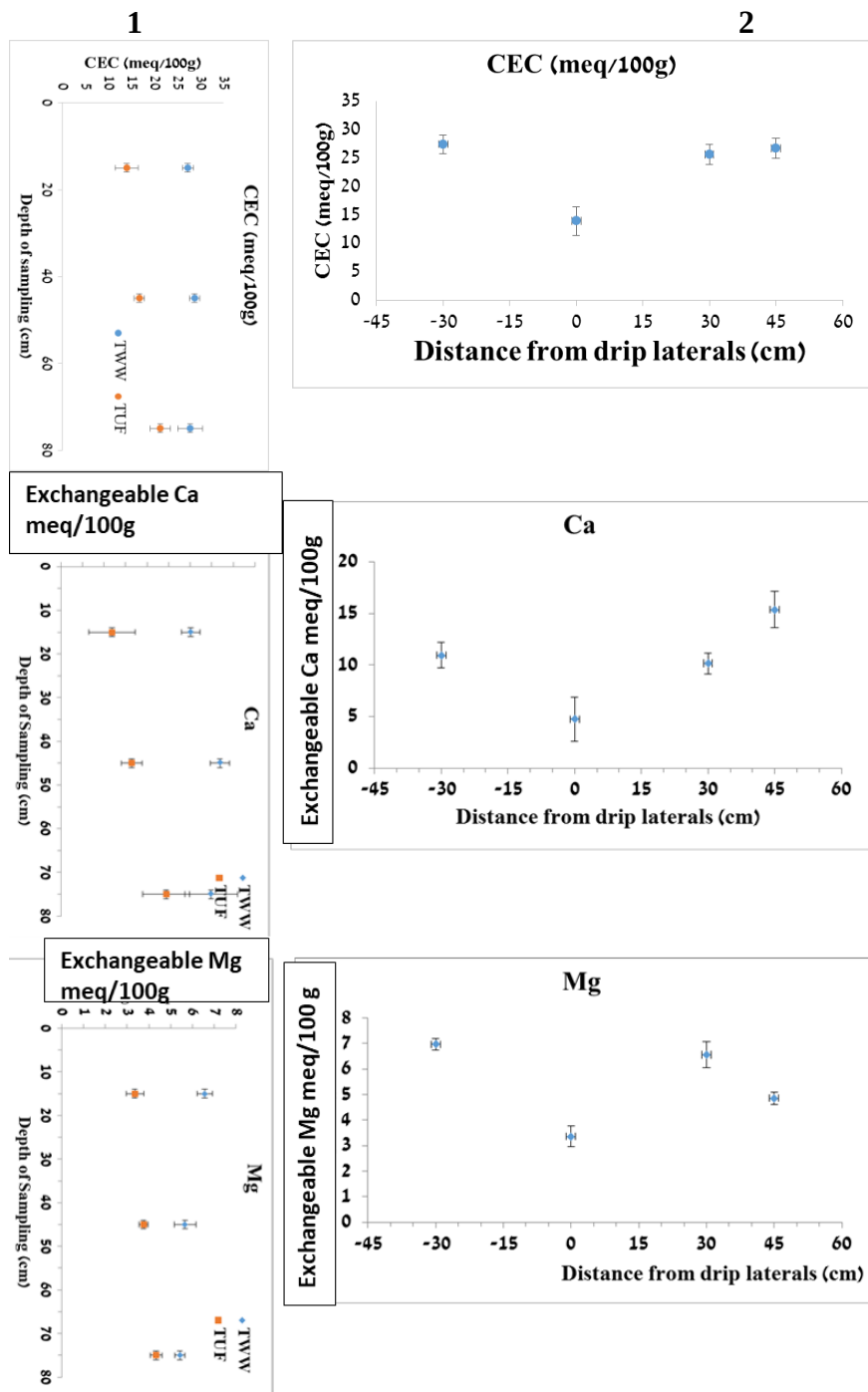
i. מעקב קרקע

א. מעקב אחר הרכב הפאזה המוצקה והמומסת בקרקע

נובמבר 2016

פאזה מוצקה

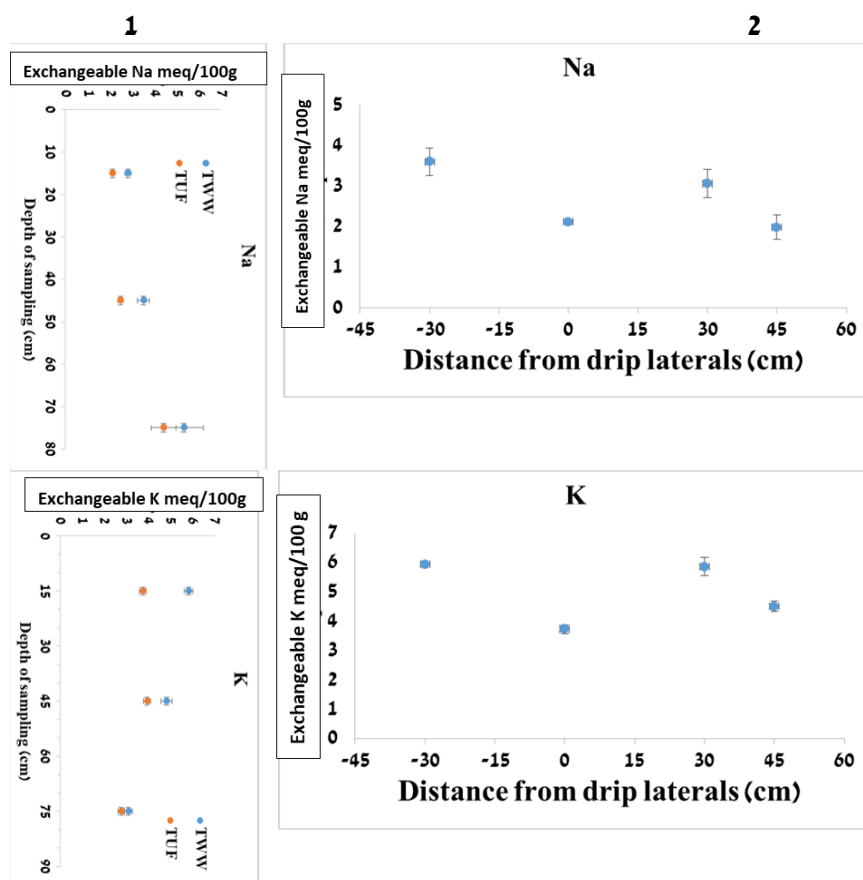
קיבול קטיונים חליפיים (קק"ח) – התוצאות באיור 5 מצביעות על כך שערך הקק"ח בקרקע גבוה, כ- 25 מא"ק/100 ג' וכמעט ואינו משתנה עם העומק עד 90 ס"מ ובמרחב. כפי שהיה צפוי בתעלת הטוף הקק"ח שונה, כ-12.5 מא"ק/100 ג'. בשכבות 30-60 ו-60-90 מתחת לתעלת הטוף התקבלו ערכים בין אלה של הטוף לאלה של הקרקע, כנראה כתוצאה מערבוב טוף מהשכבה העליונה בדגימה של השכבות שמתחת. ריכוז הסידן החליף בשכבת הקרקע העליונה הוא בתחום 10 עד 12 מא"ק/100 ג', כלומר קרוב ל-50% מהקק"ח והוא עולה עם העומק (איור 5). ריכוז המגנזיום החליף בשכבת הקרקע העליונה הוא בתחום 5 עד 7 מא"ק/100 ג', כלומר קרוב ל-25% מהקק"ח וכמעט שאינו משתנה עם העומק והמרחק משלוחת הטפטוף (איור 5).



איור 5: קיבול קטיונים חליפיים (CEC) וסידן בדוגמאות שנלקחו 1. בחתך הקרקע 0-90 ס"מ מתחת לקו הטפטוף בטיפול קולחים משקי וטיפול קולחים עם תעלות אוורור מטוף ו-2. כתלות במיקום משלוחת הטפטוף בעומק 0-30 ס"מ בטיפול השקיה בקולחים עם תעלות אוורור מטוף. יסעור, נובמבר 2016.

ריכוז הנתרן החליף בשכבת הקרקע העליונה נע בתחום 2.0 עד 3.5 מא"ק/100 ג', וה- ESP נע בתחום 8-14%. ערכים אלה עלו עם העומק עד 6.0 מא"ק/100 ג' ועד 24%, בהתאמה (איור 6). תופעה זו תועדה בעבר (Levy et al., 2014) ומקורה בתהליך ה"טיוב העצמי" שחל בקרקע. תהליך זה מתרחש במהלך עונת החורף כאשר מי הגשם גורמים להמסה של גיר (בעיקר בשכבות הקרקע העליונות) ולעליה בריכוז יוני הסידן בתמיסת הקרקע.

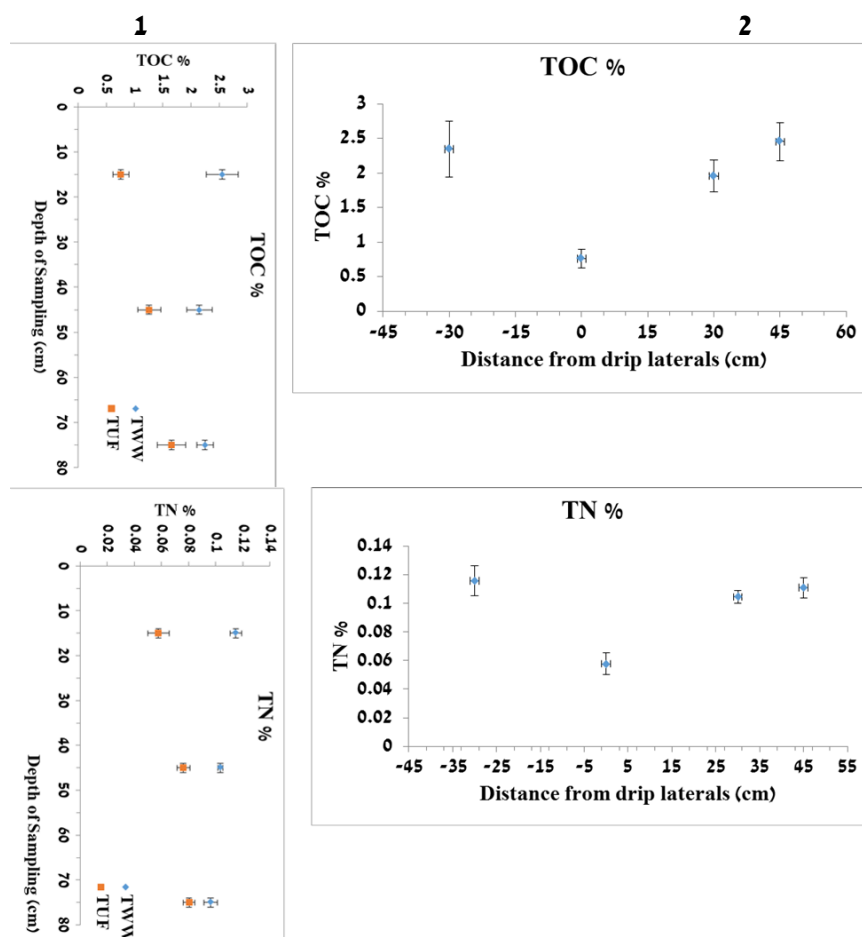
יוני סידן אלו מחליפים את יוני הנתרן הספוח וגורמים לדחיקתו אל תת הקרקע שם הוא מצטבר ונספח מחדש. להצטברות נתרן ספוח בתת הקרקע בעקבות השקיה בקולחים יכולות להיות השלכות שליליות על תנועת מים בקרקע, ביחוד בקרקעות חרסיות בהן תהליכי תפיחה אפילו בעוצמה נמוכה יכולים לגרום להאטה בתנועת המים ולהצטברות מים בשכבות שמעל לשכבה "הנתרנית" ולגרום לבעיות עיתיות של אוורור והמלחה בשכבות הקרקע העליונות. בשכבת הקרקע העליונה ריכוז הנתרן החליף בטוף הייתה נמוכה מאשר בקרקע בהתאמה לקק"ח הקטן יותר של הטוף. ככל שמתקרבים לשורת העצים ריכוז הנתרן החליף נמוך יותר. בניגוד לנתרן ריכוז האשלגן החליף הולך ופוחת עם העומק (איור 6). הסיבה לכך היא שהאפיניות של הקומפלקס הסופח בקרקע לספיחה של אשלגן גבוהה בהשוואה לאפיניות שלו לספיחת נתרן. לכן ניידות האשלגן בחתך הקרקע קטנה והוא נוטה להצטבר בשכבת הקרקע העליונה. בדומה לנתרן, גם ריכוז האשלגן החליף בשורת העצים נמוך מאשר במרחק ממנה, אך הגרדינט קטן מאשר בנתרן החליף.



איור 6: נתרן ואשלגן חליפיים בדוגמאות שנלקחו 1. בחתך הקרקע 0-90 ס"מ מתחת לקו הטפטוף בטיפול קולחים משקי וטיפול קולחים עם תעלות אוורור מטוף ו-2. תעלות במיקום משלוחת הטפטוף בעומק 0-30 ס"מ בטיפול השקיה בקולחים עם תעלות אוורור מטוף. יסעור, נובמבר 2016.

תכולת פחמן אורגני וחנקן כללי – תכולת הפחמן האורגני בשכבת הקרקע העליונה בשורת העצים היא כ- 2.5%, ערך גבוה יחסית לקרקעות ישראל (איור 7). עם העומק ישנה ירידה אופיינית אם כי לא חדה מאוד בתכולת הפחמן האורגני מ- 2.5% עד 2.0% בשכבה 60-90 ס"מ. כפי שהיה צפוי תכולת הפחמן האורגני בשכבת הטוף נמוכה (0.5%), כי הטוף הוא מחצב מינרלי שאינו מכיל חומר אורגני. יש לשער שרובו של החומר האורגני בשכבת הטוף מקורו בחדירת קרקע לשכבה או ארטיפקט שנוצר בדיגום. גם בשכבות העמוקות יותר,

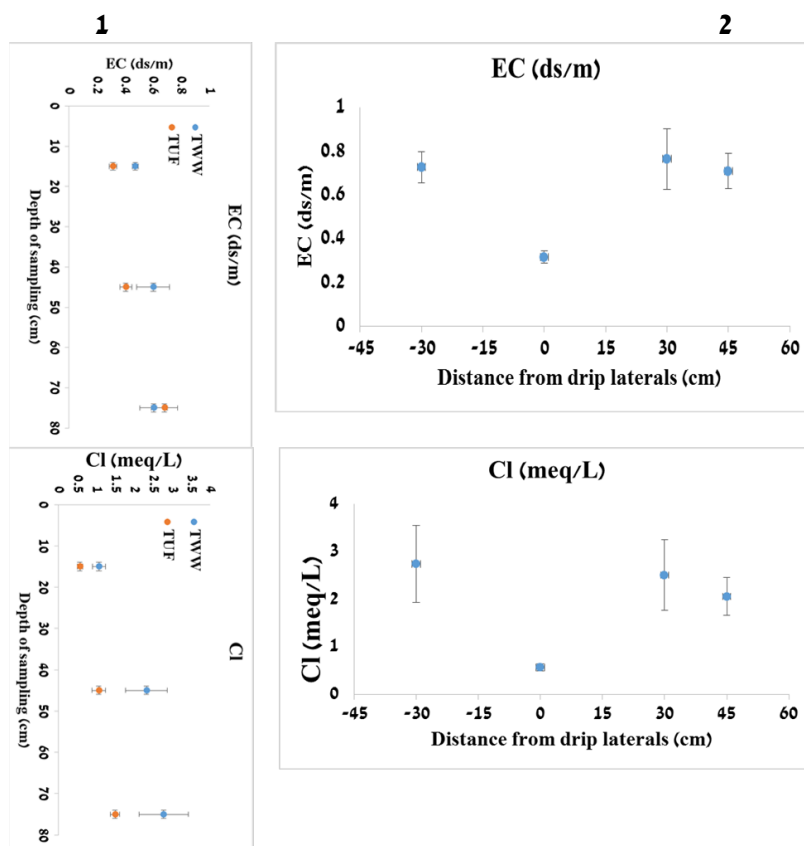
60-30 ו-90-60 ס"מ תכולת החומר האורגני נמוכה מאשר בקרקע, כנראה כתוצאה מערבוב של דגימת הקרקע עם טוף שנפל לתוכה מהשכבה העליונה. כצפוי תכולת החומר האורגני בקרקע משני צידי תעלת הטוף לא הושפעה מטיפול הטוף ונשמר התחום של 2.0%-2.5 פחמן אורגני. החנקן הכללי מתנהג באופן דומה לפחמן האורגני ונשמר יחס קבוע של פחמן אורגני/חנקן כללי = 1120 (איור 7).



איור 7: פחמן אורגני (TOC) וחנקן כללי בדוגמאות שנלקחו 1. בחתך הקרקע 0-90 ס"מ מתחת לקו הטפטוף בטיפול קולחים משקי וטיפול קולחים עם תעלות אוורור מטוף ו-2. תולות במיקום משלוחות הטפטוף בעומק 0-30 ס"מ בטיפול השקיה בקולחים עם תעלות אוורור מטוף. יסעור, נובמבר 2016.

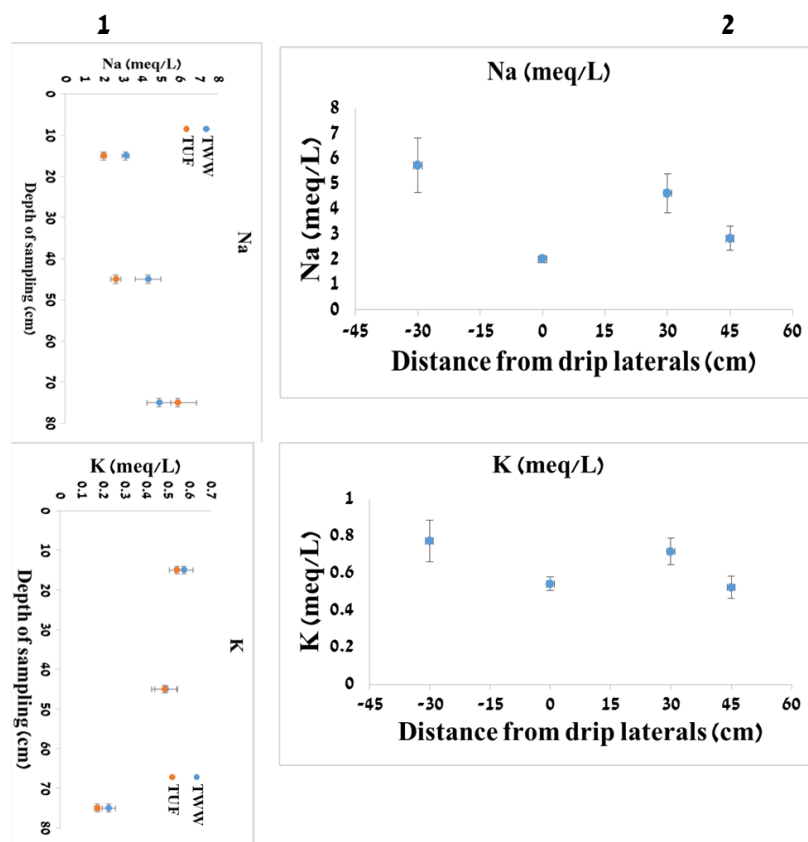
ב. פאזה מומסת (בדיקות בוצעו במיצוי מים: קרקע של 2: 1)

מוליכות חשמלית (EC) – ערכי המוליכות החשמלית במיצוי מהדוגמאות שנלקחו בתוך שורת העצים עלו עם העומק מ-0.4 דצ"ס/מ' בשכבה העליונה (0-30 ס"מ) ל-0.6 דצ"ס/מ' בשכבה התחתונה (60-90 ס"מ) באופן אופייני לחתך שנשטף על ידי הגשם בחורף (איור 8). בטוף בשכבת הקרקע העליונה המוליכות החשמלית נמוכה יותר מאשר בטיפול בקרקע, כנראה כתוצאה מהשטיפה היעילה יותר במצע זה מאשר בקרקע כבדה וגם בגלל שקיבול המים של הטוף נמוך משל הקרקע ולכן כאשר המיחול ביחס קבוע של 1120 בטוף המיחול לעומת תנאי השדה גבוה יותר. המוליכות החשמלית הייתה דומה משני צידי קו הטפטוף וללא תלות במרחק מהקו ורק בשכבת הטוף היא הייתה נמוכה יותר. בהתאמה עם תוצאות המוליכות החשמלית גם ריכוז הכלוריד עלה עם העומק ובאופן חד יותר (איור 8). ריכוז הכלוריד בטיפול הטוף היה נמוך יותר מאשר בטיפול המשקי בכל החתך, כנראה בגלל שטיפה יעילה יותר בשכבת הטוף. התקבלה מגמה של ריכוז כלוריד גבוה יותר בשורת העצים מאשר משני צידי השלוחות.



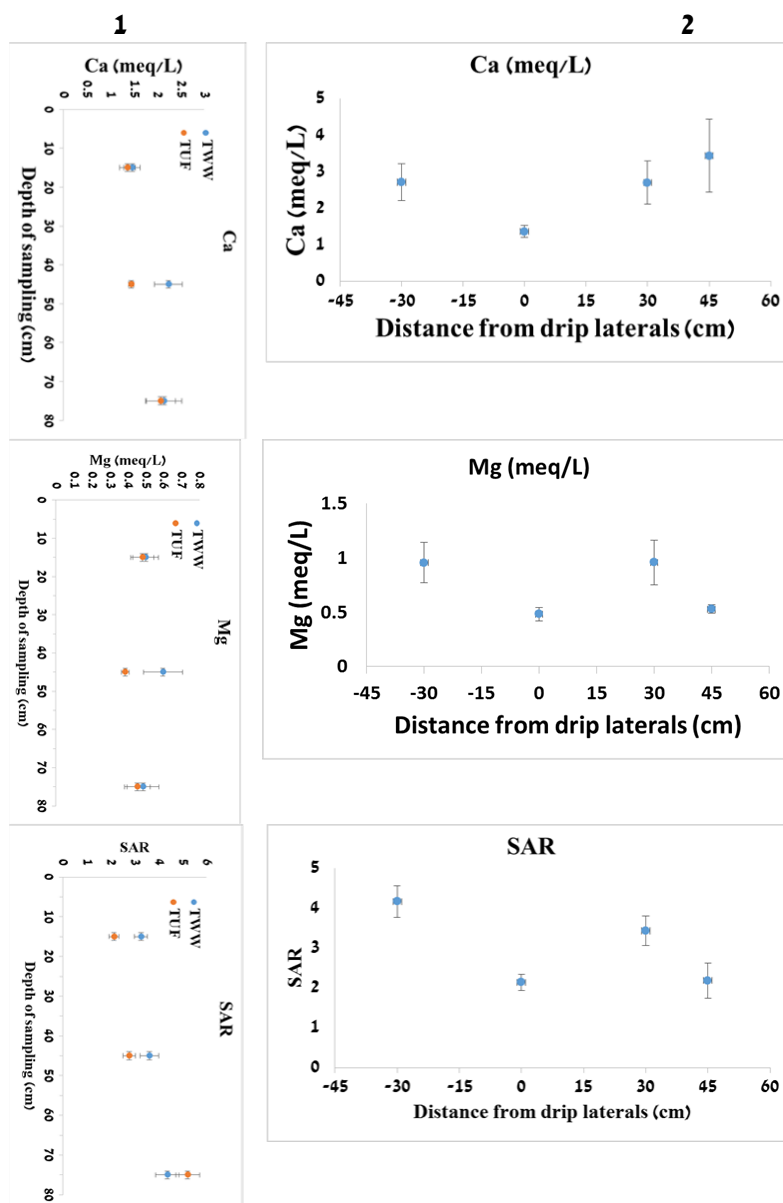
איור 8: המוליכות החשמלית וריכוז הכלוריד בתמיסת הקרקע (מיצוי 1\2) בדוגמאות שנלקחו 1. בחתך הקרקע 0-90 ס"מ מתחת לקו הטפטוף בטיפול קולחים משקי וטיפול קולחים עם תעלות אוורור מטוף ו-2. כתלות במיקום משלחת הטפטוף בעומק 0-30 ס"מ בטיפול השקיה בקולחים עם תעלות אוורור מטוף. יסעור, נובמבר 2016.

כצפוי התנהגות הנתרן והאשלגן המסיס כתלות בעומק שכבת הדיגום (איור 9) דומה מאוד להתנהגות הנתרן והאשלגן החליפים (איור 6). ריכוז הנתרן עולה עם העומק ואילו ריכוז האשלגן בשכבה 60-90 ס"מ נמוך מאשר בשתי השכבות העליונות. ריכוז הנתרן בטיפול הטוף בשתי השכבות העליונות נמוך מאשר בטיפול הקולחים המשקי ואילו ריכוז האשלגן בטוף ובקרקע דומה. בריכוז הנתרן התקבל מפל ריכוזים מהמיקום המרוחק משורת העצים לכוון שורת העצים ואילו ריכוז האשלגן דומה בכל המרחב שנבדק. ראוי לציון שעבור הנתרן ישנה התאמה מספרית בין ערכי ה- SAR וערכי ה- ESP.



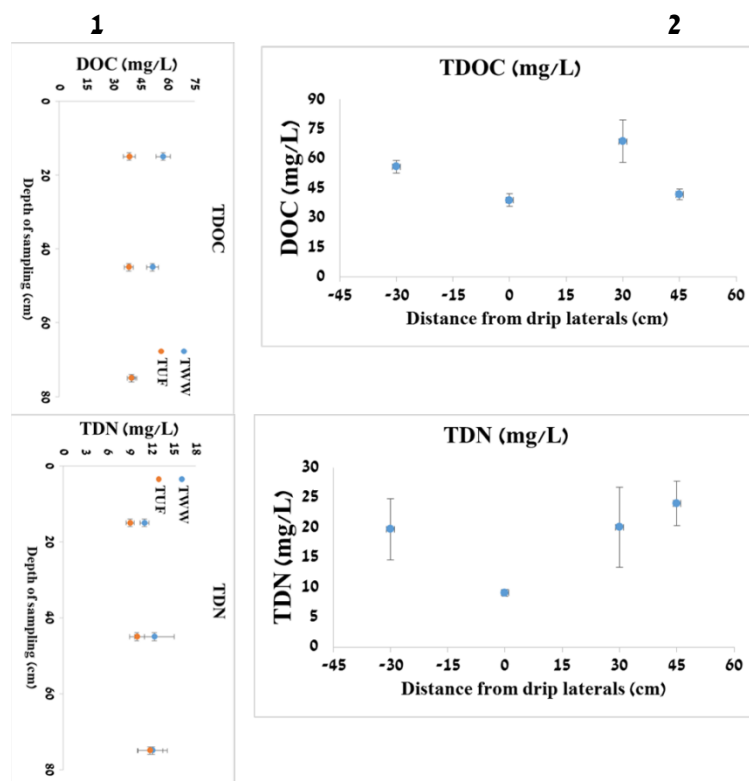
איור 9: ריכוזי הנתרן והאשלגן בתמיסת הקרקע (מיצוי 1\2) בדוגמאות שנלקחו 1. בחתך הקרקע 0-90 ס"מ מתחת לקו הטפטוף בטיפול קולחים משקי וטיפול קולחים עם תעלות אוורור מטוף ו-2. תלות במיקום משלוחת הטפטוף בעומק 0-30 ס"מ בטיפול השקיה בקולחים עם תעלות אוורור מטוף. יסעור, נובמבר 2016.

ריכוזי הסידן והמגנזיום בחתכי הקרקע בטיפולים עם וללא תעלת טוף דומים (איור 10). ריכוזם בתעלת הטוף נמוכים מאשר בקרקע משני צידי תעלת הטוף, אך אין הבדלים בריכוזים בין המיקומים השונים. לכן ה-SAR מתנהג באופן דומה לנתרן המסיס והחליף, כלומר הולך ועולה עם העומק, בשכבה העליונה גבוה יותר בקרקע מאשר בטוף ונמוך בשורת העצים מאשר במיקומים האחרים (חוץ מאשר בתעלת הטוף). כצפוי ערכי ריכוז הפחמן האורגני המומס (DOC) בדוגמאות שנלקחו בתוך שורת העצים בשכבות העליונות של הטוף נמוכים מאשר בקרקע בקולחים משקי (איור 11), אך ההבדל קטן יחסית לזה שנמדד בכמות הפחמן האורגני בפאזה המוצקה. הגרדינט עם העומק קטן יחסית לזה שהתקבל בפחמן האורגני בפאזה המוצקה. ההבדלים בין נקודות הדיגום קטנים ואינם מראים מגמה קבועה. החנקן האורגני המסיס דומה בחתך הקרקע בטיפול הקולחים המשקי ובזה עם תעלות טוף (איור 11). כאשר בוחנים את השפעת המיקום בטיפול עם תעלת טוף הריכוז הנמוך ביותר מתקבל בתעלה ובשאר המיקומים לא התקבלה מגמת שינוי קבועה.

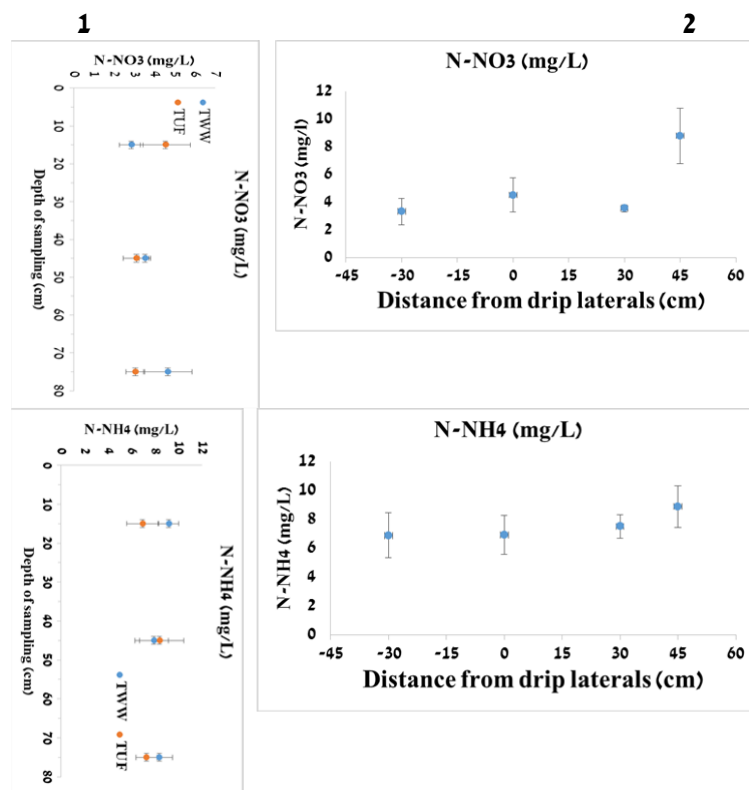


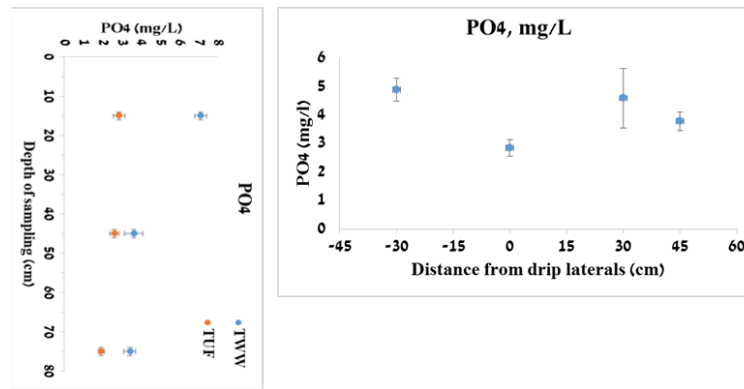
איור 10: ריכוזי הסידן והמגנזיום וה- SAR בתמיסת הקרקע (מיצוי 1/2) בדוגמאות שנלקחו 1. בחתך הקרקע 0-90 ס"מ מתחת לקו הטפטוף בטיפול קולחים משקי וטיפול קולחים עם תעלות אוורור מטוף ו- 2. כתלות במיקום משלוחת הטפטוף בעומק 0-30 ס"מ בטיפול השקיה בקולחים עם תעלות אוורור מטוף. יסעור, נובמבר 2016.

ריכוזי החנקה והאמון הזמינים בחתך הקרקע לא הושפעו מטיפול בתעלות טוף והריכוזים בחתך היו קבועים ולא השתנו עם העומק (איור 12). יש לציין שגם בתעלת הטוף הריכוזים היו דומים לאלו שמשני הצדדים ורק בשורת העצים התקבל ריכוז חנקה גבוה מאשר בשאר המיקומים. כצפוי ריכוז הזרחן הזמין שנע לאט בקרקע בטיפול הקולחים המשקי גבוה בערך פי שתיים בשכבה העליונה מאשר בשכבות שמתחתיו. בטיפול עם תעלות טוף ריכוז הזרחן הזמין בשכבה העליונה נמוך יחסית, כמחצית מאשר בטיפול המשקי ואילו בשכבות העמוקות ההבדל בין הטיפולים זעיר. אין הבדל בריכוז הזרחן הזמין בנקודות הדיגום שנבחרו חוץ מהריכוז הנמוך יותר בתעלת הטוף.



איור 11: ריכוזי הפחמן והחנקן האורגני בתמיסת הקרקע בדוגמאות שנלקחו 1. בחתך הקרקע 0-90 ס"מ מתחת לקו הטפטוף בטיפול קולחים משקי וטיפול קולחים עם תעלות אוורור מטוף ו-2. כתלות במיקום משלוחת הטפטוף בעומק 0-30 ס"מ בטיפול השקיה בקולחים עם תעלות אוורור מטוף. יסעור, נובמבר 2016.





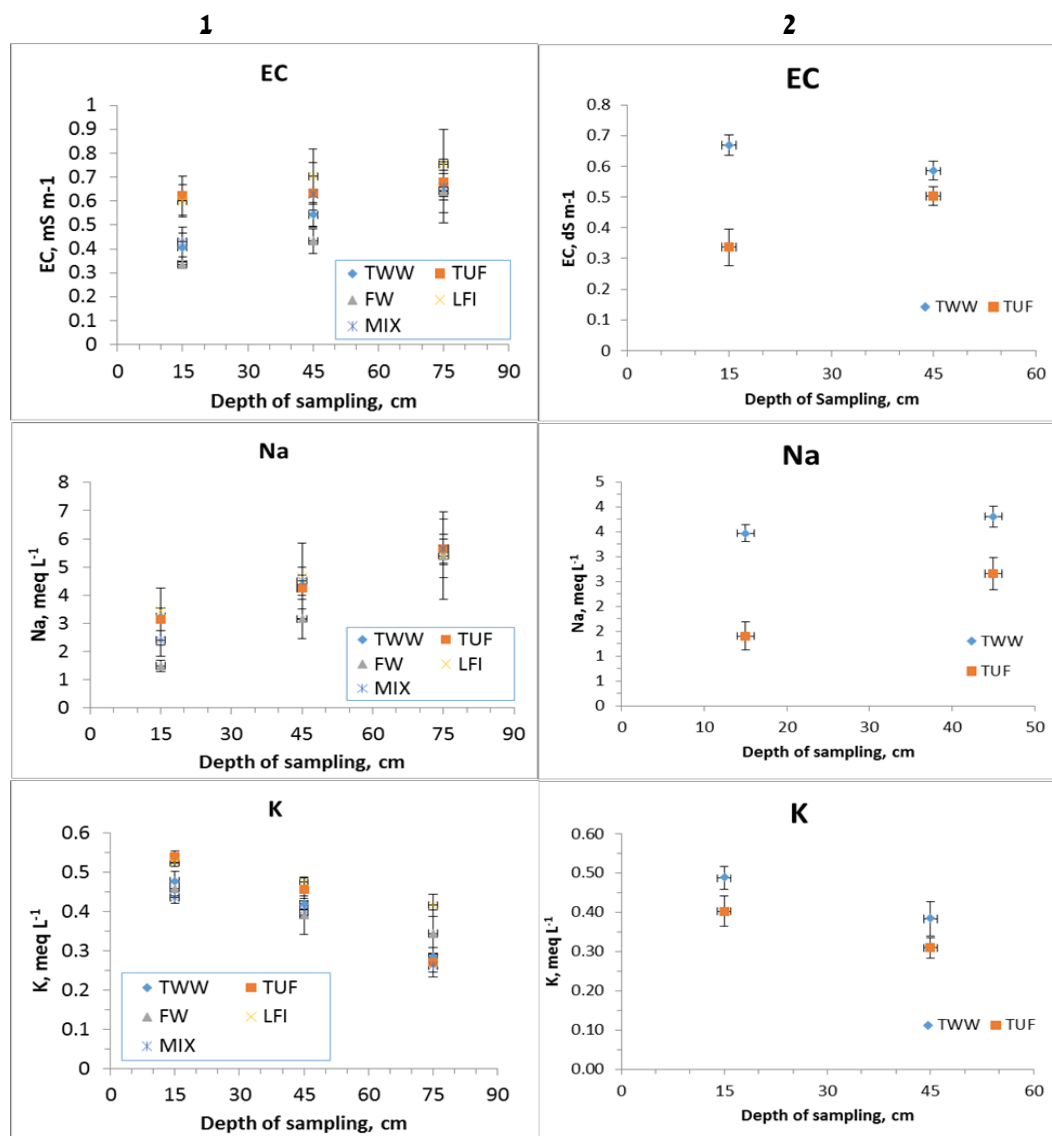
איור 12: ריכוזי החנקן זמין (מיצוי ב- 1-N KCl) והזרחן הזמין (מיצוי אולסן) בדוגמאות שנלקחו 1. בחתך הקרקע 0-90 ס"מ מתחת לקו הטפטוף בטיפול קולחים משקי וטיפול קולחים עם תעלות אוורור מטוף ו-2. תעלות במיקום משלוחת הטפטוף בעומק 0-30 ס"מ בטיפול השקיה בקולחים עם תעלות אוורור מטוף. יסעור, נובמבר 2016.

יוני 2017

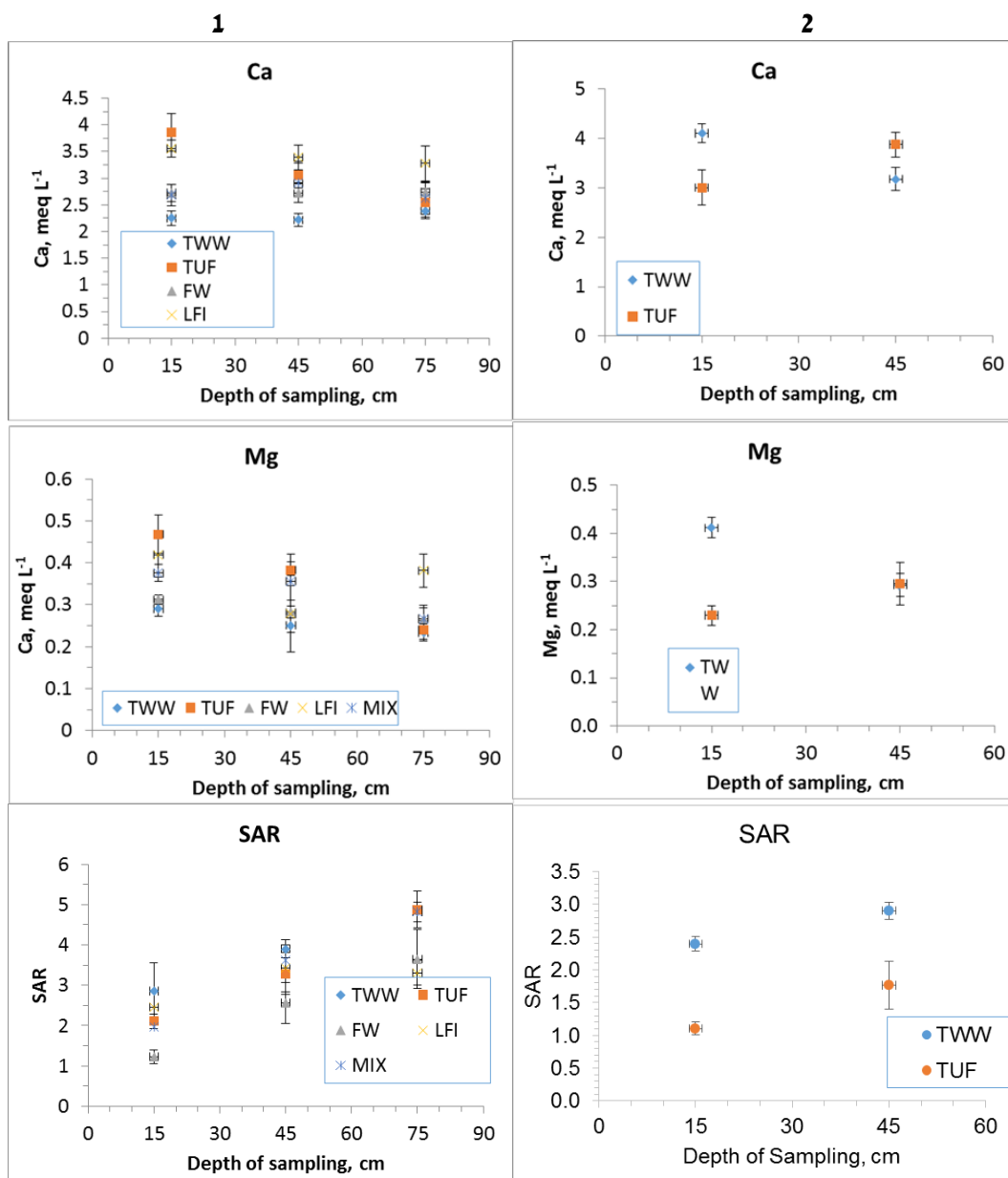
פאזה מומסה

המוליכות החשמלית וריכוזי הנתרן בפזה המומסת בחתך הקרקע עלו עם העומק ואילו ריכוזי האשלגן פוחת עם העומק (איור 13). העליה ב-EC עם העומק מוסברת כתוצאה של השטיפה של גשמי החורף ואילו הנתרן מושפע גם ממנגנון המסת הגיר שגורם לדחיקת הנתרן לעומק. לעומת זאת, האשלגן פחות נייד דבר שמסביר את ההתפלגות שלו בחתך. התוצאות הללו בהתאמה לאלו שדיגום הקודם בנובמבר 2016. בחתך שבתוך שורות העצים ה-EC וריכוזי הנתרן והאשלגן בטיפול במים שפירים נמוכים מעט מאשר בקולחים ובדרך כלל הערכים הגבוהים ביותר התקבלו בטיפול תעלות הטוף. הערכים בטיפול המיחול וממשק ההשקיה השונה דומים זה לזה ובמצב ביניים בין השפירים לקולחים. לעומת זאת בחתך שמתחת לשלוחות הטפטוף הערכים בתעלת הטוף נמוכים מאשר בטיפול הקולחים המשקי.

ריכוזי הסיידן והמגנזיום בפזה המומסת פחתו עם העומק ואילו ערך ה-SAR גדל עם העומק (איור 14), בהתאמה לתוצאות בדיגום הקודם בנובמבר 2016. בשורות העצים בשכבות העליונות 0-30 ו-30-60 ס"מ ישנה מגמה של סידן ומגנזיום גבוהים יותר בטיפול תעלת הטוף מאשר בקולחים המשקי. כתוצאה מכך ה-SAR בטיפול המשקי גבוה יותר. מתחת לשלוחת הטפטוף ריכוזי הסיידן והמגנזיום גבוהים יותר בקרקע מאשר בתעלת הטוף, אך גם כאן ה-SAR בטיפול המשקי גבוה יותר בגלל ריכוז הנתרן הגבוה בהרבה בקרקע בטיפול המשקי בהשוואה לטיפול הטוף (איור 13). ערך ה-SAR הגבוה ביותר בחתך התקבל בטיפול הקולחים המשקי והנמוך ביותר בשפירים כאשר טיפול המיחול וממשק ההשקיה השונה נמצאים ביניהם. יש לציין שבמועד זה ההבדלים בין הטיפולים קטנים יחסית ובעיקר בלשו ההבדלים בין הריכוזים בתעלת הטוף לבין הקרקע מתחת לשלוחת הטפטוף.



איור 13: המוליכות החשמלית (EC) וריכוזי הנתרן והאשלגן בתמיסת הקרקע (מיצוי 1\2) בדוגמאות שנלקחו 1. בחתך הקרקע 0-90 ס"מ בשורת העצים מכל הטיפולים ו-2. בחתך הקרקע 0-60 ס"מ מתחת לשלוחת הטפטוף בטיפולי השקיה בקולחים משקי וקולחים עם תעלות אוורור מטוף. יסעור, יוני 2017.



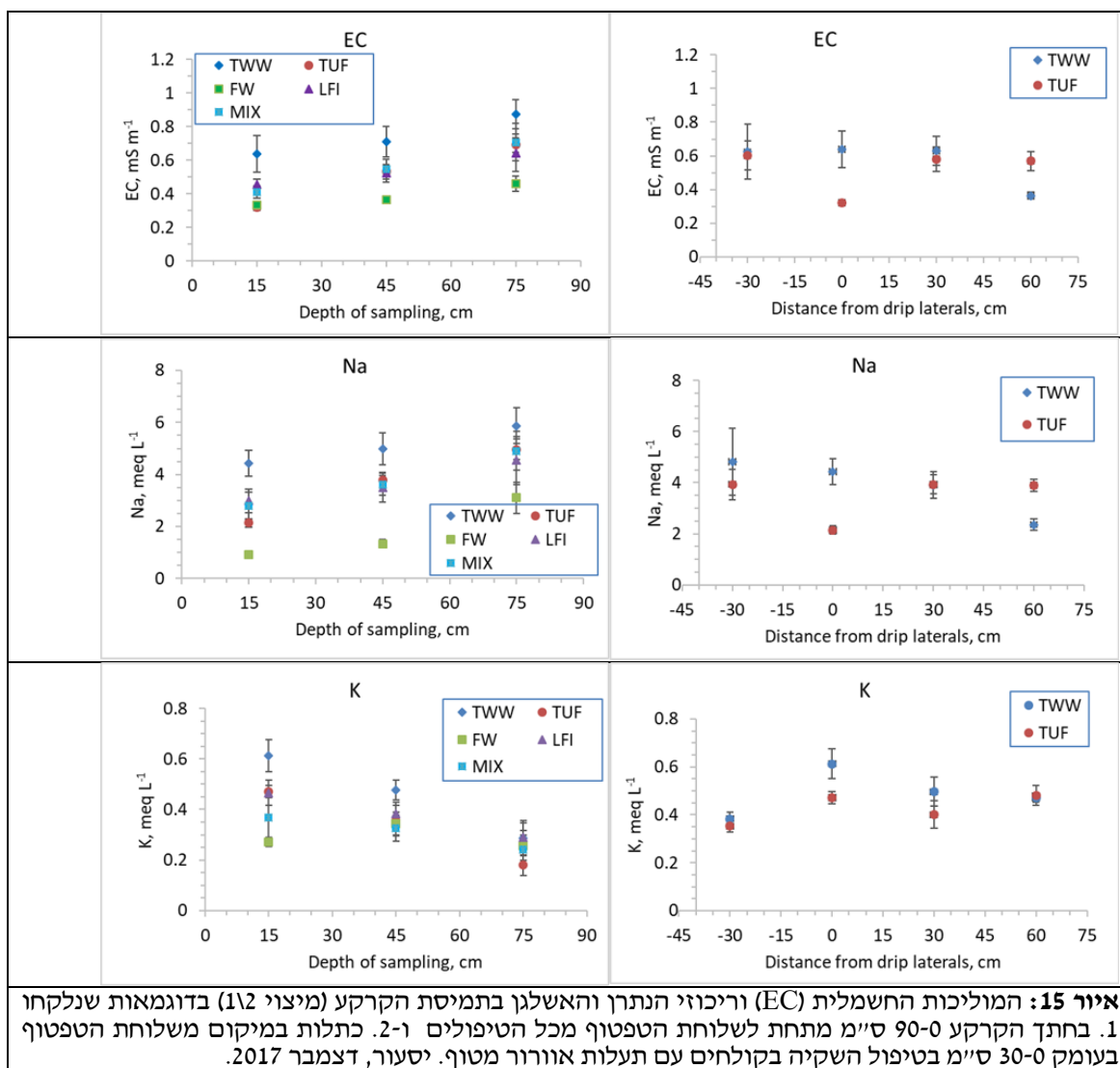
איור 14: ריכוזי הסידן, מגנזיום וערך ה-SAR בתמיסת הקרקע (מיצוי 1/2) בדוגמאות שנלקחו 1. בחתך הקרקע 90-0 ס"מ בשורת העצים מכל הטיפולים ו-2. בחתך הקרקע 60-0 ס"מ מתחת לשלוחת הטפטוף בטיפול השקיה בקולחים משקי וקולחים עם תעלות אוורור מטוף. יסעור, יוני 2017.

נובמבר 2017

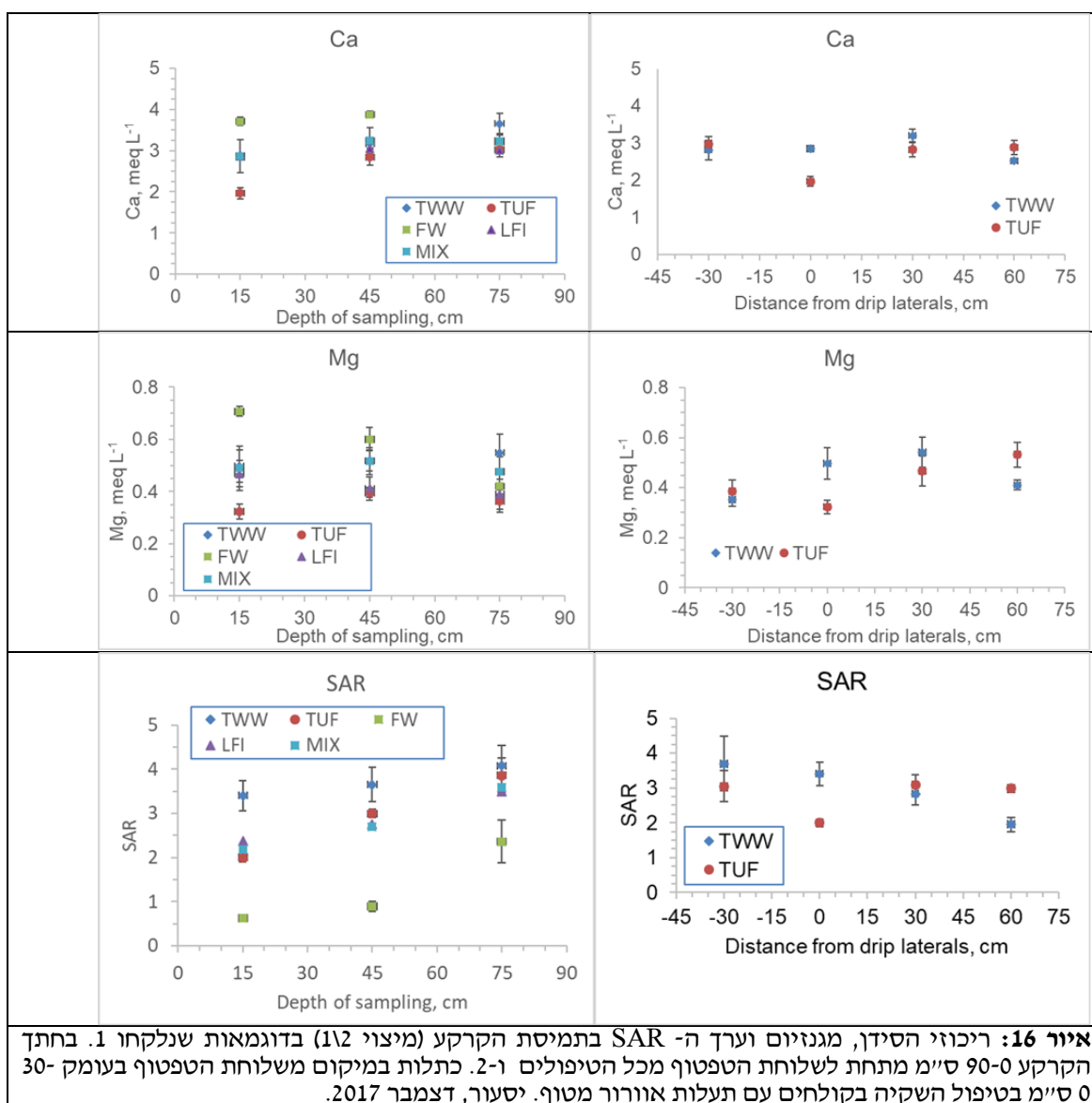
הרכב ואפיון הפאזה המסיסה

המוליכות החשמלית וריכוז הנתרן בפזה המומסת בחתך הקרקע עלו עם העומק ואילו ריכוז האשלגן פחת עם העומק (איור 15). העליה ב-EC עם העומק קטנה מאשר היה ביוני 2017 והיא נובעת כנראה מהדחת מלחים על ידי השקיה עודפת שהייתה פחות יעילה בהדחת מלחים מאשר השטיפה של גשמי החורף. בחתך שמתחת לשלוחת הטפטוף הטיפולים השפיעו באופן ברור ועקבי כך שהערכים הגבוהים ביותר היו בהשקיה בקולחים משקי ואילו הנמוכים ביותר בשפירים וכל שאר הטיפולים ביניהם. כאשר משווים את טיפול הקולחים המשקי לטיפול עם תעלת טוף במיקומים שונים בשכבת הקרקע העליונה התקבלו ערכים נמוכים

יותר בתעלת הטוף מתחת לשלוחת הטפטוף ואילו בשורת העצים ה- EC וריכוז הנתרן גבוהים יותר בטיפול הטוף.



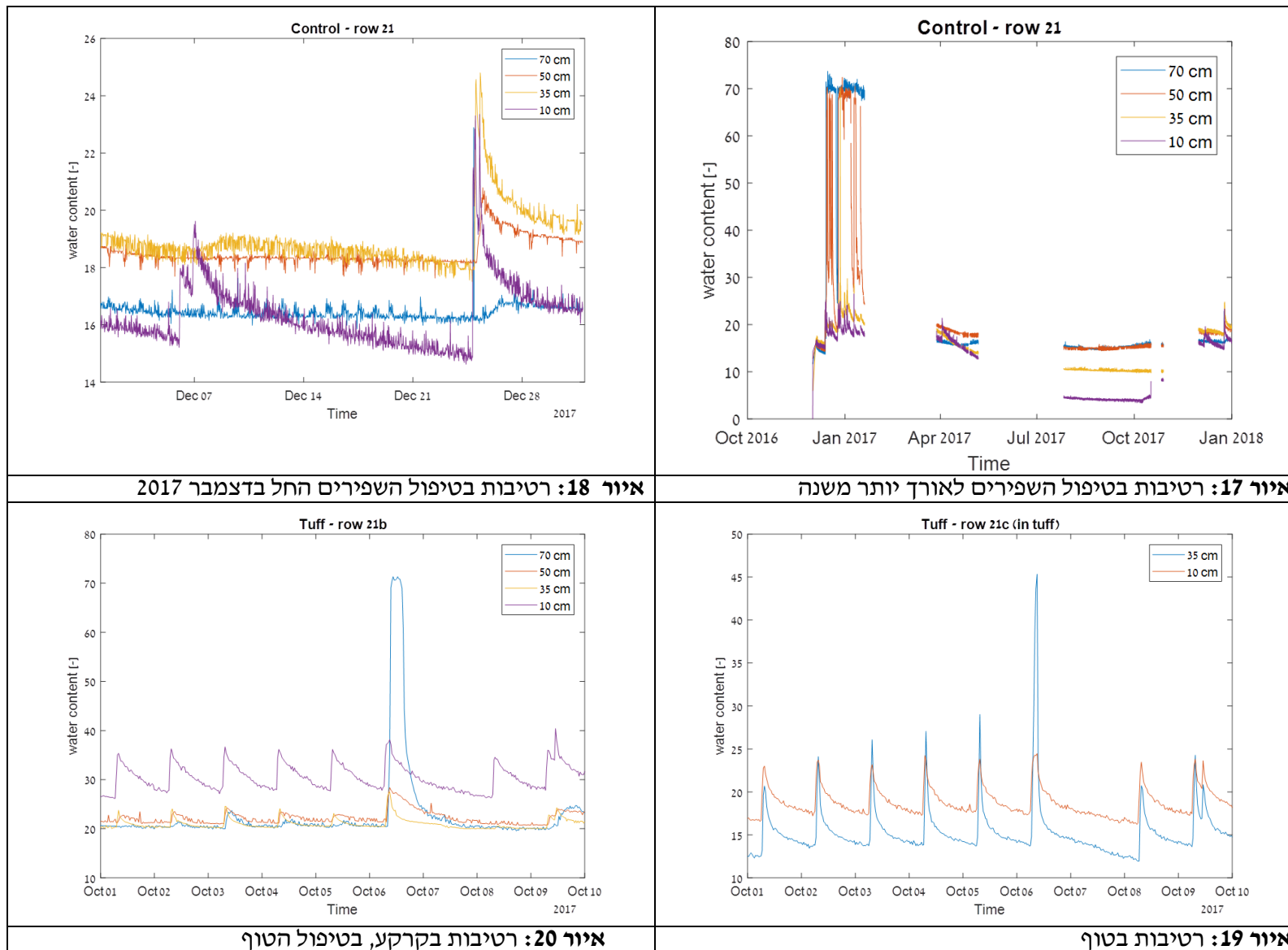
ריכוזי הסידן בפזה המומסת בחתך הקרקע נשאר קבוע, ריכוז המגנזיום פחת עם העומק ואילו ערך ה-SAR גדל עם העומק (איור 16), בהתאמה לתוצאות בדיגום הקודם ביוני 2017. בחתך שמתחת לשלוחת הטפטוף בשכבות העליונות 0-30 ו-30-60 ס"מ ריכוזי הסידן והמגנזיום גבוהים יותר בטיפול השפירים מאשר בקולחים. בתעלת הטוף ריכוזי הסידן והמגנזיום הנמוכים ביותר ואילו טיפולי המיהול והטיפול בממשק השקיה נמצאים במצב ביניים בין הקולחים המשקי לשפירים. כפי שהיה צפוי ה-SAR הגבוה ביותר בחתך התקבל בטיפול הקולחים המשקי והנמוך ביותר בשפירים כאשר טיפולי המיהול, ממשק ההשקיה השונה ותעלות הטוף נמצאים ביניהם. תמונה שונה מתקבלת כאשר משווים את טיפול הקולחים המשקי לקולחים עם תעלות טוף בשכבה העליונה במיקומים שונים. אומנם מתחת לשלוחת הטפטוף ה-SAR בתעלת הטוף נמוך מאשר בקרקע בקולחים משקי אך בשורת העצים המצב הפוך, ה-SAR בטיפול התעלות גבוה מאשר בקולחים המשקי.



ב.

מעקב אחר תכולת הרטיבות בקרקע

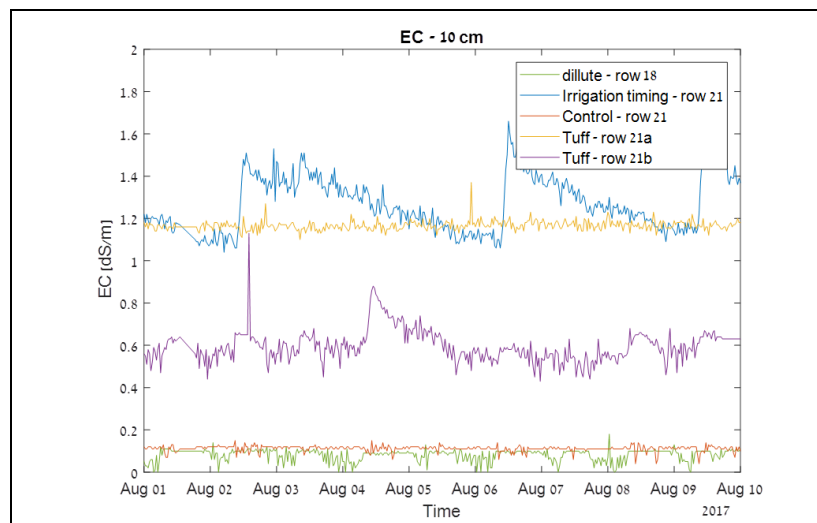
איור 17 מציג דוגמה של דינמיקת הרטיבות בקרקע בטיפול השפירים עד תחילת ינואר. באיור נראות תקופות הנתק, ונראית התקופה הראשונית לאחר הטמנת החיישנים בה תכולת הרטיבות (בעיקר בעומק) גבוהה במיוחד. בשלב זה ניכרת הצפת הבור במים (לטובת ההטמנה) וחוסר קליטת המים ע"י השורשים בשלב זה (בחיישנים העמוקים החשופים פחות להתאדות). ככל שעובר הזמן החיישנים מתייצבים על ערכים יותר מקובלים, אם כי נראה שאינם מגיבים להשקיה (כנראה בעקבות הסטה של קווי ההשקיה). לקראת תום התקופה ניכרת תגובת החיישנים לגשם, כפי שמוצג בהגדלה באיור 18. התגובה לגשם התחילה בפני הקרקע והתקדמה לעומק. באירועי גשם קטנים החיישנים העמוקים אינם נרטבים כלל. כמו כן נראה שבחלק מהמקרים הקרקע לא הגיעה לרוויה – ייתכן וזה נובע מחללי אויר סביב החיישנים. אירוע הגשם הגדול של ינואר 2018 עדיין לא נותח – בעזרתו נוכל לדעת אם יש בעיית אריזה או שפשוט לא ירד מספיק גשם. אירוע זה אמור גם להיטיב את האריזה עבור כל החיישנים.



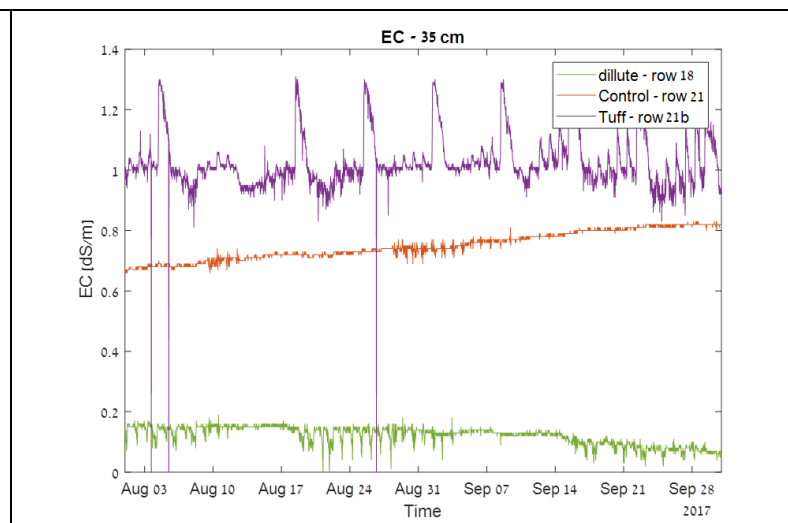
איור 19 מראה את התנהגות החיישנים המוצבים בטוף על פני תקופה של מספר ימים במהלך קיץ 2017. ניתן לראות בבירור את עליית הרטיבות המהירה בטוף לעומת (איור 20) העלייה האיטית בהרבה בחיישנים הרגילים.

מעניין לבחון את מליחות הקרקע בין הטיפולים השונים. מדידת המוליכות החשמלית אינה תמיד מוצלחת, אבל במספר מקרים היא מתחילה להצביע על השפעת הטיפולים, כפי שמובא באיור 21. ניכרת עלייה הדרגתית של המליחות עם הזמן בטיפול הביקורת לעומת ירידה בטיפול המיהול. בטיפול הטוף נמדדה השתנות יומית מאד גבוהה שאינה מוסברת בשלב זה. איור 22 מציג את המוליכות החשמלית בעומק רדוד. מעבר להפרשים בין הטיפולים, ניכר כי בחלק מהטיפולים אין עדות להשקיה – כלומר שלוחות ההשקיה אינן מעל החיישן אלא מוסטות.

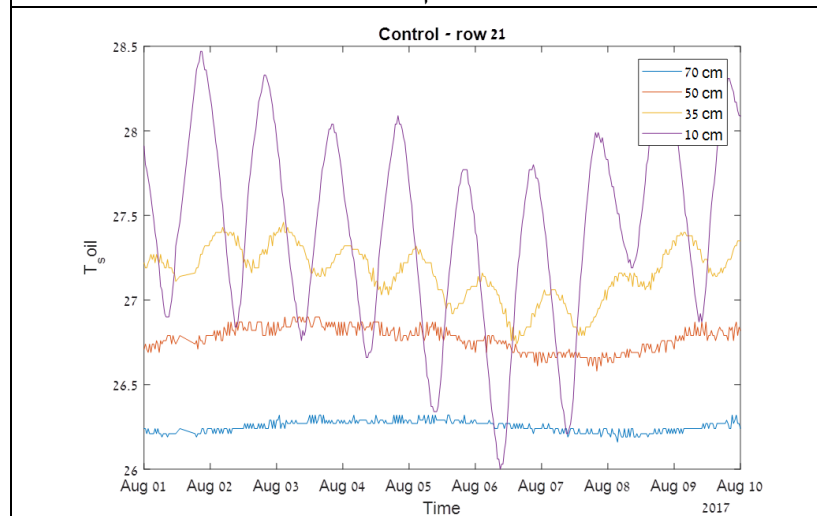
גם התנהגות הטמפרטורה מעניינת (איור 23). ניכרים הבדלים ברורים בין הטיפולים השונים, עד כדי מעלה אחת בעומק 70 ס"מ. בעומק זה ההשתנות היומית מצומצמת (כפי שניתן לראות באיור 24) וההשפעה היא בעיקר של שטפי המים המגיעים, ואולי פעילות ביוכימית שונה בין הטיפולים השונים. יש לשים לב לכך שהטיפול ה"קר" ביותר הוא טיפול השפירים. תופעה זו חוזרת על עצמה בעומקים אחרים. הטמפרטורה בטוף משתנה בצורה יותר דינמית, הן בשל המוליכות ההידראולית הגבוהה יותר (בסדר גודל) והן בשל היות החיישן במקרה זה רדוד יותר.



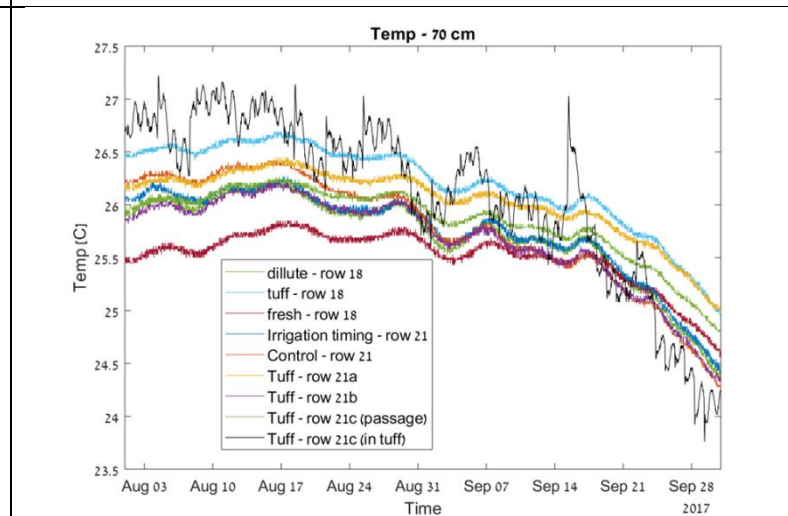
איור 22: מוליכות חשמלית בעומק רדוד



איור 21: מוליכות חשמלית



איור 24: טמפרטורה באחד הטיפולים

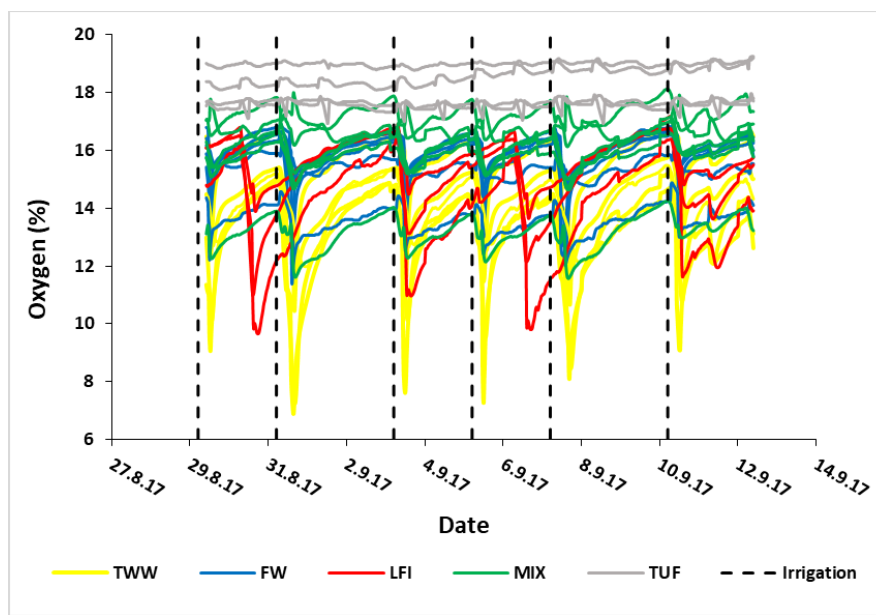


איור 23: טמפרטורה בעומק הקרקע

במהלך עונת הגידול ובחורף שלאחריה נאספו מדירות רבות לאפיון התנאים בבית השורשים. המדירות אינן מלאות, ועדיין נותרה עבודת ניתוח רבה שתחילתה מוצגת כאן.

רמות חמצן בבית השורשים

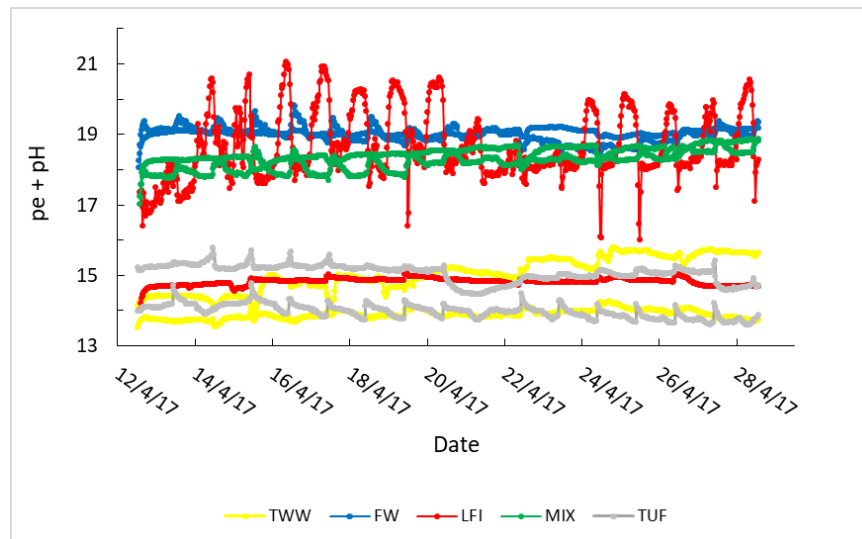
מהלך שבועיים של מדירת ריכוזי החמצן בבית השורשים בעומק 35 ס"מ מוצג באיור 25. באיור מוצגים, בנוסף לריכוזי החמצן, מועדי ההשקיה "הרגילים". מועדים אלה אינם מתאימים לטיפול LFI (שבו תדירות ההשקיה היא של פעמיים בשבוע) ולטיפול הטוף (שבו תדירות ההשקיה הינה של אחת ליום). למעט טיפול הטוף ניכרת בכל הטיפולים ירידה חדה בריכוזי החמצן לאחר ביצוע ההשקיה. החזרה לריכוזי חמצן גבוהים הינה איטית ומשך הזמן שבו יש דלדול בחמצן הינו שעות רבות. מבין הטיפולים, הירידה הבולטת ביותר והערכים הנמוכים ביותר נמצאו בטיפול ההשקיה בקולחים בממשק המשקי המקובל. בטיפול זה היו בכל מחזור השקיה מספר שעות בהן ריכוז החמצן היה נמוך מ-10% וערכי המינימום ירדו אף ל-7%. בממשק השקיה זה, אך כאשר מי ההשקיה היו מים שפירים, הירידה בריכוזי החמצן הייתה מתונה יותר. גם בטיפול המייצג מיהול 1:1 של מים שפירים עם קולחים התקבלו ירידות מתונות יותר, אולם הוריאביליות בין נקודות המדידה הייתה גבוהה. וריאביליות זו נובעת ככל הנראה משיטת יישום שני מקורות המים ע"י טפטפות סמוכות, אחת למים שפירים והשנייה לקולחים, כדימוי לערבוב אמתי. נקודה זו תיבדק בשטח ותתוקן במידת האפשר. בשני הטיפולים האחרים (TUF ו-LFI) מי ההשקיה היו קולחים, זהים למי ההשקיה בטיפול המשקי, וגם כמות ההשקיה הייתה זהה לטיפול המשקי, אולם בשניהם ניכר שיפור משמעותי ברמות החמצן ביחס לטיפול הקולחים המשקי. ריכוזי החמצן הגבוהים ביותר וירידות הריכוז המתונות ביותר התקבלו בטיפול תעלות האורור (TUF). תוצאות אלו מדגישות את יעילות שני הטיפולים ואת האפשרות לשינוי רמות החמצן בבית השורשים גם ללא שינוי באיכות המים.



איור 25: ריכוזי החמצן בבית השורשים, בעומק 35 ס"מ, במהלך שבועיים בתקופת ההשקיה.

פוטנציאל חמצון חיזור בבית השורשים

ערכי רדוקס בעומק 35 ס"מ במהלך שבועיים בחודש אפריל מוצגים באיור 26 עבור תחנת מדידה מייצגת לכל טיפול (שתי נקודות מדידה משני עברי השורה). הנתונים המוצגים הינם סכום ערכי ה-pH וה-pe ($pe+pH$). ההבדלים בין שתי נקודות המדידה בכל תחנה אינם גדולים בדרך כלל, אך בחלק מהמקרים (כמו בטיפול LFI בתחנה המוצגת) היו הבדלים ניכרים בין שני צידי השורה. בין הטיפולים ניכרים הבדלים גדולים יותר, אולם גם הם נעים בתחום צר יחסית. תנאים סב-אוקסיים ($9 < pe+pH < 14$) שררו במשך מרבית התקופה המוצגת בטיפול המשקי של השקיה בקולחים, ולעומת זאת במרבית הטיפולים האחרים (למעט נקודת מדידה אחת בטיפול ה-LFI ולמעט בטיפול תעלות האוורור) שררו לאורך כל תקופת המדידה תנאים אוקסיים. התוצאה המוצגת לגבי תעלות האוורור מפתיעה, אך היא חוזרת על עצמה גם בתחנות אחרות ובזמני מדידה אחרים. נבדקת השערה כי התנאים המחזרים יחסית, למרות משטר האוורור המשופר בטיפול זה (איור 25) נובעים מההרכב המינרלי וכושר הרדוקס-בופר של הטיפ. בדיקת נושא זה הינה בעלת חשיבות לבחינת המשמעות של ערכי הרדוקס הנמדדים בטיפול זה. עוד עולה מהנתונים המוצגים, שבניגוד לריכוזי החמצן, רמת הרדוקס לא הייתה רגישה למחזורי ההשקיה. עיקר תגובה הנצפית הינה במחזורי יומיים, אך בכל מקרה – טווח הערכים עבור כל נקודת מדידה נשמר בדרך כלל בתחום צר (יוצאת מהכלל בגרף המוצג נקודת מדידה אחת של טיפול תדירות ההשקיה הנמוכה, LFI). הנתונים המוצגים תומכים בהנחת העבודה שלנו שריכוזי החמצן הינו מדד רגיש יותר בתחום העליון, המאוורר ומחומצן, ואילו מדד הרדוקס רגיש יותר בתחום האנוקסי.

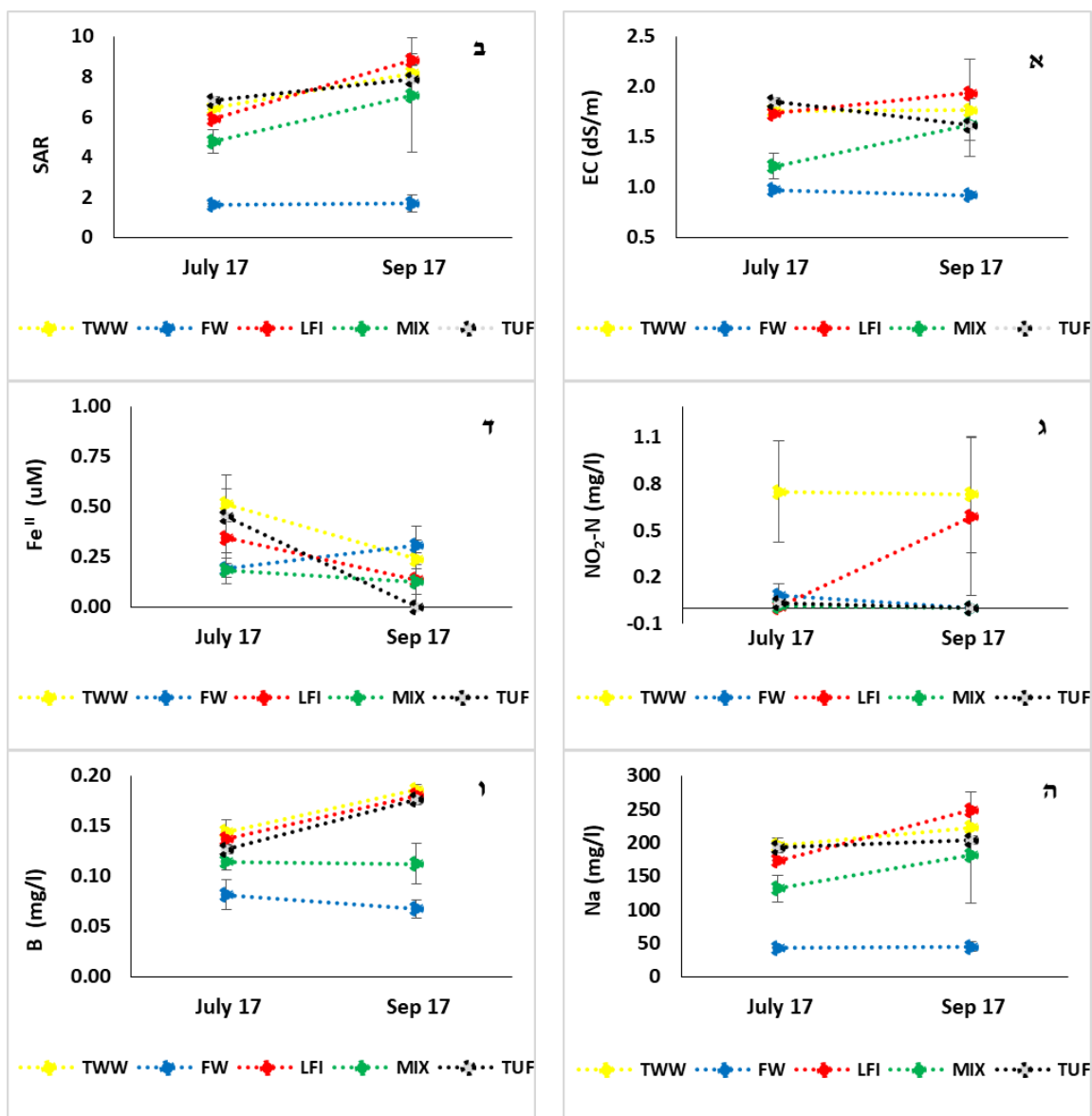


איור 26: פוטנציאל הרדוקס (מבוטא כ- $pe+pH$) בעומק 35 ס"מ במהלך שבועיים בתקופת ההשקיה.

הרכב תמיסת הקרקע במשאבים

מדדים שונים בתמיסת הקרקע שנדגמה במשאבים בסמיכות לנקודות המדידה (ממוצעים ושגיאות תקן), מוצגים באיור 27. ריכוזי הנתרן והכלוריד הנמוכים יותר במים השפירים, בהשוואה לקולחים, התבטאו בערכי EC, SAR וריכוזי נתרן וכלוריד (לא מוצג) נמוכים יותר בתמיסות שנדגמו מבית השורשים בטיפול שהושקה במים שפירים. גם לגבי ריכוזי הבורון ניכרה השפעת הריכוז הנמוך יותר במים השפירים על ריכוז הבורון בתמיסת הקרקע. לעומת זאת, לגבי ריכוזי הזרחן בתמיסת הקרקע (נתונים לא מוצגים), לא ניכרה ההשפעה של ריכוזי הזרחן הגבוה יותר בקולחים. ריכוזי הזרחן בתמיסת הקרקע בטיפול השפירים היה גבוה

מזה שבטיפול הקולחים המשקי, וכן מטיפול ה-LFI, אך לא מטיפול תעלות האוורור שהשתווה לטיפול השפירים.



איור 27: תוצאות בדיקות תמיסת הקרקע משני מועדי דיגום: ערכי EC (א); ערכי SAR (ב); ריכוז חנקן ניטריטי (ג); ריכוז ברזל דו-ערכי (ד); ריכוז נתרן (ה); ריכוז בורון (ו).

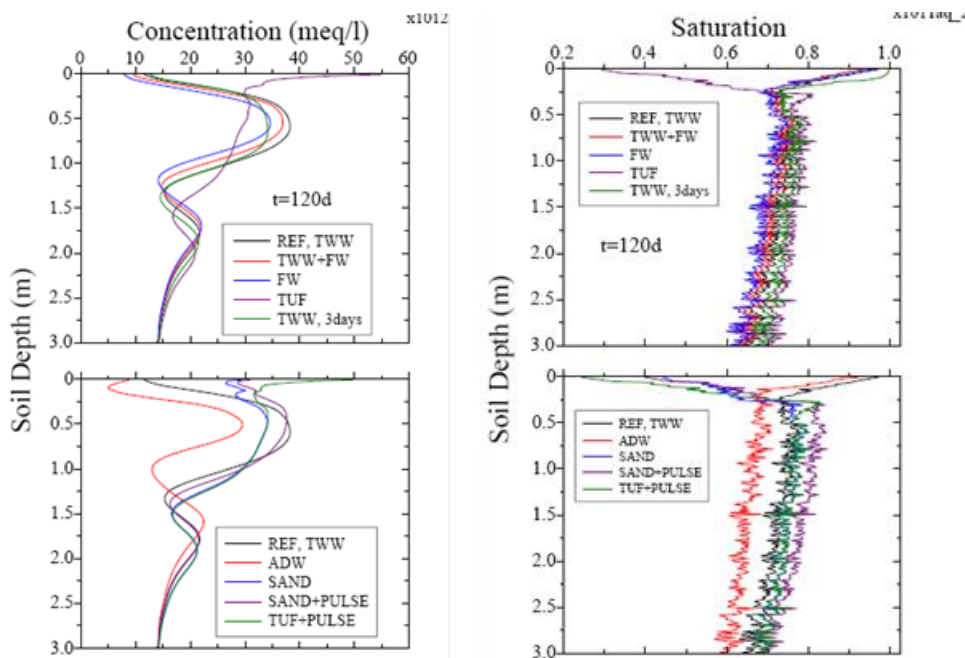
ערכי SAR במי הקרקע (איור 27) גבוהים באופן ניכר מערכי SAR שהתקבלו במיצוי הקרקע ביחס 1:2 (איורים 10, 14 ו-16) ואף מהערכים שנמדדו במים השפירים ובקולחים שבהם הושקו החלקות (טבלה 4). הבדלים אלה ניכרים בעיקר בטיפולים שהושקו בקולחים, ופחות מכך בטיפול המים השפירים.

בריכוז הברזל המחזור (Fe^{II}) נמצאו במועד הדיגום הראשון ירידה מובהקת בטיפול השפירים ומגמת ירידה בחלק מהטיפולים האחרים, אולם מגמה זו לא התקיימה במועד הדיגום השני. גם לגבי ריכוזי המנגן הרגיש לתהליכי חיזור אף יותר מהברזל, לא ניכרה השפעה עקבית (נתונים לא מוצגים). השפעה בולטת ועקבית נמצאה לגבי ריכוז הניטריט – בשני המועדים ריכוזו של יון רעיל זה היה גבוה בתמיסת הקרקע בטיפול שקיבל השקיה בקולחים בממשק המשקי בהשוואה לטיפול שהושקה במים שפירים. אולם בטיפולים האחרים שבהם

ההשקיה הייתה בקולחים, או בקולחים מהולים במים שפירים, נמצא כי היווצרות הניטריט נמנעה (למעט מועד אחד בטיפול ה-LFI). תגובה זו מוסברת ע"י ריכוזי החמצן המשופרים שנמצאו בכל הטיפולים ביחס לטיפול הקולחים, והיא עשויה להצביע על גורם ישיר שעלול לפגוע בהתפתחות השורשים בחלקות המושקות בקולחים בממשק ההשקיה הרגיל. יעילות ההשפעה של טיפולי הממשק השונים להקטנת ריכוז הניטריט וכן השפעתם על ריכוזי היסודות האחרים תיבדק ביתר פירוט בהמשך.

ד. ניתוח של זרימת מים והסעת מומסים במטע המושקה בקולחים בקרקע חרסיתית עם תעלות אוורור

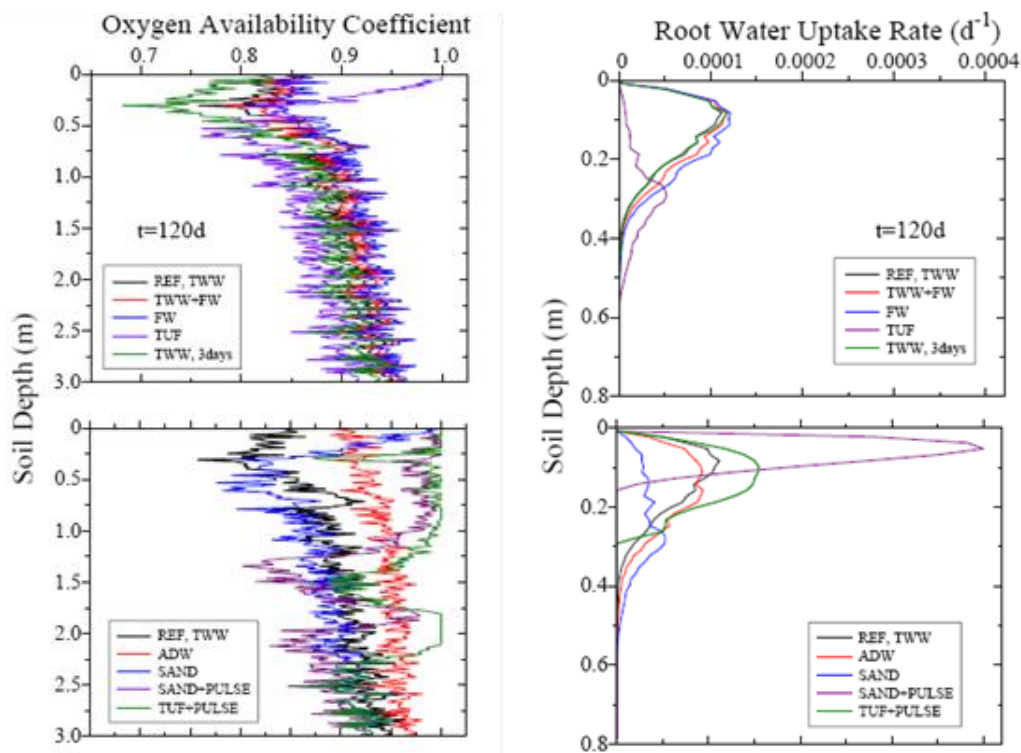
תוצאות ההדמיה הנומרית במונחים של חתכים אנכיים של ממוצעים אופקיים של דרגת הרוויה של המים וריכוז הכלוריד בתמיסת הקרקע לאחר תקופה של 120 יום, מוצגות באיור 28. ראשית נתייחס לדרגת הרוויה של המים. בהתייחס לטיפולים שבוצעו בפועל במטע, איור 28 מראה שיחסית לטיפול הייחוס (TWW) תעלות האוורור המכילות טוף, מקטינות את דרגת הרוויה של המים ולכן מגדילות את דרגת הרוויה של האווריר בבית השורשים, ואילו הטיפול הממשקי (TWW, 3d-LFI) להיפך. מיהול מי ההשקיה (TWW+FW ו-FW) אף הוא מקטין את דרגת הרוויה של המים ולכן משפר את רמת האוורור בבית השורשים באופן פרופורציוני לדרגת המיהול. מגמה זו מוצגת גם בטיפולים הנוספים המוצעים.



איור 28: חתכים אנכיים ממוצעים של דרגת הרוויה של המים בקרקע וריכוז הכלוריד בתמיסת הקרקע, עבור חמשת הטיפולים שבוצעו בפועל במטע (למעלה) וארבעת הטיפולים המוצעים (למטה).

ביחס לריכוזי הכלוריד בתמיסת הקרקע, איור 28 מדגים שבהשקיה במים מושבים, עקב הוצאת המים המשמעותית ע"י שורשי העצים, ריכוזי הכלוריד בתמיסת הקרקע בבית השורשים גבוהים יחסית. למקרה הייחוס, תעלות האוורור המכילות טוף גורמות להגדלה ניכרת של ריכוזי הכלוריד בסמוך לפני הקרקע (עקב ההתייבשות המהירה בסמוך לפני הקרקע), ולהקטנתם בחתך הקרקע מתחת לבית השורשים, עקב שטפי מים גבוהים יותר. יתר הטיפולים (משקי וטיפולי מהולים) גורמים להקטנת הריכוזים יחסית לטיפול הייחוס.

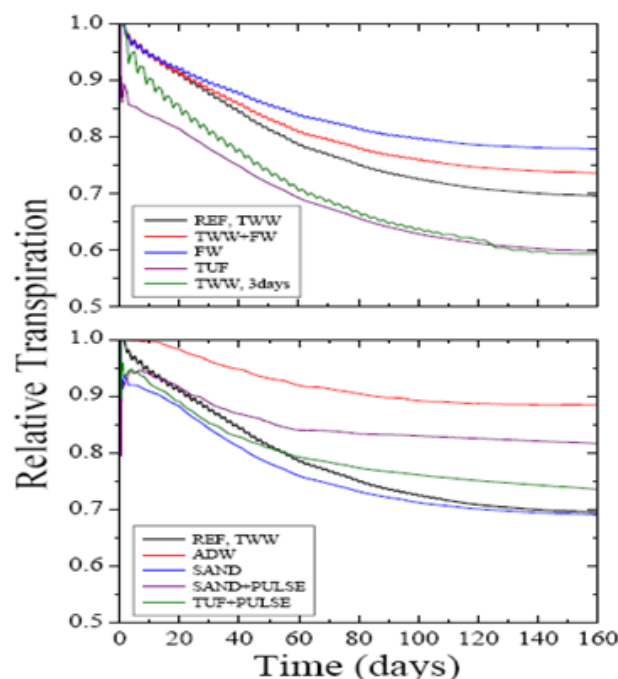
הטיפולים המוצעים הנוספים מראים את ההשפעה הניכרת של טיפול ה-ADW על ריכוזי הכלוריד בבית השורשים ואת היתרון של השקיה בפולסים כאשר נעשה שימוש בתעלות אוורור המכילות טוף. איור 29 מדגים חתכים אנכיים של ממוצעים אופקיים של מקדם זמינות החמצן, תלוי הרטיבות בקרקע, ושל קצב קליטת המים ע"י שורשי העצים לאחר תקופה של 120 יום. איור זה מראה שהשפעת תעלות האוורור בעיקר אלה המכילות טוף, על מקדם זמינות החמצן, ובעיקר, על קצבי קליטת המים ע"י השורשים משמעותית ביותר. האחרון נובע מהירידה הדרסטית במוליכות ההידראולית עם הירידה בתכולת הרטיבות של קרקע גסת-גרגר. כתוצאה מכך, במקרה של תעלות האוורור המכילות טוף, מירב קליטת המים ע"י שורשי העצים קורה מתחת לעומק תעלות האוורור. מיהול מי ההשקיה, או שילוב תעלות האוורור עם השקיה בפולסים עשוי לשפר באופן משמעותי את קצב קליטת המים ע"י העצים.



איור 29: חתכים אנכיים ממוצעים של קצב קליטת המים ע"י שורשי העצים ומקדם זמינות החמצן בקרקע, עבור חמשת הטיפולים שבוצעו בפועל במטע (למעלה) וארבעת הטיפולים המוצעים (למטה).

איור 30 מדגים את יכולת קליטת המים של שורשי העצים במונחים של הטרינספירציה היחסית בתלות בזמן. איור זה מדגים שבהשקיה במים מושבים, במהלך עונת השקיה אחת, הירידה היחסית בקליטת המים עשויה להגיע כמעט ל-30%. מבחינת הטיפולים שהופעלו במטע, איור 30 מדגים שיחסית למצב הייחוס (TWW), אין יתרון לטיפול ההשקיה בתדירות נמוכה או לתעלות האוורור המכילות טוף גס גרגר. לעומת זאת שיפור איכות מי ההשקיה (הטיפולים TWW + FW, ובעיקר FW) עשוי לשפר את קליטת המים ע"י העצים. מבחינת הטיפולים המוצעים, בולט היתרון של שיטת ה-ADW המשתמשת ב-TWW ובמים מותפלים (DSW) לסירוגין, במועדים הנקבעים ע"י מדידת המליחות בבית השורשים. יש לציין שניתן ליישם את

השיטה גם לחילוף בין TWW לבין FW. בנוסף, ביחס לשימוש בתעלות אוורור, השקיה בפולסים עשויה לשפר את קליטת המים ע"י שורשי העצים, בעיקר כאשר חומר המילוי פחות גס גרגר (חול).



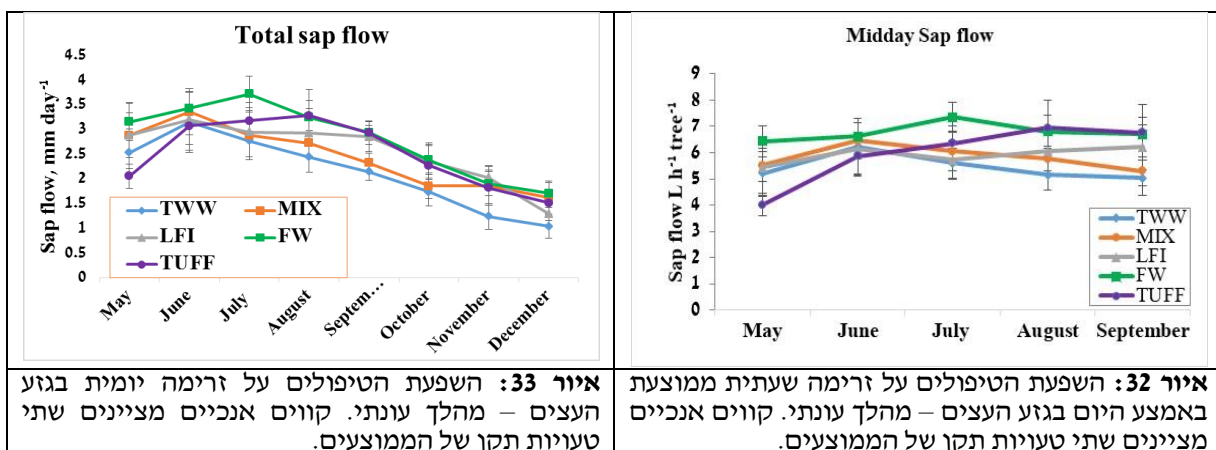
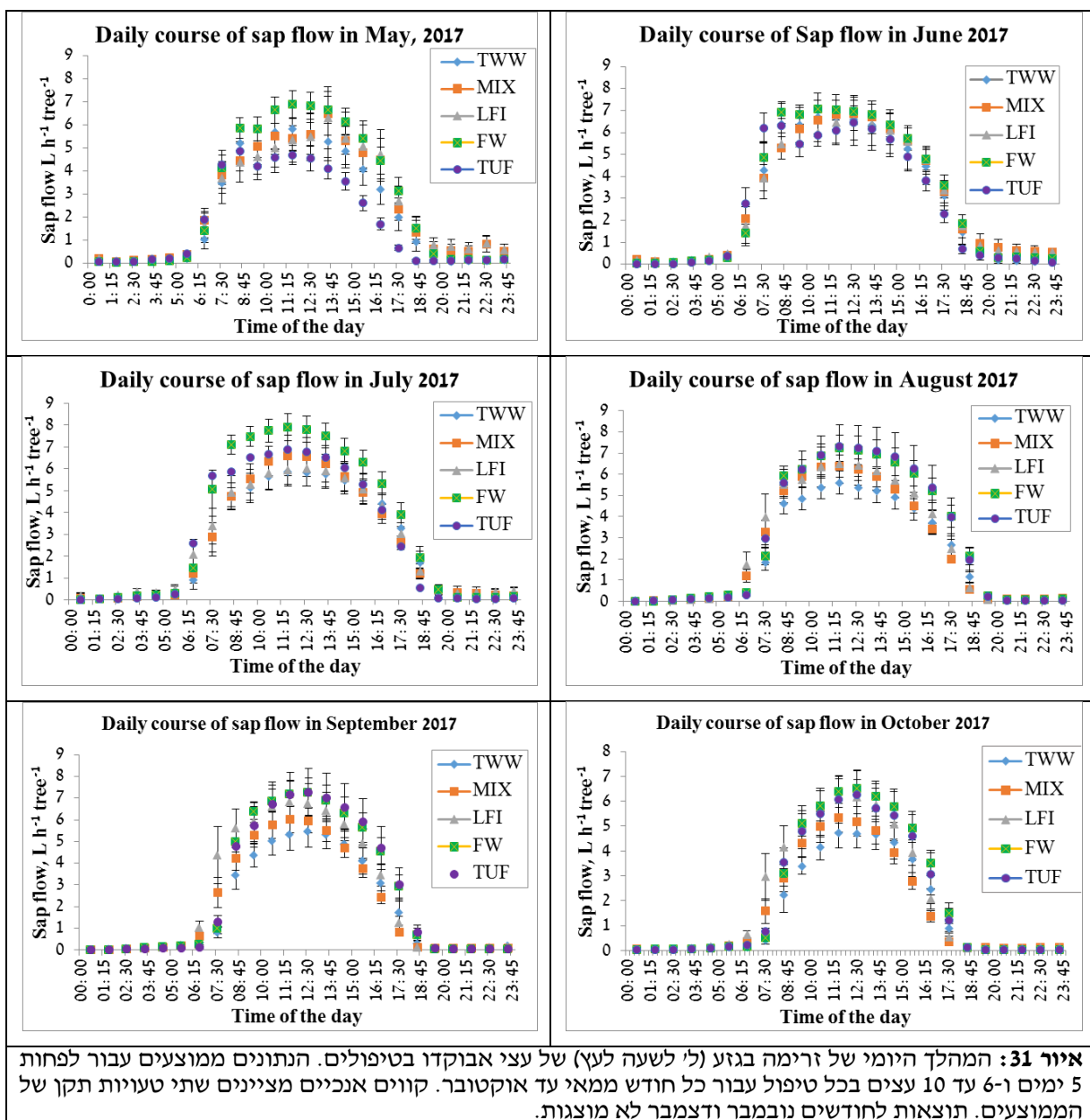
איור 30: טרנספירציה יחסית כתלות בזמן, עבור חמשת הטיפולים שבוצעו בפועל במטע (למעלה) וארבעת הטיפולים המוצעים (למטה).

ii. מעקב צמחי

א. צריכת מים של עצים: מהלכים יומיים ממוצעים מובאים באיור 31. מהלכים עונתיים של צריכה ממוצעת באמצע היום וסה"כ צריכה יומית מובאים באיורים 32, 33, ו-34. כמעט תמיד הצריכה הכי גבוהה היתה בהשקיה עם מים שפירים FW. במאי ויוני הצריכה הכי נמוכה היתה בטיפול טוף, כפי שנצפה בסוף עונת 2016 (ראה בדו"ח שנה א' של המחקר). אך צריכה זאת התגברה עם הזמן עד שנהיתה שווה לזו של טיפול השפירים בחודשים אוגוסט וספטמבר. באוקטובר, נובמבר ודצמבר צריכת המים בטיפול הטוף נשארה ברמה של השפירים ולא שונה ממנו באופן מובהק. הטיפולים של קולחים וקולחים בתדירות נמוכה (TWW & LFI) צרכו פחות מים מהשפירים בתחילת העונה עד יולי, אך יותר מהטוף. החל מחודש אוגוסט חלה עליה בצריכה היחסית של LFI כך שבהמשך צריכת המים ב-TWW הייתה הכי נמוכה והחל מספטמבר צריכת המים בטיפול LFI צרך הייתה דומה לטיפול טוף ושפירים. צריכת המים בטיפול המיהול MIX הייתה בין השפירים לקולחים במשך כל העונה.

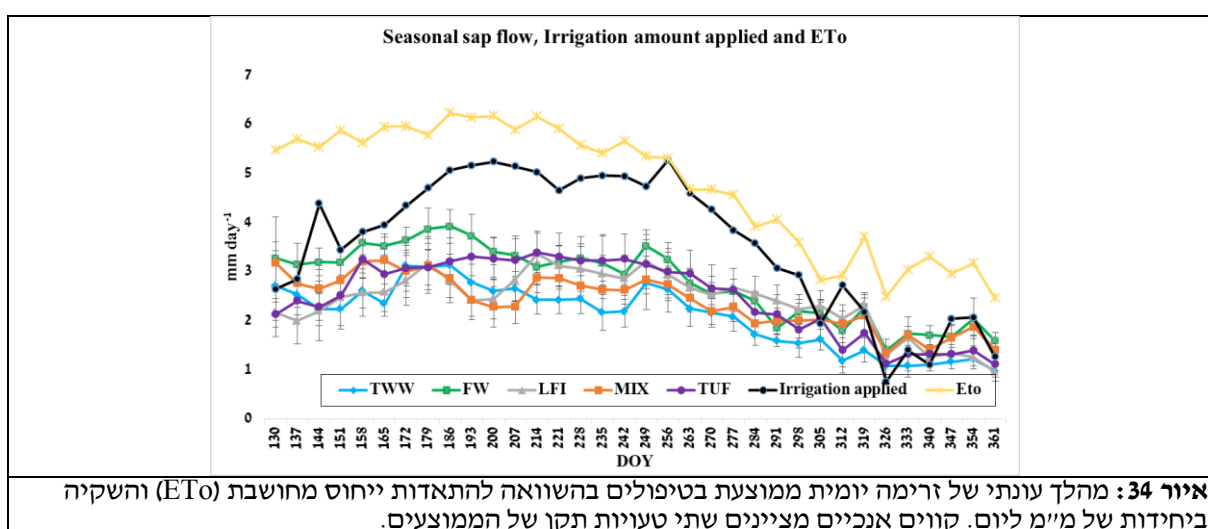
התבוננות באופי המהלך היומי יכולה גם להעיד על הבדלים במצב העץ. במיוחד ירידה מוקדמת בצריכת מים אחה"צ יכולה להעיד על עקת מים מסוימת. בתוצאות שלנו ניתן להבחין בהתנהגות כזאת בטיפול טוף במאי, המעיד על עקת מים בטיפול זה. ביתר הטיפולים ובמשך שאר העונה אין עדויות להבדלים באופי המהלך היומי.

התאדות ייחוס חושבה מנתוני התחנה המטאורולוגית בעכו. השווינו גם לתחנות אחרות קרובות שנתנו ערכים דומים. לקראת קיץ 2018 אנו מתכוונים להתקין תחנה מטאורולוגית במטע כדי שיהיו לנו נתונים מקומיים של התאדות ייחוס. הדבר ידרוש העלאת תורן לגובה של לפחות 2 מ' מעל לנוף של העצים.



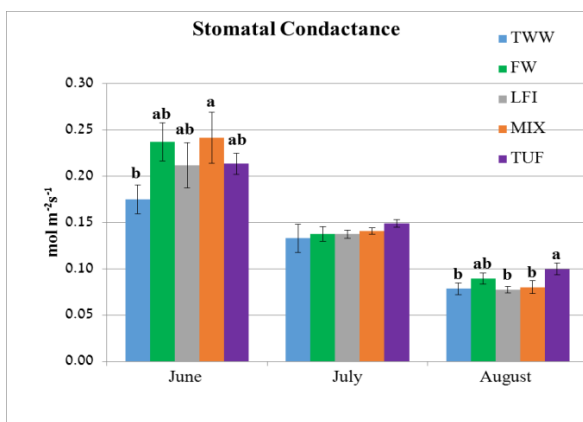
איור 34 מסכם את המדידות של צריכת מים לפי מדידות זרימה בגזע בהשוואה להתאדות ייחוס מחושבת (מנוסחת פנמן מונטית) ומנות השקיה הניתנות בניסוי בכל עשרת. היחס בין מנת ההשקיה להתאדות ייחוס מהווה את המקדם גידול המשתנה, כולל מקדם שטיפה, לאורך העונה, לפי המלצות ומימוש בשטח. לפי זה, המקדם גידול בתוספת מקדם שטיפה עולה ל-1 לתקופה קצרה בספטמבר אבל ביתר העונה היה פחות מ-1. לפי המדידות שלנו, הצריכה בפועל הייתה נמוכה בהרבה מההשקיה, במיוחד בחודשים יולי, אוגוסט וספטמבר. ייתכן שניתן לאמת ממצא זה מול מדידות תכולת מים בקרקע ואם לפי המדידות בשתי השיטות ההשקיה הייתה בעודף, נראה שיש מקום לצמצם את מנות ההשקיה במטע זה, או להציע מחקר נוסף שיתמקד בקביעת מנות השקיה יותר מדויקות.

המשך ניתוח נתונים אלה יכול חישובים של מוליכות נוף. ניתן להניח שהניתוח יחדד את הממצא של מוליכות משתנה בטיפול טוף ו-LFI במשך העונה.

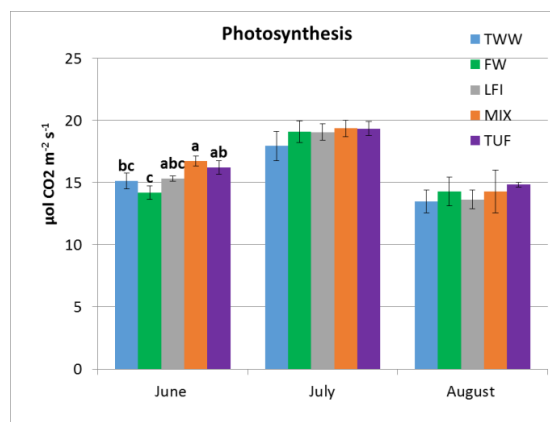


ב. פוטוסינתיזה ומוליכות עלים לאדי מים: המדידות נעשו ביום אחד בכל חודש. תוצאות עבור יוני, יולי ואוגוסט מובאות באיורים 35, 36 ו-37. ערכי פוטוסינתיזה ומוליכות עלים אלה סבירים עבור עצים פעילים, כאשר הערכים של מוליכות עלים באוגוסט נמוכים יחסית. השוואה בין הטיפולים מראה שערכים נמוכים של מוליכות התקבלו עבור טיפול TWW, כאשר נצפה עליה הדרגתית במיקום היחסי של מוליכות טיפול טוף, שנהיה דומה לשפירים FW וגבוה באופן מובהק מהאחרים בחודש אוגוסט. ממצא זה תואם את הממצאים של זרימה בגזע שתוארו לעיל.

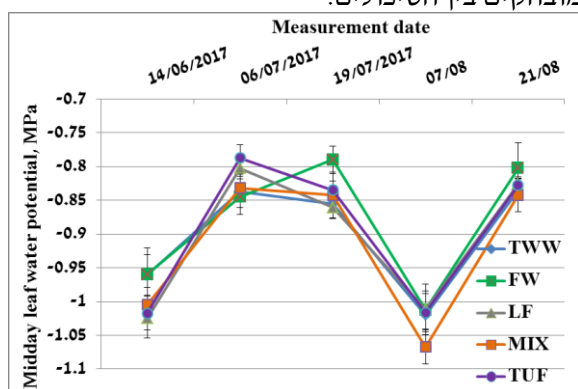
במדידות פוטוסינתיזה של עלים (איור 37) לא נמצאו הבדלים מובהקים בין הטיפולים ביולי ואוגוסט. הבדלים קטנים, אך מובהקים, נצפו בחודש יוני בין טיפולי MIX לשפירים, אבל קשה לייחס להם משמעות. במועד אחד נמדדה פלורסצנציה של כלורופיל בעלים (איור 38). במדידות אלה לא נמצאו הבדלים בין הטיפולים. ב-2018 מתוכננות מדידות נוספות של פוטוסינתיזה ופלורסצנציה של כלורופיל.



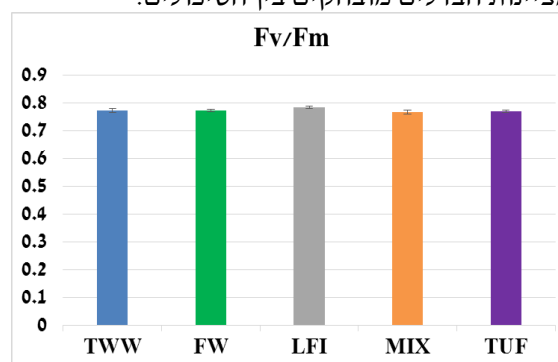
איור 336: השפעת הטיפולים על מוליכות עלים ממוצעת בקיץ 2017. קווים אנכיים מציינים שתי טעויות תקן של הממוצעים. אותיות מעל לעמודות מציינות הבדלים מובהקים בין הטיפולים.



איור 35: השפעת הטיפולים על ממוצע פוטוסינתזה של עלים בקיץ 2017. קווים אנכיים מציינים שתי טעויות תקן של הממוצעים. אותיות מעל לעמודות מציינות הבדלים מובהקים בין הטיפולים.



איור 38: פוטנציאל מים בגזע בצהריים – מהלך עונתי. קווים אנכיים מציינים שתי טעויות תקן של הממוצעים.



איור 37: השפעת הטיפולים על פלורסצנציה של כלורופיל בעלים בקיץ 2017. קווים אנכיים מציינים שתי טעויות תקן של הממוצעים.

ג. מדידת צמיחת שורשים בסריקה דרך צינורות שקופים (Minirhizotron): במהלך 2017 נערכו 7 מדידות

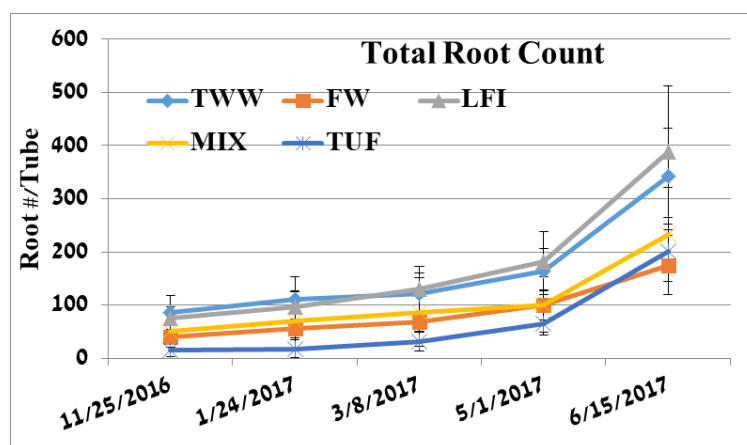
באמצעות המיניריזוטרון שהצטרפו למדידות גלילי השורשים. התוצאות המוצגות בדו"ח הנוכחי הן של 5 מתוך המדידות שנערכו. שאר המדידות עדיין מנותחות והן ידווחו בהמשך.

הן בבדיקת כלל השורשים בפרופיל והן בבדיקת מספר השורשים בעומקי הקרקע השונים לא נמצא הבדל מובהק בין הטיפולים, אם כי לתדירות ההשקיה בתדירות נמוכה (LFI) וטיפול המים המושבים המטופלים (TWW) היה מספר שורשים גבוה יותר (איורים 39 ו-40).

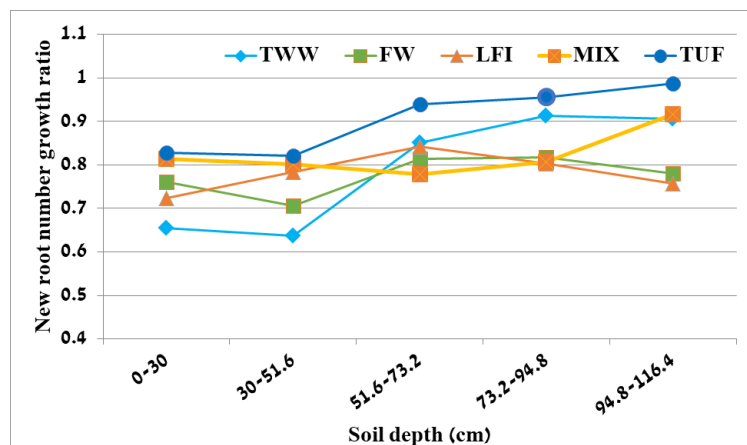
מגמה דומה למספר השורשים התקבלה גם לגבי אורך השורשים הכללי (איור 41). יש לציין כי בכל מועדי המדידה טיפול הטוף אופיין במדדים נמוכים לעומת שאר הטיפולים, אולם במדידה האחרונה ניכר שיפור באורך השורשים גם בטיפול זה. מרבית ההבדלים אינם מובהקים, למעט ההבדל המובהק בין טיפול ההשקיה בתדירות נמוכה (LFI) וטיפול המים המושבים המטופלים (TWW) לבין טיפול הטוף במועד הדגימה האחרון. תוצאות דומות התקבלו גם לגבי נפח השורשים, ושטח הפנים של השורשים (תוצאות לא מוצגות).

במדידות השונות אנו מתחילים לראות את השפעת הטיפולים על התפתחות השורשים. השורשים לפי כל גורמי המדידה השורשים בטיפול הטוף פיגרו מאד לעומת הטיפולים האחרים, כנראה בגלל העובדה כי הקרקע הוצאה מתעלות הטוף יחד עם השורשים והוחלפה במצע טוף. לכן לקח זמן לשורשים להתפתח, למלא

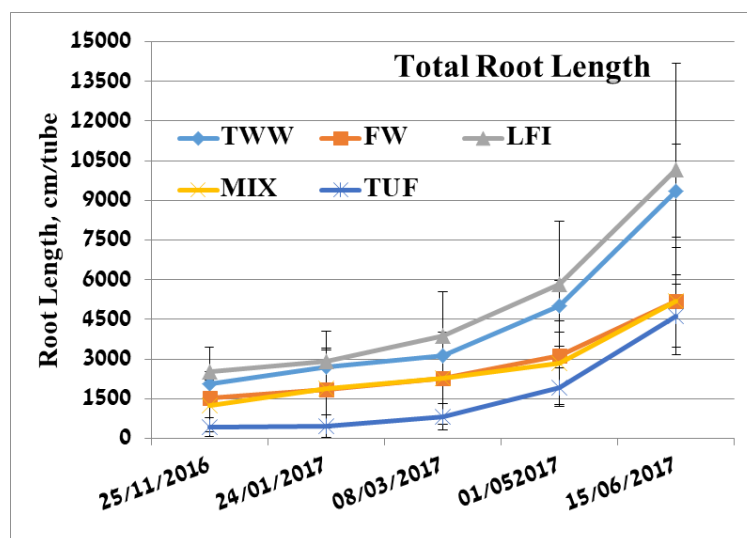
את התעלות ולהגיע עד צינורות המדידה. במדידות האחרונות מתחילים לראות את התפתחות השורשים המהירה במצע זה, כך שהתפתחות היחסית בטיפול זה היא הגבוהה ביותר. יש להמשיך את המדידות עוד כשנה שנתיים על מנת לראות את השפעות הטיפולים השונים.



איור 39: מספר השורשים הכללי לאורך השנה בטיפולים השונים (n=6 בכל טיפול).



איור 40: מספר השורשים במדידה האחרונה ביחס למספר השורשים במדידה הראשונה.



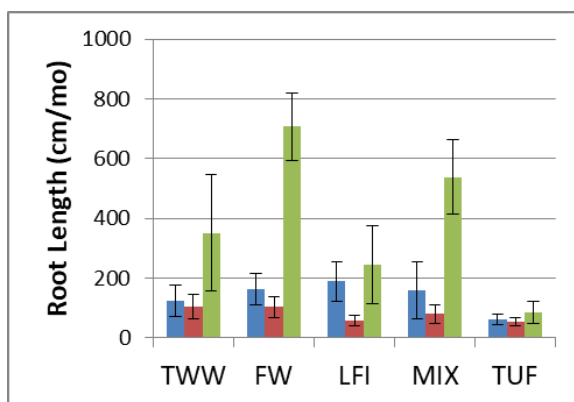
איור 41: אורך השורשים הכללי במועדי המדידה השונים לאורך השנה בטיפולים השונים (n=6 בכל טיפול).

ד. מדידת צמיחת שורשים בשיטת גלילי רשת (Ingrowth Cores): תוצאות המדידה של השורשים שצמחו אל

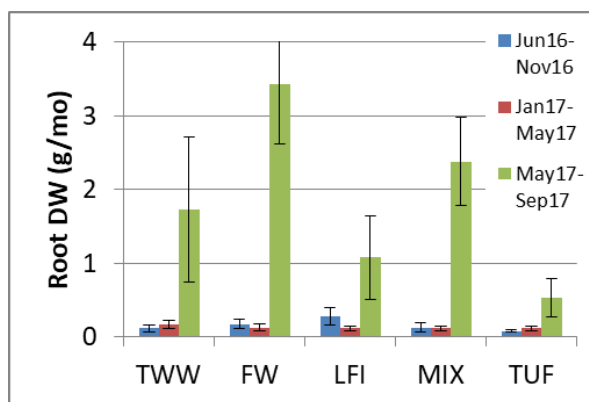
תוך גלילי הרשת במהלך השנה וחצי הראשונה לניסוי מוצגות באיורים 42-46. נראה שבחודשי הקיץ (מאי-ספטמבר) הייתה צמיחה רבה במידה ניכרת לעומת הצמיחה בחודשי החורף והאביב (איורים 42 ו-43). גם אורך השורשים הסגולי בעונה זאת היה גבוה יותר מאשר בעונות האחרות (איור 44). למרות שלא נמצאו הבדלים מובהקים בקוטר השורשים הממוצע (איור 45) ניתוח ההבדלים בפיזור שטח הפנים של השורשים שצמחו במשך הקיץ בהתאם לקוטר (איור 46) מעיד על הבדלים בין הטיפולים. בטיפולי TWW, MIX נמצא הפיזור המעיד על כך שחלק עיקרי של השורשים היה בקטרים הנמוכים, דבר המעיד על הסתעפות שורשים רבה ונוכחות שורשים דקיקים בכמות גדולה יחסית. לעומת זאת בטיפולים האחרים, בעיקר בתעלות TUF, היה חלק גדול של השורשים בקטרים עבים יותר.

השונות בין התוצאות של החזרות אמנם גדולה, אך היא דומה למה שהכרנו במדידות השורשים באותה שיטה במטע בעכו במסגרת המיזם הקודם. הממצא של צמיחת שורשים רבה יותר בחודשי הקיץ גם הוא תואם חלק מהתוצאות של המיזם הקודם.

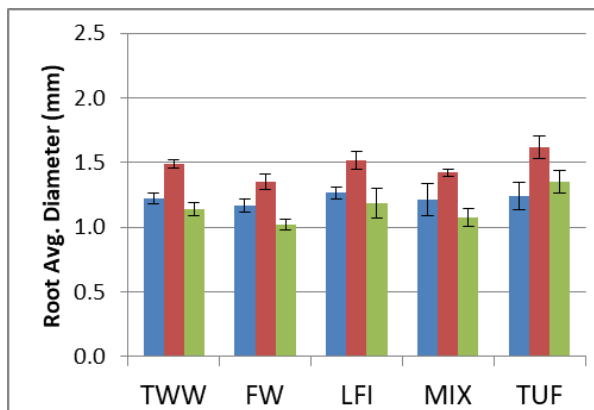
התוצאות של הצמיחה לגלילים בתעלות הטוף מעיד על כך שנדרשת יותר משנה עד שהשורשים מצליחים לצמוח אל תוך הטוף ולנצל את נפח ההזנה חדש הזה. מהתוצאות ניתן בשלב זה להוציא שתי מסקנות חשובות: א. הפגיעה במערכת השורשים של העצים, כתוצאה מחפירת התעלות, הייתה קטנה ולא ניכרה השפעה שלילית על ביצועי העצים. ב. אין לצפות לכך שהתוצאות יצביעו על תועלת מהטיפול הזה, בהשוואה לטיפולי ההשקיה בקולחים, לפני חלוף שנתיים לפחות מהתקנת התעלות.



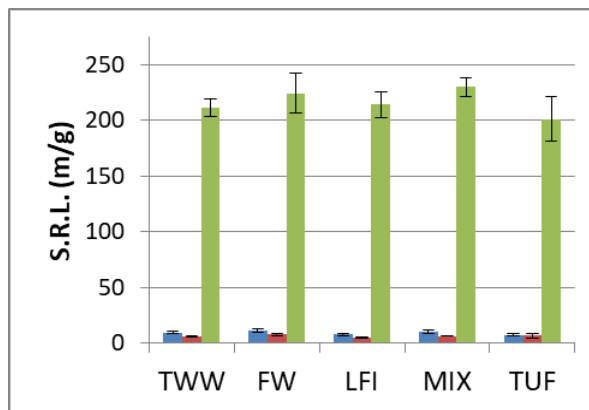
איור 43: קצב צמיחת שורשים (בממדי אורך, ממוצעים ושגיאות תקן) בטיפולים השונים



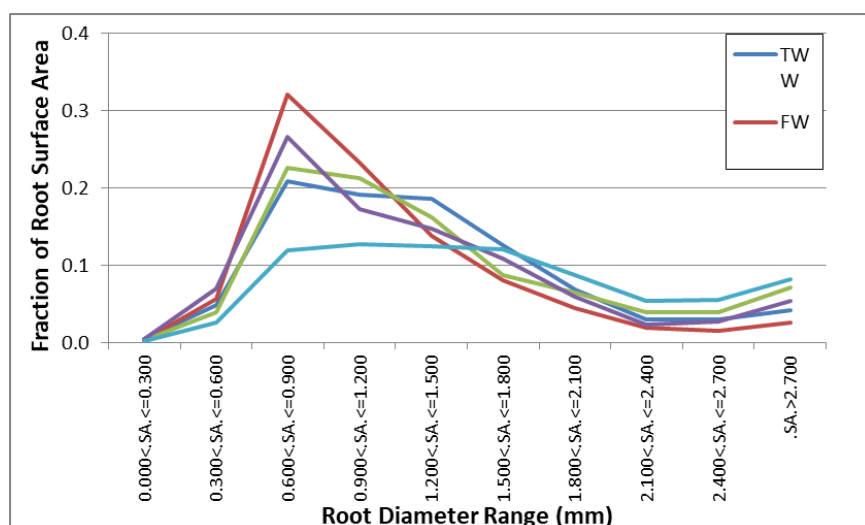
איור 42: קצב צמיחת שורשים (בממדים של משקל יבש, ממוצעים ושגיאות תקן) בטיפולים השונים



איור 45: קוטר שורשים (ממוצעים ושגיאות תקן) בטיפולים השונים



איור 44: אורך שורשים סגולי (ממוצעים ושגיאות תקן) בטיפולים השונים



איור 46: התפלגות שטח הפנים של השורשים שנדגמו בספטמבר 2017 לפי הקוטר בטיפולים השונים

ה. ריכוזי מינרלים בעלים ובדגימות גזע: ריכוזי המינרלים בעלים מוצגים בטבלאות 6, 7 ו-8. ריכוזי הגופרית, הברזל והמנגן בעלים בטיפול ה-TUF נמוכים באופן מובהק מטיפול ה-TWW ובהבדל קטן יחסית, שאינו מובהק, משלושת הטיפולים האחרים. ריכוז האבץ בטיפול ה-TUF נמוך מעט מאשר בטיפולים האחרים, אך הבדל מובהק נמצא רק בינו לבין טיפול LFI. בריכוזי הכלור, הסידן, המגנזיום, האשלגן, הבורון והזרחן לא נמצא הבדל מובהק בין חמשת הטיפולים. פרט לכלור, ריכוז היסודות היה בתחום שהוגדר כתקין ע"י Lahav and Kadman (1980). ריכוז הנתרן בעלים (טבלה 6) בטיפולים TW, FW ו-TUF היה גבוה ב-2017 ב-50%, 50%-ו-44%, בהתאמה מהריכוז שנמדד בטיפולים אלו ב-2016. ערכים אלו מצויים עדיין בתחום שאינו מוגדר כגורם נזק.

טבלה 6: ריכוז המינרלים בעלים (מ"ג/ק"ג). עלים נדגמו משישה עצים בכל טיפול, עץ בכל חזרה. בכל עץ נדגמו שמונה עלים צעירים ושמונה עלים מבוגרים. הערכים מתייחסים לעלים הצעירים והמבוגרים ביחד. ANOVA, (LSD) Tukey-kramer $P \leq 0.05$.

		S	P	Na	Fe	Mn	Zn	B	K	Mg	Ca	Cl
TWW	AVG	2376	1303	110.8	87.6	80.5	39.1	38.4	14860	4151	9936	1194
	S.E.	143	235	13.8	13.4	15.4	2.8	3.6	1132	560	1741	183
		A	A	C	A	A	BC	A	A	A	A	A
FW	AVG	2031	1289	102.2	62.1	58.0	41.2	33.7	12937	3824	9441	1103
	S.E.	154	235	19.8	6.7	10.6	4.7	2.5	1104	545	1669	166
		AB	A	C	AB	AB	ABC	A	A	A	A	A
LFI	AVG	2116	1649	314.4	56.1	69.2	69.5	33.0	13057	3866	8807	1083
	S.E.	135	125	75.1	8.4	16.0	10.6	2.7	1006	581	1616	201
		AB	A	AB	B	AB	A	A	A	A	A	A
MIX	AVG	2211	1821	435.0	53.5	69.6	61.9	37.1	12606	3672	8370	1248
	S.E.	136	149	70.3	3.0	16.5	10.0	2.6	1096	569	1586	254
		AB	A	A	B	AB	AB	A	A	A	A	A
TUF	AVG	1987	1752	129.5	40.0	46.2	18.0	32.3	14190	3433	7405	1443
	S.E.	103	136	28.1	3.7	8.4	4.9	1.5	1108	437	1270	303
		B	A	BC	B	B	C	A	A	A	A	A
	P-	0.0295	0.0226	<0.0001	0.0005	0.0201	0.0001	0.4117	0.0565	0.3139	0.0889	0.6586
	S.E.	90.9	142.6	48.44	7.20	7.30	7.08	2.66	608.4	239.2	669.7	185.2

ריכוז הנתרן בטיפולים LFI ו-MIX היה גבוה באופן חריג ועמד על 314 ו-435 מ"ג/ק"ג, בהתאמה. יש לחזור על האנליזה של הנתרן בטיפולים אלו לפני שנסיק מסקנה כלשהי. במרבית היסודות היה הריכוז בעלים המבוגרים גבוה מאשר בצעירים (טבלה 7). ריכוז גבוה יותר בצעירים מאשר במבוגרים נמצא בזרחן ובאשלגן. ריכוזי האבץ והבורון היו זהים בעלים הצעירים והמבוגרים. ריכוזי היסודות בעלים הצעירים ובמבוגרים אינו חורג מהתחום התקין.

טבלה 7: השוואה בין ריכוזי מינרלים בעלים צעירים ובוגרים (מ"ג/ק"ג). עלים נדגמו משישה עצים בכל טיפול, עץ בכל חזרה. בכל עץ נדגמו שמונה עלים צעירים ושמונה עלים מבוגרים. ANOVA, (LSD) Tukey-kramer $P \leq 0.05$.

גורם	הניתוח	S	P	Na	Fe	Mn	Zn	B	K	Mg	Ca	Cl
צעיר	AVG	1809.4	1947.5	249.3	48.1	25.8	45.1	34.0	16542.9	2176.8	4019.3	771.2
	S.E.	44.3	108.3	36.4	5.9	1.3	4.4	1.4	354.9	102.7	283.3	45.6
		B	A	A	B	B	A	A	A	B	B	B
בוגר	AVG	2478.8	1178.1	187.5	71.6	103.6	42.8	35.8	10517.3	5402.0	13564.3	1657.0
	S.E.	74.3	83.1	40.6	4.5	6.9	6.7	1.9	446.9	189.5	553.7	156.9
		A	B	A	A	A	A	B	B	A	A	A
	P-	<0.0001	<0.0001	0.1593	0.0006	<0.0001	0.6978	0.4747	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
	S.E.	57.5	90.2	30.6	4.6	4.6	4.8	1.7	384.7	151.3	423.5	117.2

בטבלה 8 מוצגת השוואה בריכוז המינרלים בעלים בטיפולים TWW ו-FW בין השנים 2016 ו-2017. הסימן מינוס והצבע הצהוב מסמנים ירידה בריכוז היסוד ב-2017 לעומת 2016 והצבע הירוק מסמן עליה בריכוזי היסוד. במרבית היסודות קיים שינוי דומה בריכוזי היסודות בעלים בין השנים בשני הטיפולים ולא נמצא שינוי מהותי בין שתי השנים. ברזל הוא החריג היחיד, ובו נמצאה ב-TWW ב-2017 עליה בריכוז היסוד וב-FW נרשמה בו ירידה. בריכוז הנתרן נמדדה עליה של קרוב ל-100% בשני הטיפולים וכפי שצוין למעלה הדבר דורש חזרה על האנליזה.

טבלה 8: השוואה בין ממוצעי ריכוז מינרלים בעלים (מ"ג/ק"ג) אבוקדו יסעור ב-2016 ו-2017 בטיפולים TWW ו-FW. הסימן מינוס והצבע הצהוב מסמנים ירידה בדגימות 2017 בהשוואה לדגימות 2016, הערכים החיוביים והסימן בירוק מסמנים עליה בריכוז ב-2017 לעומת 2016.

טיפול	שנה	S	P	Na	Fe	Mn	Zn	B	K	Mg	Ca	Cl
TWW	2016	2676.6	1571.4	56.4	66.9	107.9	31.1	39.4	11187.2	5217.8	14433.1	3502.7
TWW	2017	2375.9	1302.7	110.8	87.6	80.5	39.1	38.4	14860.3	4151.2	9935.6	1193.5
	שינוי ב-%	-11.2	-17.1	96.6	30.8	-25.8	25.8	-2.6	32.8	-20.4	-31.2	-65
FW	2016	2440.6	1734.9	51.3	67.0	96.5	28.7	34.3	11382.4	4344.2	13316.5	1914.0
FW	2017	2030.9	1289.0	102.2	62.1	58.0	41.2	33.7	12937.1	3824.3	9440.9	1103.1
	שינוי ב-%	-16.8	-25.7	99.2	-7.4	-39.9	43.5	-1.7	13.7	-12	-29	-42

ריכוז מינרלים בשורש מוצג בטבלה 9. בריכוזי המינרלים בשורש קיימת שונות גדולה בין החזרות. לא ניתן לציין הבדלים בולטים בריכוז המינרלים בשורשים מהטיפולים השונים. יתכן והדבר נובע מהקושי לדגום שורשים בעלי קוטר זהה וכן הקושי בניקוי השורש. בטיפול ה-TUF נדגמו באופן נפרד שורשים מתעלת הטוף ומהקרע של אותם עצים. במרבית היסודות היה הריכוז גבוה בשורשים שהוצאו מתעלת הטוף לעומת אלה

שבדודו מהקרקע. יתכן שהדבר נובע מהעובדה שהשורשים שנאספו בטוף היו מעט דקים יותר והכילו באופן יחסי יותר רקמות פרנכימה. השורשים שמקורם בטוף גם נשטפו ביתר קלות. בריכוז המינרלים ברקמות העצה של הגזע לא נמצא הבדל מובהק בין הטיפולים (טבלה 10).

טבלה 9: ריכוז מינרלים (מ"ג/ק"ג) ברקמות השורש, שישה עצים לכל טיפול, עץ לחזרה. נדגמו שורשים בקוטר שבין 0.2-0.6 ס"מ מעומק של עד 30 ס"מ לערך. בעצי טיפול הטוף נדגמו שורשים

מהקרקע (TUF S) ומתעלת הטוף עצמה. ANOVA, (LSD) Tukey-kramer $P \leq 0.05$.

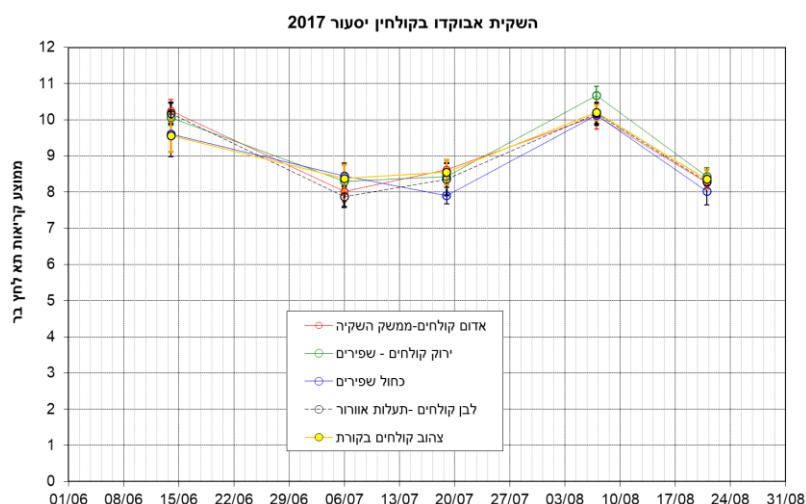
		S	P	Na	Fe	Mn	Zn	B	K	Mg	Ca	Cl
TWW	AVG	1149.8	1607.7	5127.7	1809.4	55.1	48.8	8.9	157.6	1479.3	5858.2	6905.2
	S.E.	329.5	637.5	1514.1	906.2	28.5	16.1	1.7	47.4	576.5	2255.4	2607.2
		B	A	B	AB	A	A	B	B	BC	A	AB
FW	AVG	1250.4	1985.0	3154.5	1284.2	47.2	51.0	12.5	283.6	1996.4	7475.6	6737.9
	S.E.	163.2	244.9	407.7	224.6	7.6	10.0	1.8	69.3	285.8	1050.5	1464.9
		B	A	B	B	A	A	B	B	ABC	A	AB
LFI	AVG	1545.1	2340.4	5930.5	2444.5	75.7	41.9	12.9	226.5	2243.2	9476.8	7487.8
	S.E.	187.3	403.4	915.5	572.1	13.5	5.6	1.0	34.8	220.8	1108.4	1139.1
		B	A	B	AB	A	A	B	B	ABC	A	AB
MIX	AVG	2212.2	3177.9	8261.9	3741.2	103.2	65.5	14.9	4591.8	2839.4	11413.1	7607.3
	S.E.	398.0	476.4	2157.1	645.4	16.2	6.3	2.0	1419.0	392.1	2094.3	1929.8
		B	A	AB	A	A	A	AB	A	AB	A	AB
TUF,S	AVG	1155.4	1433.4	3737.3	1035.6	37.3	35.3	12.7	5184.5	1227.0	5700.5	2353.0
	S.E.	104.0	147.4	337.9	259.2	6.3	3.2	0.5	518.5	124.3	625.5	166.7
		AB	A	B	B	A	A	B	A	C	A	B
TUF	AVG	3020.7	3427.2	12301.5	1486.6	68.9	48.6	21.0	6147.4	3404.3	9270.3	9916.8
	S.E.	548.4	902.4	1966.6	153.3	10.2	4.0	1.5	612.3	427.1	1042.9	1723.3
		B	A	A	AB	A	A	A	A	A	A	A
	P -	0.0013	0.0615	0.007	0.0132	0.0727	0.1679	0.0002	<0.0001	0.002	0.0707	0.0845

טבלה 10: ריכוז המינרלים (מ"ג/ק"ג) ברקמות הגזע. דגימות משישה עצים בכל טיפול, עץ לחזרה. הדגימה בוצעה ע"י קידוח עד לעומק של כ-5 ס"מ של נקב בקוטר 6 מ"מ בגובה של כ-10 ס"מ מפני הקרקע. נסורת הקידוח שכללה את רקמות הסות והעצה נאספה בעת הקידוח.

ANOVA, (LSD) Tukey-kramer $P \leq 0.05$.

		S	P	Na	Fe	Mn	Zn	B	K	Mg	Ca	Cl
TWW	AVG	381.2	474.3	549.6	320.0	15.0	13.9	6.8	3272.8	594.1	3177.2	318.2
	S.E.	37.1	68.0	200.9	203.7	6.4	1.3	0.5	228.8	81.3	602.2	31.5
	signif	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
FW	AVG	319.7	440.2	295.5	133.3	8.5	10.7	6.4	3680.8	551.9	2461.5	329.4
	S.E.	26.7	54.1	79.2	41.2	1.3	2.7	0.8	506.8	71.3	380.2	42.6
	signif	A	A	A	A	A	AB	A	A	A	A	A
LFI	AVG	301.6	389.5	340.6	75.5	6.8	6.7	5.1	2750.9	482.3	2253.9	302.3
	S.E.	19.3	31.3	75.4	13.2	0.4	1.3	0.2	210.0	36.3	226.0	18.4
	signif	A	A	A	A	A	BC	A	A	A	A	A
MIX	AVG	317.1	520.1	440.6	56.1	6.2	5.3	5.9	3146.4	482.7	2330.2	391.6
	S.E.	21.6	36.8	101.4	16.6	1.0	1.4	0.5	136.5	53.5	225.5	45.5
	signif	A	A	A	A	A	BC	A	A	A	A	A
TUF	AVG	313.8	452.1	629.7	57.1	6.5	2.9	5.4	2871.0	410.5	1910.4	341.6
	S.E.	22.3	46.4	234.8	7.6	0.3	0.9	0.4	340.2	24.0	130.7	23.6
	signif	A	A	A	A	A	C	A	A	A	A	A
	P	0.2547	0.4525	0.519	0.2546	0.2173	0.0005	0.1499	0.2732	0.2251	0.1734	0.4258

1. תא לחץ: במהלך עונת ההשקיה לא נמצאו הבדלים מובהקים בקריאות תא הלחץ בעצים של הטיפולים השונים (איור 47).

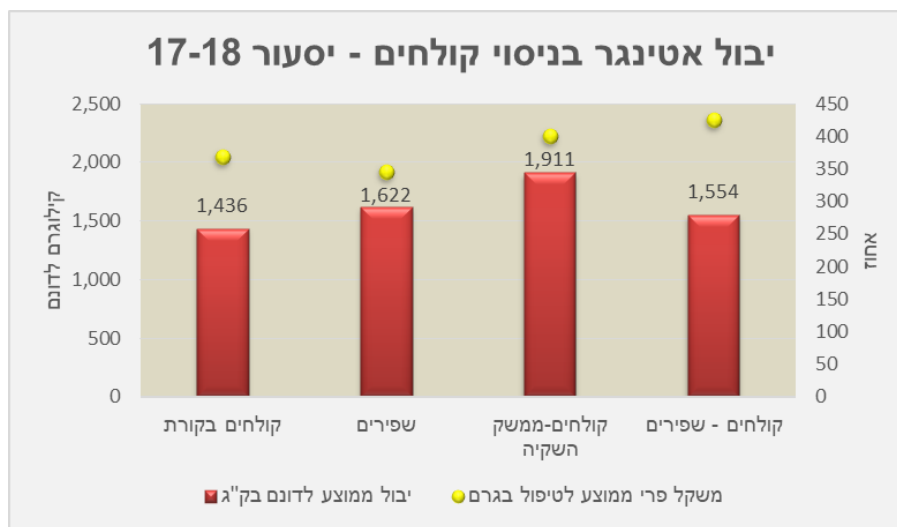


איור 47: ממוצע ושגיאת תקן של קריאות תא לחץ

2. יבול: עונת 2017-2018 מתאפיינת ביבולים בינוניים-נמוכים באזור של מטע יסעור. האביב הקריר ופעילות דבורים נמוכה גרמו לתנאי חנטה לא טובים.

יבול אטינגר

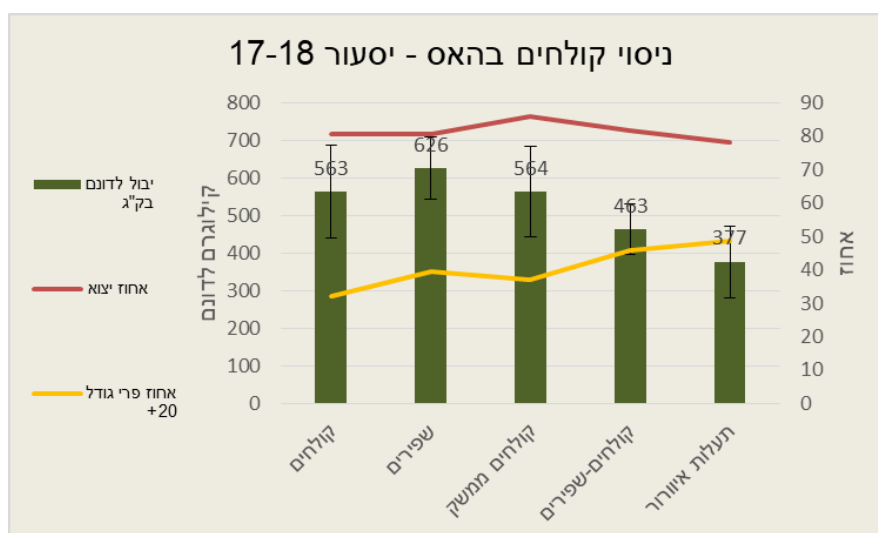
נראה יתרון מסוים לטיפול הקולחים ממשק (LFI), ולטיפולים השונים על פני טיפול קולחים בקורת (איור 48). טיפול תעלות הטוף לא נכלל בניתוח האטינגר כיוון שזן זה אינו משולב בשורות שבהן יושם הטוף.



איור 48: יבול בזן אטינגר בעונה 2017-2018.

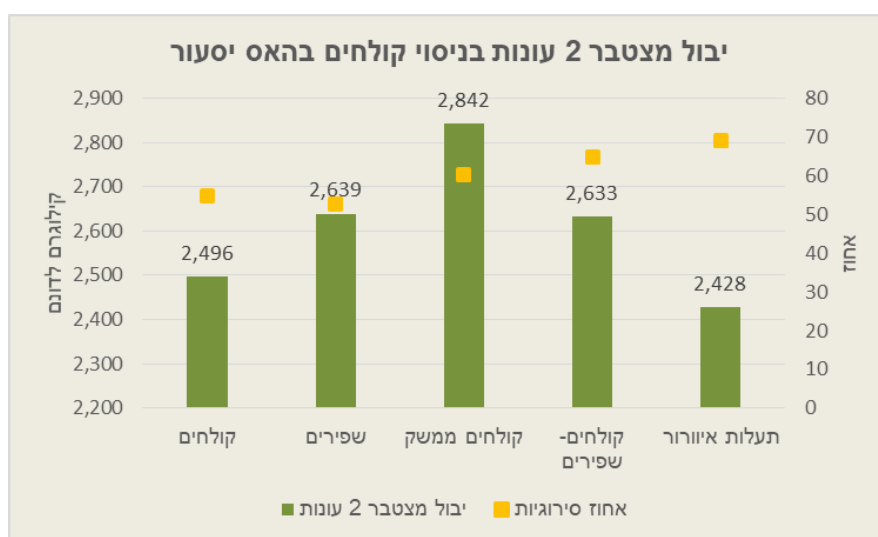
יבול ההאס

יבולי ההאס בטיפול תעלות הטוף היה הנמוך ביותר, אולם כל היבולים היו נמוכים מאד ולא נמצאו הבדלים מובהקים בין הטיפולים (איור 49).



איור 49: יבול בזן האס בעונה 2017-2018. ההבדלים בין הטיפולים אינם מובהקים.

רמת היבול הדו שנתי היא טובה למדי. רמת הסירוגיות בכל הטיפולים גבוהה מאד. עונה קודמת יבול גבוה ועונה אחרונה יבול נמוך. טיפולי הטוף והקולחים נראים נחותים כאשר בטיפול השפירים, טיפול המיחול ובטיפול LFI נראה שיפור מסוים (איור 50).



איור 50: יבול בזן האס מצטבר לעונות 2016-2017 ו-2017-2018.

6. סיכום ומסקנות

התוצאות הרבות שנאספו דורשות עדיין הרבה עבודת עיבוד ואינטגרציה שתושלם במהלך השנה הקרובה, אולם כבר עכשיו עולות מספר תובנות שעיקריהן מפורטות להלן. מסקנה אחת חשובה ובולטת הינה שתגובות העצים, ובעיקר התבטאותה ברמות היבול, הינה איטית ובשלב זה עדיין אינה ברורה. לעומת זאת מדדים מפורטים שנבחרו במחקר זה למעקב אחר תגובת המטע לטיפול התיקון השונים, מצביעים כבר עתה על מגמות השפעה. חלק מההשפעות החלו להתבטא רק לאחר שנה מעת הצבת הטיפולים, ואנו מעריכים שהתגובות יהפכו למשמעותיות יותר בשנה הקרובה ובשנים שלאחריה, ועם הזמן יתבטאו בהבדלים מובהקים גם במדדי התפתחות העצים וכמות היבול.

תוצאות דיגום הקרקע לאחר תום עונת ההשקיה השנייה בדצמבר 2017 מצביעות על כך שהשקיה במים שפירים מקטינה באופן משמעותי את ריכוזי הנתרן, הכלוריד וה- SAR בחתך הקרקע מתחת לשלוחות הטפטוף לעומת השקיה בקולחים בממשק משקי בהתאמה להשפעה שנמצא בניסוי בפרדס במזרע (Paudel et al. 2018). בכל הטיפולים המשפרים שנבחנו, מיהול קולחים בשפירים, תעלות אוורור (טוף) ושינוי ממשק ההשקיה (פריסת שלוחות והקטנת תדירות ההשקיה) ריכוזי הנתרן, הכלוריד וה- SAR בחתך הקרקע מתחת לשלוחות הטפטוף היו נמוכים מאשר בהשקיה בקולחים בממשק משקי אך גבוהים מאשר בהשקיה בשפירים. בשכבת הקרקע העליונה ריכוז המלחים בתעלת הטוף נמוך באופן ניכר מאשר משני צידי התעלה – לכוון שורת העצים ולכוון בין שורות העצים. מרכיבי המליחות העיקריים שהושפעו מתעלת הטוף ומהמרחק מהתעלה היו הנתרן והכלוריד וגם מרכיבים אחרים (סידן, מגנזיום) היו נמוכים בתעלה מאשר מחוץ לה. לעומת זאת בשכבת הקרקע העליונה בשורת העצים התגלתה השפעה הפוכה של תעלות הטוף, כאשר ריכוזי הנתרן, הכלוריד וה- SAR היו גבוהים מאשר בטיפול הקולחים המשקי. תוצאה זו דורשת המשך מעקב ומיקוד המחקר להבנת המנגנון לתופעה והשלכותיה. קבול הקטיונים החליפיים, תכולת הפחמן והחנקן האורגניים וריכוז הזרחן הזמין בתעלת הטוף היו נמוכים מאשר בקרקע משני צידי התעלה. בהתאמה לקבול הכללי של הקטיונים החליפיים הושפעו ריכוזי הנתרן, אשלגן, סידן ומגנזיום החליפיים מטיפול הטוף – ריכוזיהם בתעלת הטוף היו נמוכים מאשר בקרקע הביקורת. ריכוזי הפחמן והחנקן האורגני המומס בחתך הקרקע נמוכים יותר בחתך הקרקע מתחת לתעלת הטוף. ריכוזי הפחמן והחנקן האורגני המומס בתעלת הטוף נמוכים מאשר בקרקע מצידי התעלה. תעלות הטוף אפשרו שטיפת מלחים מוגברת מתעלת הטוף וגם בחתך הקרקע מתחת לשלוחות הטפטוף עד עומק 90 ס"מ – היונים העיקריים שהושפעו היו נתרן, כלוריד וגם ערך ה- SAR.

קשה בשלב זה להסיק ישירות מתוצאות הרטיבות (וכן ממדידות המוליכות החשמלית והטמפרטורה) מסקנות אופרטיביות. בשלב זה, לאחר שנפתרו בעיות טכניות בשדה, התוצאות אמורות לשמש חוקרים נוספים בניתוח תוצאות קשורות למצב הרטיבות בקרקע.

למעט טיפול הטוף ניכרת בכל הטיפולים ירידה חדה בריכוזי החמצן לאחר ביצוע ההשקיה. החזרה לריכוזי חמצן גבוהים הינה איטית ומשך הזמן שבו יש דלדול בחמצן הינו שעות רבות. מבין הטיפולים, הירידה הבולטת ביותר והערכים הנמוכים ביותר נמצאו בטיפול ההשקיה בקולחים בממשק המשקי המקובל, לעומת ההשקיה במים שפירים. גם בטיפול המייצג מיהול 1:1 של מים שפירים עם קולחים התקבלו ירידות מתונות יותר ובשני הטיפולים האחרים (TUF ו- LFI) שבהם מי ההשקיה היו קולחים, ניכר שיפור משמעותי ברמות החמצן ביחס לטיפול הקולחים המשקי. ריכוזי החמצן הגבוהים ביותר וירידות הריכוז המתונות ביותר התקבלו בטיפול תעלות האוורור (TUF). **תוצאות אלו מדגישות את יעילות שני הטיפולים ואת האפשרות לשינוי רמות החמצן בבית השורשים גם ללא שינוי באיכות המים.**

בערכי רדוקס ניכרים הבדלים בין הטיפולים, אולם הם נעים בתחום צר יחסית. תנאים סב-אוקסיים ($9 < pe + pH < 14$) שררו בטיפול המשקי של השקיה בקולחים, ולעומת זאת במרבית הטיפולים האחרים שררו לאורך כל תקופת המדידה תנאים אוקסיים. עוד עולה מהנתונים המוצגים, שבניגוד לריכוזי החמצן רמת הרדוקס לא הייתה רגישה למחזורי ההשקיה.

בדיקות תמיסת הקרקע שנדגמה בסמיכות לנקודות המדידה על ידי משאבים מראות שריכוזי הנתרן, הכלוריד, הבורון, וערכי ה- EC, SAR הנמוכים ביותר נמדדו בטיפול שהושקה במים שפירים בהתאמה למדידות בדגימות הקרקע. בריכוז הברזל המחזור (Fe^{II}) נמצא במועד הדיגום הראשון ירידה מובהקת בטיפול השפירים ומגמת ירידה בחלק מהטיפולים האחרים, אולם מגמה זו לא התקיימה במועד הדיגום השני. גם

לגבי ריכוזי המנגן הרגיש לתהליכי חיזור אף יותר מהברזל, לא ניכרה השפעה עקבית. **השפעה בולטת ועקבית נמצאה לגבי ריכוז הניטריט שהיה גבוה בתמיסת הקרקע בטיפול שקיבל השקיה בקולחים בממשק המשקי בהשוואה לטיפול שהושקה במים שפירים.** אולם בטיפולים האחרים שבהם ההשקיה הייתה בקולחים, או בקולחים מהולים במים שפירים, נמצא כי היווצרות הניטריט נמנעה. תגובה זו מוסברת ע"י ריכוזי החמצן המופרשים שנמצאו בכל הטיפולים לעומת טיפול הקולחים, והיא עשויה להצביע על גורם ישיר שעלול לפגוע בהתפתחות השורשים בחלקות המושקות בקולחים בממשק ההשקיה הרגיל.

תוצאות ההדמיות (של עונת השקיה אחת) הראו שיחסית למצב הייחוס (קרקע מקומית המושקת במים מושבים), שיפור איכות מי ההשקיה (באמצעות מעבר לשפירים או מיהול) משפר את קליטת המים באופן פרופורציוני לדרגת המיהול. השיפור בקליטת המים ע"י השורשים נובע מהקטנת המליחות בקרקע, וכתוצאה מכך, הקטנת הרכיב האוסמוטי של פוטנציאל מי הקרקע, והגדלת תכולת האוויר בקרקע. בנוסף, תוצאות ההדמיות הראו שביחס לקליטת מים ע"י שורשי העצים, תעלות אוורור עם תווך נקבובי גס-גרר יחסית (חול) יעילות יותר מאלה עם תווך נקבובי שמרקמו גס מאוד (טוף). זה נובע מכך שהתכונות ההידרוליות של החול מאפשרות שיפור תכולת האוויר בבית השורשים תוך שמירה על מוליכות הידרולית לא-רדודה מספיק גבוהה על מנת לקיים את שטפי המים הנדרשים בבית השורשים. צרוף זה אינו מתקיים בתעלות האוורור המכילות טוף. בשני המקרים, בעיקר במקרה של תעלות הממולאות בחול, שילוב תעלות האוורור עם השקיה בפולסים עשוי לשפר את קליטת המים ע"י העצים.

כמעט תמיד צריכת המים הגבוהה ביותר היתה בהשקיה עם מים שפירים בהתאמה לתוצאות בניסוי בהשקיית פרדס בקולחים ושפירים (Paudel et al. 2016a, b and 2018). במאי ויוני הצריכה הכי נמוכה היתה בטיפול טוף, כפי שנצפה בסוף עונת 2016. אך צריכה זאת התגברה עם הזמן עד שנהיתה שווה לזה של טיפול השפירים בחודשים אוגוסט וספטמבר. הטיפולים של קולחים וקולחים בתדירות נמוכה (TWW & LFI) צרכו פחות מים בתחילת העונה עד יולי, אך יותר מהטוף. החל מחודש אוגוסט חלה עליה בצריכה היחסית של LFI כך שבהמשך TWW נשארה הכי נמוכה והחל מספטמבר LFI צרך כמויות מים דומות לטיפולי טוף ושפירים. טיפול המיהול MIX צרך כמויות מים בינוניות במשך כל העונה.

השוואה בין הטיפולים מראה שערכים נמוכים של מוליכות עלים לאדי מים התקבלו עבור טיפול TWW, כאשר נצפה עליה הדרגתית במיקום היחסי של מולכות טיפול טוף, שנהיה דומה לשפירים וגבוה באופן מובהק מהאחרים בחודש אוגוסט. ממצא זה תואם את הממצאים של זרימה בגזע.

הן בבדיקת כלל השורשים בפרופיל והן בבדיקת מספר השורשים בעומקי הקרקע השונים לא נמצא הבדל מובהק בין הטיפולים, אם כי להשקיה בתדירות נמוכה (LFI) וטיפול המשקי בקולחים (TWW) היה מספר שורשים גבוה יותר. מגמה דומה למספר השורשים התקבלה גם לגבי אורך השורשים הכללי. רק במדידה האחרונה ניכר שיפור באורך השורשים גם בטיפול הטוף. תוצאות דומות התקבלו גם לגבי נפח השורשים, ושטח הפנים של השורשים.

במדידת צמיחת שורשים בשיטת גלילי רשת נמצא שבחודשי הקיץ הייתה צמיחה רבה יותר מאשר בחורף ובאביב. גם אורך השורשים הסגולי בעונה זאת היה גבוה יותר מאשר בעונות האחרות. למרות שלא נמצאו הבדלים מובהקים בקוטר השורשים הממוצע נמצא שבפיזור שטח הפנים של השורשים בהתאם לקוטר היו הבדלים בין הטיפולים. בטיפולי TWW, MIX נמצא הפיזור המעיד על כך שחלק עיקרי של השורשים היה בקטרים הנמוכים, דבר המעיד על הסתעפות שורשים רבה ונוכחות שורשים דקיקים בכמות גדולה יחסית. לעומת זאת בטיפולים האחרים, בעיקר בתעלות TUF, היה חלק גדול של השורשים בקטרים עבים יותר.

התוצאות של הצמיחה לגלילים בתעלות הטוף מעיד על כך שנדרשת יותר משנה עד שהשורשים מצליחים לצמוח אל תוך הטוף ולנצל את נפח ההזנה חדש זה. מהתוצאות ניתן בשלב זה להוציא שתי מסקנות חשובות: א. הפגיעה במערכת השורשים של העצים, כתוצאה מחפירת התעלות, הייתה קטנה ולא ניכרה השפעה שלילית על ביצועי העצים. ב. אין לצפות לכך שהתוצאות יצביעו על תועלת מהטיפול הזה, בהשוואה לטיפול ההשקיה בקולחים, לפני חלוף שנתיים לפחות מהתקנת התעלות.

בדיקות של עלים, שורשים ועצה בוצעו במהלך העונה האחרונה מראה שבחלק מהיסודות קיימת שונות גדולה יחסית בין שש החזרות לכל טיפול. ריכוזי הגופרית, הברזל המנגן והנתרן נמוכים יותר באופן מובהק בתעלות הטוף TUF מאשר בטיפול הקולחים TWW. ביסודות האחרים לא נמצאה השפעה ברורה של הטיפול על ריכוז היסודות. בריכוזי המינרלים בשורש ובעצה לא נמדדו הבדלים מובהקים בין הטיפולים.

תוצאות השנתיים האחרונות מעידות כי בהשוואה לעצים המושקים במים שפירים קליטת המינרלים במערכת השורשים של העצים בטיפול הקולחים מבקרות היטב את ריכוזי המינרלים הנקלטים.

עונת 2017-2018 מתאפיינת ביבולים בינוניים- נמוכים באזור מטע יסעור. האביב הקריר ופעילות דבורים נמוכה גרמו לתנאי חנטה לא טובים. ביבול אטינגר נראה יתרון מסוים לטיפול הקולחים בתדירות השקיה נמוכה, ולטיפולים השונים על פני הטיפול משקי בקולחים. ביבול ההאס בעונה האחרונה בסה"כ יבולים נמוכים, אין מובהקות בהבדל שבין הטיפולים. רמת היבול הדו שנתית היא טובה למדי. רמת הסירוגיות בכל הטיפולים גבוהה מאד טיפולי הטוף והקולחים נראים נחותים לעומת שאר הטיפולים, כאשר בטיפולי השפירים, המיהול והריווח של אינטרוול ההשקיה התקבלו יבולים גבוהים יותר.

תוצאות של שנתיים של ניסוי, כאשר בשנה הראשונה הופעלו הטיפולים ולקראת סוף השנה הושלם הרכבת כל ציוד המדידה, מראות מגמה של תחילת הבדלים בין הטיפולים. בחלק מהפרמטרים הטיפול במים שפירים התחיל להראות תגובה חיובית של הקרקע והעצים לעומת הטיפול בקולחים. הטיפולים המשפירים שהינם המטרה העיקרית של המחקר, לפתח טיפולים למניעת או מזעור הנזק של הקולחים, גם מראים מגמה מסוימת של שיפור הפרמטרים שנפגעים בהשקיה בקולחים. אולם, יש לזכור שאלה שמדובר על פרק זמן קצר, במיוחד כאשר מדובר במטע ואנו מעריכים שההשפעה החיובית של טיפולים אלו תתגבר עם הזמן.

בטבלה 11 נעשה ניסיון לסכם את הממצאים העיקריים שהתקבלו עד כה, על פי הטיפולים והפרמטרים שנמדדו. נראה שעל אף התקופה הקצרה של הרצת הניסוי מתגלות השפעות של הטיפולים, חלקן משמעותיות וחלקן פחות. עיקר ההשפעות בשלב זה הן על המדדים בקרקע, כאשר ההשפעות על המדדים הצמחיים מתוננות יותר, ובחלקן לא ניכרות עדיין. מצב זה סביר כאשר מדברים על השפעות הנובעות מאיכות המים, שיפגעו ראשית בתכונות הקרקע ובהמשך או במקביל יתחילו תגובות של הגידול. בניסוי הנוכחי בקרקע בטיפול המושקה במים שפירים התרחשו השינויים החדים ביותר בקרקע וגם קליטת המים הייתה גבוהה יותר בהשוואה להמשך ההשקיה בקולחים בממשק המשקי. אם מצב זה מייצג את המתרחש במטעים בקרקע כבדה המושקית בקולחים ושני הגורמים העיקריים בהיפותיזה של המחקר מתרחשים: הרעת אוורור הקרקע והשפעת ריכוז המלחים הגבוה, יש דרך מהירה להתגבר על כך והיא לחזור להשקיה במים שפירים או למיהול של הקולחים על מנת להביא אותם לרמת איכות שבה לא תהיה פגיעה בתכונות הקרקע ובתגובת הגידול. אולם, מכיוון שהתגובה של הגידול אינה רק תוצאה של איכות מי ההשקיה אלא תגובה לריכוזי המלחים והחמצן והתנאים בקרקע, גם אמצעים ממשקיים: מרווח השקיה, פיזור שונה של המים בקרקע, שינוי בתכונות הקרקע (תעלות אוורור) או אחרים יכולים גם הם לעזור. שילוב של התוצאות שהתקבלו עד כה וממצאי המודל (שמאפשר לבחון חלופות טיפול שאין אפשרות לבחון פיזית כרגע במטע) מאפשרים כיוון ראשוני של פתרון המשך ההשקיה בקולחים תוך מניעה או מזעור הנזקים. בחלק מהמדידות התקבלו השפעות

מנוגדות של הטיפול בתעלות הטוף, מחד גיסא הייתה לו השפעה חיובית על מדדי מליחות, ניטריטים ואורור בקרקע ועל קליטת מים בעצים, ומאידך גיסא השפעה שלילית על צמיחת השורשים בגלילים ועל היבול וגם לפי תוצאות המודל קליטת המים והיבול מושפעים באופן שלילי מטיפול זה. המשך המדידות בשנה הקרובה ובחינה של מדידות נוספות דרושים להבנת התהליכים והמנגנונים שמושפעים מטיפול זה ולחיזוי השפעתו על הקרקע ועל העצים.

שידרוג איכות הקולחים המשמשים להשקיית מטעים מיוצגת בניסוי הנוכחי ע"י טיפול המיהול. התוצאות מצביעות שניתן להביא באמצעות גישה זו לשיפור המצב בבית השורשים ולשיפור בהתפתחות העצים. עליה באיכות הקולחים מבחינת העומס האורגני, המליחות וריכוז יסודות ההזנה צפויה עקב שיפור איכות המים השפירים (הכנסת מים מותפלים להספקה לשימוש ביתי) ומניעת כניסת מלחים לשפכים (בחלק מהאזורים כבר ניכרת מגמת שיפור מתונה).

הערכה כלכלית עדיין איננה אפשרית, אולם בטבלה המסכמת (טבלה 11) נכללו גורמי עלות ופרמטרים כלכליים ומגמת ההשפעה של טיפולי הניסוי על הפרמטרים השונים. בהמשך יהיה צורך בניתוח כלכלי מעמיק שלא קיים במסגרת המחקר הנוכחי.

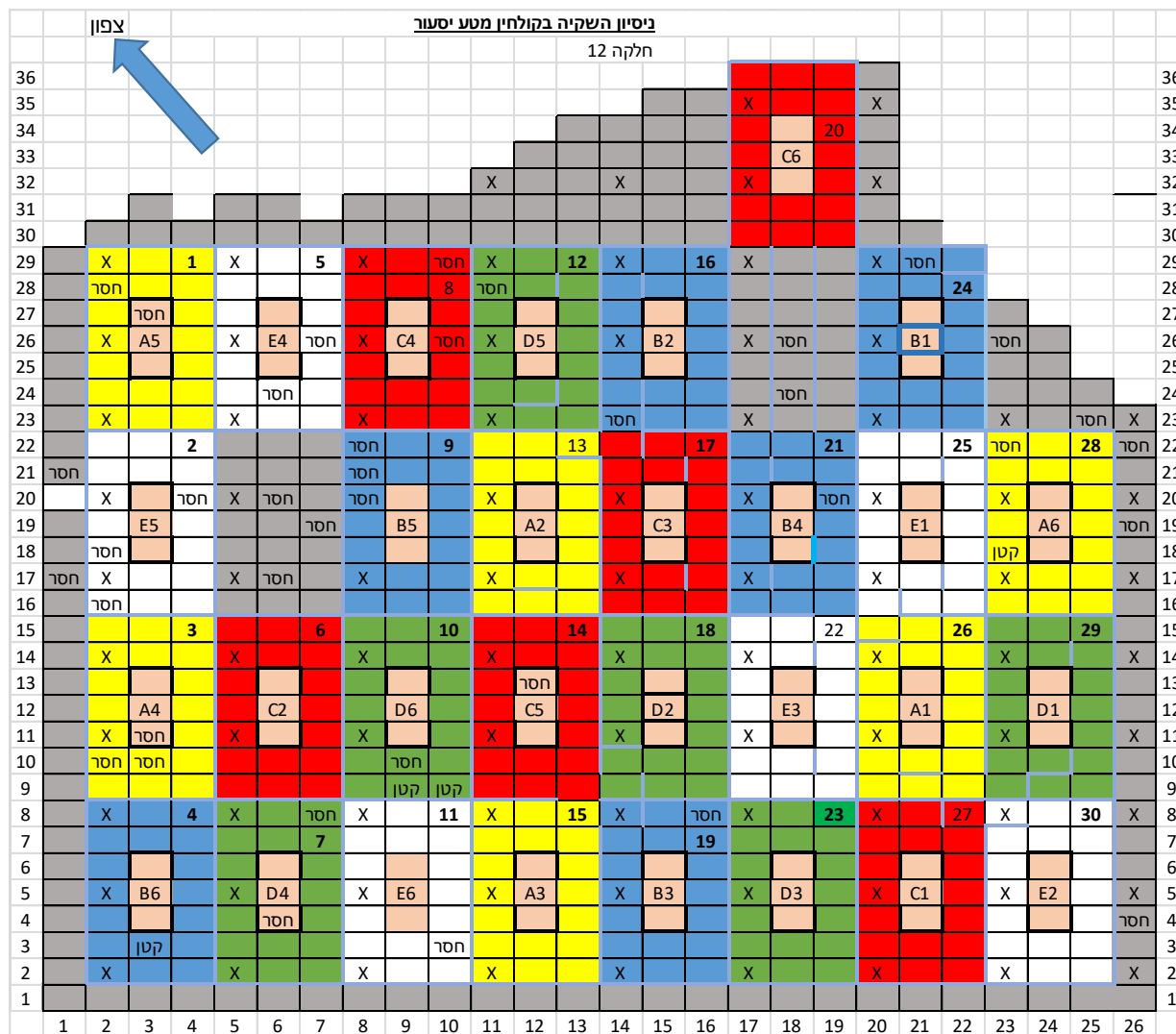
טבלה 11: השוואה בין הטיפולים על פי הפרמטרים שנמדדו בניסוי

TUF	MIX	LFI	TWW	FW	טיפול
					פרמטר
שטיפת מלחים עד עומק 90 ס"מ יעילה יותר. התפלגות שונה במרחב שמחייבת המשך מעקב.	מצב ביניים בין שפירים וקולחים	מצב ביניים בין שפירים וקולחים	ריכוז גורמי מליחות גבוה יותר בעקבות הריכוז הגבוה יותר במים	ריכוז גורמי מליחות נמוך יותר בעקבות הריכוז הנמוך יותר במים	הרכב תמיסת הקרקע עפ"י מיצוי הקרקע
מצב ביניים בין קולחים בשפירים. ריכוזי חמצן הגבוהים ביותר וההתאוששות המהירה ביותר.	מצב ביניים בין קולחים בשפירים	רמת ביניים בין קולחים ושפירים כמצופה משיפור איכות המים כתוצאה מהמיהול	ירידות חדות יותר של ריכוז החמצן לאחר ההשקיה (ערך המינימום הנמוך ביותר) והתאוששות איטית יותר	ירידות מתונות יותר של ריכוז החמצן (ערך המינימום הגבוה ביותר) לאחר ההשקיה והתאוששות מהירה יותר	ריכוז חמצן בקרקע
תנאים מיוחדים בגלל תכונות הטוף	תנאים אוקסיים	תנאים אוקסיים	תנאים סב-אוקסיים	תנאים אוקסיים	תנאי redox
נמנעה הצטברות ניטרים בגלל תנאי אוורור משופרים. אין הבדלים מובהקים בריכוז הברזל והמנגן	נמנעה הצטברות ניטרים בגלל תנאי אוורור משופרים. אין הבדלים מובהקים בריכוז הברזל והמנגן	נמנעה הצטברות ניטרים בגלל תנאי אוורור משופרים. אין הבדלים מובהקים בריכוז הברזל והמנגן	נוכחות ניטריטים. אין הבדלים מובהקים בריכוז הברזל והמנגן	אין נוכחות ניטריטים. אין הבדלים מובהקים בריכוז הברזל והמנגן	הרכב תמיסת קרקע לא מופרת (משאבים)
דרגת רווית אוויר גבוהה, אבל זמינות מים נמוכה. השקיה בפולסים או שימוש בחול גס והשקיה בפולסים מהווה יתרון.	מקטין את דרגת רווית הקרקע במים ובכך מגדיל את רמת האוורור באופן פרופורציונלי לדרגת המיהול. יש אפשרות תיאורטית לעשות מיהול על ידי שימוש בקולחים ובמים באיכות טובה (שפירים או מותפלים) באופן חליפי. שיפור בקליטת מים פרופורציוני לרמת המיהול.	תגובה דומה לטיפול הקולחים הרגיל. אין לו יתרון.	דרגת רווית מים הגבוהה ביותר ודרגת רווית אוויר הנמוכה ביותר. קליטת מים נמוכה בכמעט 30% מהטיפול במים שפירים.	דרגת רווית מים הנמוכה ביותר ודרגת רווית אוויר הגבוה ביותר	מודל

פרמטר \ טיפול	FW	TWW	LFI	MIX	TUF
צריכת מים (לפי זרימת המים בגזע)	צריכת המים במהלך עונתי הייתה באופן כללי: $LFI < TWW < TUF < MIX < FW$				
פוטוסינתזה ומוליכות אדי מים	באופן כללי מוליכות אדי מים הגבוהה יותר לאורך העונה היתה של הטיפול במים שפירים והנמוכה ביותר בטיפול הקולחים המשקי. ביתר הטיפולים היו שינויים במהלך העונה. לא היו הבדלים בין הטיפולים בפוטוסינתזה במהלך העונה.				
התפתחות שורשים – צינורות שקופים	אין הבדלים מובהקים. ב-TWW ו-LFI יותר שורשים וארוכים יותר. גם הנפח ושטח הפנים. צמיחה יחסית מהירה יותר בתעלות הטוף לקראת סוף עונת ההשקיה השניה				
התפתחות שורשים - גלילים	הסתעפות שורשים רבה ונוכחות רבה יותר של שורשים דקיקים.	נוכחות שורשים עבים יותר מעידה על פחות הסתעפויות.	נוכחות שורשים עבים יותר מעידה על פחות הסתעפויות.	הסתעפות שורשים רבה ונוכחות רבה יותר של שורשים דקיקים.	נוכחות שורשים עבים יותר. כנראה שנדרשת יותר מעונה אחת לצמיחת מערכת השורשים אל תוך התעלות
תכולת יסודות	עד כה אין מגמות ברורות ומשמעותיות בין הטיפולים.				
יבול (יבול דו שנתי)	יבולים גבוהים יותר	יבולים הנמוכים ביותר	שיפור היבול – כמו שפירים	שיפור היבול – כמו שפירים	יבולים נמוכים, אולי בגלל השפעת חפירת התעלות, בעיקר בעונה הראשונה שבה היה יבול גבוה
הערכה כלכלית ראשונית – גורמי העלות ומגמות השינוי	עלות מים גבוהה. בעיה של מכסות מים, קיצוצים בשנות בצורת וחוסר וודאות.	מחיר מים נמוך יותר ורמת בטחון גבוהה לגבי כמות המים להשקיה, אבל תוספת עלות מסוימת בתחזוקת הצידוד.	מחיר מים נמוך יותר ורמת בטחון גבוהה לגבי כמות המים להשקיה, אבל תוספת עלות מסוימת בתחזוקת הצידוד. עלות צידוד עם יש תוספת שלוחות טפטוף.	עלות מים גבוהה (בהתאם ליחס המיהול). בעיה של מכסות מים וקיצוצים בשנות בצורת. עלות הקמה מערכת מיהול בהתאם לכללים של משרד הבריאות ועלויות הפעלה ותחזוקה (שאיבה, בקרה) ושל צנרת וצידוד ההשקיה (עדיין יש קולחים במערכת)	עלות חד-פעמית גבוהה בהכנת תעלות האוורור ורכישת בחומר המילוי. עלות מים נמוכה יותר (קולחים). עלות בתחזוקת הצידוד, במיוחד אם יש מעבר להשקיה בפולסים.

- Bardhan, G., D. Russo, D. Goldstein and G.J. Levy, 2015. Changes in the hydraulic properties of a clay soil under long-term irrigation with treated wastewater, *Geoderma*, 264, 1-9.
- Cantuarias, T. (1995). Transpiration rate and water status of a mature avocado orchard as related to wetted soil volume. MSc. Thesis. Hebrew Univ. of Jerusalem.
- Cohen, Y., Cohen, S., Cantuarias Aviles, T. and G. Schiller. (2008). Variations in the radial gradient of sap velocity in trunks of forest and fruit trees. *Plant and Soil* 305:49-59.
- Eshel, G., G.J. Levy, U. Mingelgrin, and M.J. Singer. 2004. Critical evaluation of the use of laser light scattering for particle size distribution analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68, 736-743.
- Levy, G.J., A. Dag, M. Raviv, I. Zipori, S. Medina, I. Saadi, A. Krasnovski, H. Eizenberg, Y. Laor. 2017. Annual spreading of olive mill wastewater over consecutive years: Effects on cultivated soil physical properties. *Land Degrad. Develop.* (submitted).
- Levy, G.J., P. Fine, D. Goldstein, A. Azenkot, A. Zilberman, A. Chazan, and T. Grinhut. 2014. Long term irrigation with treated wastewater (TWW) and soil sodification. *Biosys. Engin.* 128, 4-10.
- Naasz, R., J.-C. Michel, and S. Charpentier. 2008. Modeling oxygen and water flows in peat substrate with root uptakes. *Acta Horticulturae*, 779, 191-197.
- Paudel, I., Kanety, T., Cohen, S. (2013). Inactive xylem can explain differences in calibration factors for thermal dissipation probe sap flow measurements. *Tree Physiology*, 33:986-1001.
- Paudel, I., Shaviv, A., Bernstein, N., Heuer, B., Shapira, O., Bar-Tal, A., Rotbart, N., Ephrath, J., Cohen, S. (2016a). Lower leaf gas-exchange and higher photorespiration of treated wastewater irrigated Citrus trees is modulated by soil type and climate. *Physiol. Plant* 156(4):478-496
- Paudel, I., Shaviv, A., Bernstein, N., Heuer, B., Bar-Tal, A., Ephrath, J., Cohen, S. (2016b). Impact of treated wastewater on growth, respiration, and hydraulic conductivity of citrus root systems in light and heavy soils. *Tree Phys.* 36(6):770-785.
- Paudel, I., Bar-Tal, A., Levy, J.G., Rotbart, N., Ephrath, J., Cohen, S. (2018). Treated wastewater (TWW) irrigation: soil variables and Grapefruit tree performance. *Agric. Water Manag.* accepted
- Russo, D. 2013. Consequences of salinity-induced-time-dependent soil hydraulic properties on flow and transport in salt-affected soils. *Proc. Environ. Sci.* 19, 623-632.
- Russo, D. and E. Bresler. 1977. Analysis of the saturated-unsaturated hydraulic conductivity in a mixed Na/Ca soil system. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41, 706-710.
- Russo, D., J. Zaidel, and A. Laufer. 2001. Numerical analysis of flow and transport in a combined heterogeneous vadose zone-groundwater system. *Adv. Water Resour.* 24, 49-62.
- Russo, D., J. Zaidel, and A. Laufer. 2004. Numerical analysis of transport of interacting solutes in a three-dimensional unsaturated heterogeneous soil. *Vadose Zone J.* 3, 1286-1299.
- Russo, D., J. Zaidel and A. Laufer. 2008. Numerical analysis of solute transport from trickle sources in a combined desert soil-imported soil flow system. *Vadose Zone J.* 7, 53-66.
- Russo, D., A. Laufer, G. Bardhan, and G. J. Levy. 2015. Salinity control in a clay soil beneath an orchard irrigated with treated waste water in the presence of a high water table: a numerical study. *J. Hydrol.* 512, 605-618.
- Salagado, E., and R. Cautin. 2008. Avocado root distribution in fine and coarse-textured soils under drip and micro-sprinkler irrigation, *Agric. Water Manag.* 95, 817-824.
- Yalin, D., A. Schwartz, S. Assouline, K. Narkis, A. Eshel, A.G. Levin, A. Lowengart-Aycicegi, J. Tarchitzky, and M. Shenker. 2017. Insights from "The Hidden Half": The impact of root-zone oxygen and redox dynamics, on the response of avocado to long-term irrigation with treated wastewater in clayey soil. *Isr. J. Plant Sci.* 64, 92-109.

נספח 1: תוכנית חלקת הניסוי



סיכום הפעילות של המיזם בשנה ב' בהתאם למטרות מוצג בטבלה המסכמת המצורפת.

טבלה מסכמת של ביצוע המיזם בשנה ב'

ממד להתקדמות או השלמת הפעילות – התוצאות מוצגות בגוף הדו"ח	אבן דרך
נערכו כל המדידות, דיגומים ובדיקות מעבדה בהתאם לתוכנית המחקר	מעקבים ומדידות לפי התוכנית
נעשה ניתוח של התוצאות שנאספו בשנה הראשונה והשנייה.	ניתוח תוצאות
הדו"ח הנוכחי מוגש בהתאם למועד הקבוע על פי הנחיות המדען הראשי.	דו"ח ביניים

סיכום עם שאלות מנחות

מטרות המחקר תוך התייחסות לתוכנית העבודה.
מטרת המחקר הכללית הינה מציאת מענה לתופעת הפגיעה במטעים המושקים בקולחים בקרקעות כבדות. עיקר המאמץ המחקרי הינו בבחינת פתרונות לבעיית האוורור ולאינטראקציות שבין בעיית האוורור לבעיות המליחות (פוטנציאל אוסמוטי) והרעילות הספציפית של נתרן וכלור. נבחנות השיטות האגרנטיות הבאות למניעה ו/או מזעור של נזקים לקרקע ולעצים מהשקיה בקולחים בקרקעות כבדות.
עיקרי התוצאות
נמצא שהשקיה בקולחים מגדילה באופן משמעותי את ריכוזי הנתרן, הכלוריד וה- SAR בחתך הקרקע לעומת שפירים. בכל הטיפולים המשפרים שנבחנו, הריכוזים בחתך הקרקע היו נמוכים מאשר בהשקיה בקולחים. לט טיפול הטוף ניכרת בכל הטיפולים ירידה חדה בריכוזי החמצן לאחר ביצוע ההשקיה. החזרה לריכוזי חמצן גבוה הינה איטית (שעות רבות). מבין הטיפולים, הירידה הבולטת ביותר והערכים הנמוכים ביותר נמצאו בטיפול ההשקיה בקולחים בממשק המשקי המקובל שבו שררו תנאים סב-אוקסיים. לעומת זאת, במרבית הטיפולים האחרים לאורך כל תקופת המדידה תנאים אוקסיים. השפעה בולטת ועקבית נמצאה לגבי ריכוז הניטריט שנמצא בתמי הקרקע בהשקיה בקולחים בממשק המשקי, אך לא בטיפולים האחרים. צריכת המים הגבוהה ביותר היתה בהשקיה עם מים שפירים. השוואה בין הטיפולים מראה שערכים נמוכים מוליכות עלים לאדי מים התקבלו עבור טיפול הקולחים המשקי. הן בבדיקת כלל השורשים בפרופיל והן בבדיקת מספר השורשים בעומקי הקרקע השונים לא נמצא הבדל מובהק הטיפולים. במדידת צמיחת שורשים בשיטת גלילי רשת נמצאו הבדלים לא מובהקים בקוטר השורשים הממ ושפיזור שטח הפנים של השורשים בהתאם לקוטר היו הבדלים בין הטיפולים. בטיפול MIX, TWW נמצא הפ המעיד על כך שחלק עיקרי של השורשים היה בקטרים הנמוכים, דבר המעיד על הסתעפות רבה ונוכחות שור דיקים בכמות גדולה יחסית. בבדיקות של עלים, שורשים ועצה רק ריכוזי הגופרית, הברזל המנגן והנתרן נמוכים יותר באופן מובהק בתעלות ה TUF מאשר בטיפול הקולחים TWW. רמת היבול הדו-שנתי של האס היתה טובה ורמת הסירוגיות בכל הטיפולים גבוהה מאד. בטיפול השפירים, המיחול והריווח של אינטרוול ההשקיה התקבלו יבולים גבוהים יותר.
מסקנות מדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו. האם הושגו מטרות המחקר לתקופת הדו"ח?
מסקנות יוסקו בסוף השנה שלישית של המחקר לאחר שיהיה סט מלא של מדידות. בכל מקרה בשלב זה מתחילים להבחין בהשפעת הקולחים על הקרקע ובהשפעה החיובית של הטיפולים המשפרים.
בעיות שונות לפתרון ו/או שינויים (טכנולוגיים, שיווקיים ואחרים) שחלו במהלך העבודה; התייחסות המשך המחקר לגביהן, האם יושגו מטרות המחקר בתקופה שנוותר לביצוע תוכנית המחקר?
לא נתגלו בעיות בשנה השנייה של המחקר, פרט לבעיית בעלי חיים שקלקלו את החוטים של חיישני הרטיבות.
הפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח: פרסומים בכתב - ציטט ביבליוגרפי כמקובל בפרסום מאמר
לא היו פרסומים.
פרסום הדו"ח: אני ממליץ לפרסם את הדו"ח: (סמן אחת מהאופציות)
ללא הגבלה (בספריות ובאינטרנט)
האם בכוונתך להגיש תוכנית המשך בתום תקופת המחקר הנוכחי? כן