

דו"ח ניסוי לביא בהשקיה בקולחים
בחינת טיפולים למניעה ותיקון הנזק מהשקיה בקולחים במטעים בקרקעות כבדות
מוגש למועצת הצמחים ע"י

חורחה טרצ'יזקי - 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. אגרומטאורולוגיה.
אלכס פורמן - הפקולטה להנדסה אזרחית וסביבתית, טכניון, alexfurmantechion@gmail.com,
פיזיקה של הקרקע
אמנון שוורץ - המכון למדעי הצמח, הפקולטה לחקלאות, האוניברסיטה העברית בירושלים,
amnon.schwartz@mail.huji.ac.il, פיזיולוגיה של הצמח
ראובן בירגר
שמעון זית, מוטי פרס ואמיר קינן- מו"פ צפון, peres@migal.org.il, קרקע ומים
אמיר מעגן ואמנון, קבוץ לביא

הוקם ניסוי לבחינת טיפולים שונים להתמודדות עם השפעת הקולחים במטעים בקרקעות כבדות. הניסוי בוחן בעז
שקדים 7 טיפולים בחמש חזרות: מים שפירים (ביקורת), מי קולחים משקי, מי קולחים עם אינטרוול ארוך יותר, מי
קולחים עם אינטרוול ארוך יותר ושלוש שלוחות טפטוף, תעלות קומפוסט, תעלות טוף ומיהול קולחים שפירים ביחס
50:50.

בעונת 2019 לא נמצאו הבדלים מובהקים בין הטיפולים ביבול הטרי. אולם בטיפול תעלות הקומפוסט התקבל היבול הגבוה ביותר ובמיהול ובמים השפירים הגידולים הנמוכים ביותר.

ינואר 2020

Flörlitzky

חתימת החוקר:

תוכן עניינים

1	תקציר
1	מבוא ותיאור הבעיה
5	מטרות המחקר
6	חומרים ושיטות
11	תוצאות
25	סיכום
27	רשימת ספרות
29	נספחים

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.

משנת 2015 מתקיים מיזם המשך כאשר ניסוי השדה מתבצע במטע האבוקדו בקיבוץ יסעור. עד כה נמצא שלמרות שכידוע ממחקרים קודמים, ההשקיה בקולחים הגדילה באופן משמעותי את ריכוזי הנתרן, הכלוריד וה-SAR בחתך הקרקע לעומת מים שפירים, טיפולי ממשק שונים שנכללו בניסויים הקיימים, הביאו להקלה בשורת מדדים שמאפיינים את המצב בבית השורשים ובעץ, גם ללא שינוי באיכות המים. מדדים בהם ניכרה השפעת הטיפולים כללו את ריכוז החמצן ומצב הרדוקס בבית השורשים, וכן מדדי ריכוז בתמיסת הקרקע בבית השורשים. בצמח התבלטה תגובה בצריכת המים של העצים ובמוליכות

העלים לאדי מים. במרבית המדדים האלה נמצא שהמצב הירוד ביותר הינו בטיפול הקולחים המשקי. מעבר להשקיה במים שפירים הביא לשיפור במדדים השונים, אולם נמצא כי גם טיפולי הממשק הביאו לשיפור במדדים השונים, למרות שההשקיה נותרה בקולחים. קיים שיפור ניכר בממשק האווור, בעיקר בטיפול תעלות האווור; דומיננטיות של תנאי רדוקס בתחום הערכים האוקסיים בכל הטיפולים למעט טיפול הקולחים המשקי שבו שררו תנאים סב-אוקסיים; השפעה בולטת ועקבית נמצאה לגבי ריכוז הניטריט שנמצא בתמיסת הקרקע בהשקיה בקולחים בממשק המשקי, אך לא בטיפולים האחרים; הן בבדיקת כלל השורשים בפרופיל והן בבדיקת מאסת השורשים, וכן במספר השורשים בעומקי הקרקע השונים, לא נמצא הבדל מובהק בין הטיפולים; בטיפולי MIX, TWW נמצא הפיזור המעיד על כך שחלק עיקרי של השורשים היה בקטרים הנמוכים, דבר המעיד על הסתעפות רבה ונוכחות שורשים דקיקים בכמות גדולה יחסית; בבדיקות של עלים, שורשים ועצה רק ריכוזי הגופרית, הברזל, המגנזיום והנתרן היו נמוכים יותר באופן מובהק בתעלות הטוף מאשר בטיפול הקולחים TWW; במדדי רמת היבול השנתי והדו-שנתי, ההבדלים בין הטיפולים לא היו מובהקים.

1. **היפותזת המחקר:** (1) ניתן לשפר את מצב האווור בקרקעות כבדות שנפגעו מהשקיה רבת שנים בקולחים ע"י טיפולים אגרוטכניים; (2) השיפור באווור 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 האווור 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 האווור בנפח מצומצם, בתוך תעלות אוורור, יאפשר התפתחות ופעילות שורשים תקינה שתפצה על חוסר האווור העיתי בנפח הקרקע הכללי. בנוסף, אנחנו מציעים לבדוק את הייתכנות של הורדת ה-SAR של המים כדרך לשיפור הדרגתי של מבנה הקרקע ושיפור מצב האווור בבית השורשים.

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

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

נבחנות השיטות האגרוטכניות הבאות למניעה ואזו 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 הקטנת ריכוז הנתרן (ע"י מיהול במים שפירים ברמה הנדרשת).

3. חומרים ושיטות

א. מבנה הניסוי

הניסוי מתבצע בקבוץ לביא. השטח ניטע בשנת 2013, הכנה היא 677 והזן העיקרי הוא אום אל פחם. נבחנו 7 טיפולים (טבלה 1) בחמש חזרות. בטיפולי תעלות האוורור יש שתי תעלות, אחד מכל צד של העץ, במרחק 30 ס"מ מהגזע, ברוחב 25 ס"מ ו- 30 ס"מ עומק ומלאות בטוף 0-8 בטיפול אחד או קומפוסט בטיפול נוסף. הניסוי מבוצע בחמש חזרות במתכונת של בלוקים באקראי כאשר בכל חזרה שלוש שורות של 5 עצים (מרווחי הנטיעה הינם 5 מ' X 7 מ'). עצי המדידה הם שלושת העצים המרכזים בשורה המרכזית של כל חזרה (רק עצי אום אל פחם). תוכנית חלקת הניסוי מוצגת בנספח 1.

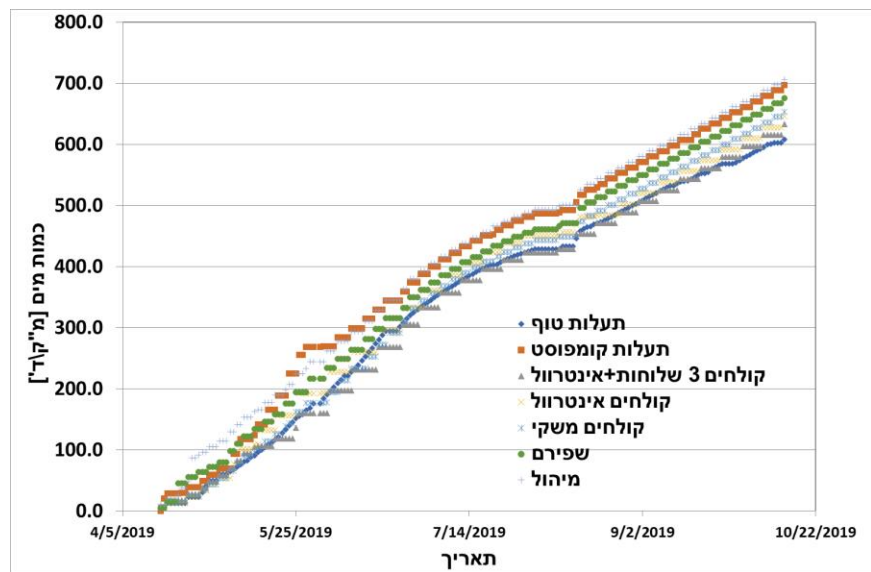
החלקה מושקית בטפטוף עילי, 2 שלוחות לשורה (פרט לטיפול אחד עם 3 שלוחות) מסוג ('יונירעם' 2.3 לישעה במרווח של 0.5 מ' - 'נטפים'). בטיפול של המיהול יש 4 שלוחות עם טפטפות של 1 לישעה כל 0.5 מ', כאשר בכל צד של העץ שתי שלוחות (אחת קולחים ואחת שפירים) מוצמדות. ההשקיה תוכננה במטרה ליישם את אותה כמות מים בכל הטיפולים, ואכן ההבדל המרבי היה של 8.9% בין טיפול 2 לטיפול 4 (טבלה 2 ואיור 1). כמויות דשן נקבעות בהתחשב בערך הדישוני של הקולחים ומוצגות בטבלה 3. בטיפולים המושקים בקולחים ניתן דשן אורן להשלמת מנת החנקן, ובטיפולי המים השפירים דשן נוזלי מסוג 8:2:9. בתחילת כל עונה בודקים את תקינות מערכת ההשקיה, מיקום שלוחות הטפטוף ומכינים תוכנית השקיה ודישון.

טבלה 1: פירוט הטיפולים

מספר שלוחות	טיפול				מספר
	תיאור הטיפול	אינטרוול השקיה	סוג מים	קוד	
2	השקיה משקית	3	שפירים	FW	1
2	השקיה משקית	3	קולחים	TWW	2
2	אינטרוול ארוך	6	קולחים	LFI	3
3	אינטרוול ארוך	6	קולחים	LFII	4
2	השקיה משקית	3	קולחים	COM	5
2	השקיה משקית	3	קולחים	TUF	6
4 (2+2)	השקיה משקית	3	קולחים+שפירים	MIX	7

טבלה 2: כמויות מים שניתנו בפועל במהלך עונת ההשקיה, 2019.

כמות מים [מ"קד']	טיפול	
	סוג מים	קוד
676.1 (95.7%)	שפירים	FW
653.8 (92.6%)	קולחים	TWW
645.8 (91.4%)	קולחים	LFI
633.1 (89.6%)	קולחים	LFII
697.3 (98.7%)	קולחים	COM
608.5 (86.1%)	קולחים	TUF
706.4 (100%) (שפירים- 376.5 ; קולחים- 329.9)	קולחים+שפירים	MIX



איור 1: כמות המים המצטברת בטיפולים

טבלה 3: כמויות של יסודות הזנה

כמות יסודות הזנה [ק"ג/ד']									סוג הדשן	טיפול	
סה"כ			מים			דשן					
K ₂ O	P ₂ O ₅	N	K ₂ O	P ₂ O ₅	N	K ₂ O	P ₂ O ₅	N		סוג מים	קוד
26.9	10.1	30.2	----	----	----	26.9	10.1	30.2	9-3-8	שפירים	FW
37.2	7.3	48.2	37.2	7.3	12.9	----	----	35.3	אורן 32	קולחים	TWW
36.7	7.3	47.6	36.7	7.3	12.3	----	----	35.3	אורן 32	קולחים	LFI
36.0	7.1	47.3	36.0	7.1	12.0	----	----	35.3	אורן 32	קולחים	LFII
39.7	7.8	48.6	39.7	7.8	13.3	----	----	35.3	אורן 32	קולחים	COM
34.6	6.8	46.9	34.6	6.8	11.6	----	----	35.3	אורן 32	קולחים	TUF
18.8	3.7	24.2	18.8	3.7	6.3	----	----	17.9	אורן 32	קולחים	MIX
13.5	5.1	15.1	----	----	----	13.5	5.1	15.1	9-3-8	שפירים	
46.1	8.8	39.3	18.8	3.7	6.3	13.5	5.1	33.0		סה"כ מיהול	

ב. איכות המים

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

טבלה 4: איכות מי ההשקיה

סוג מים	pH	מוליכות חשמלית	כלוריד	נתרן	סידן	מגניזיום	אשלגן	בורן	SAR
שפירים	יחידות		מ"ג/ל'	מ"ג/ל'	מ"ג/ל'	מ"ג/ל'	מ"ג/ל'	מ"ג/ל'	מ"ג/ל'
	ממוצע		0.81	99.4	1.6	4.5	2.3	0.06	0.07
	סטיית תקן		0.05	----	0.16	----	0.3	----	0.01
קולחים	ממוצע		1.58	262.7	8.3	4.2	3.0	1.2	0.16
	סטיית תקן		0.17	24.9	1.0	0.16	0.7	0.05	0.04

סוג מים		TSS	BOD	COD	חנקן חנקתי	חנקן אמוניאקלי	חנקן קלדהל	זרחן מסיס
שפירים	יחידות							
	ממוצע	-----	----	----	3.8	-----	----	-----
	סטיית תקן	-----	----	----	1.2	-----	----	-----
קולחים	ממוצע	9.5	14	37.0	8.2	10.8	13.5	5.1
	סטיית תקן	5.6	2.8	9.0	6.4	13.2	13.6	0.4

ג. מעקב בקרקע

במהלך הניסוי מתבצעות מדידות רציפות ומדידות עתיות כדי לבחון באופן כמותי את השפעת הטיפול השונים על מדדים כימיים ופיזיקליים בקרקע. מדידות רציפות כוללות חיישני רטיבות, מוליכות חשמלית וטמפרטורה של אקלימה (TDR, TDT), וחיישני חמצן באוויר הקרקע. מדידות עתיות מתבססות על דיגום מחתכי קרקע מחלקות הניסוי בשני מועדים, באביב בסוף עונת הגשמים ובסתיו בסוף עונת ההשקיה.

מדידות עתיות - דיגומי קרקע

בעונת הסתיו הדיגום בשלושה עומקים: 0-30, 30-60, 60-90 ס"מ. בעונת האביב בשני עומקים: 0-30, 30-60, 60-90 ס"מ. בשתי העונות הדיגום במרחק של כ- 15 ס"מ מקו הטפטוף כך שגם בטיפולים תעלות הטוף והקומפוסט הדיגום בקרקע צמוד לתעלה ולא בתוך הטוף או הקומפוסט. בסתיו בארבעה טיפולים (שפירים, קולחים משקי, תעלת טוף ותעלת קומפוסט) מתבצע דיגום נוסף בין שלוחות הטפטוף ובמרכז של שני עצים. דוגמאות הקרקע מובאות למעבדה, עוברות ייבוש בתנור מאוורר בטמפרטורה של 40°C. לאחר מכן הקרקע נטחנת ומנופה לחלקיקים בקוטר 2 מ"מ לצורך ביצוע הבדיקות השונות (טבלה 5).

טבלה 5: סוגי הבדיקות הכימיות השונות שמתבצעות בדגימות הקרקע.

סוג הבדיקה	המרכיבים של הבדיקה	המכשיר	סוג המיצוי *	סוג הסינון
חומר אורגני	TOC, TN	מכשיר TOC	מים DDW - 2:1	סינון איטי
חומר אנאורגני	IC	מכשיר TOC	מים DDW - 2:1	סינון איטי
פחמן כללי	TC	מכשיר TOC	מים DDW - 2:1	סינון איטי
חומר אורגני	UV(254 nm)	ספקטרופוטומטר	מים DDW	סינון איטי
N מינרלי	NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺ , NO ₂ ⁻	אוטואנלייזר (gallery plus)	1M KCl - 1:5	סינון מהיר
P	PO ₄ ⁻³	אוטואנלייזר (gallery plus)	NaHCO ₃ 0.5M 1:10	סינון מהיר
קטיונים	Ca ²⁺ , Mg ²⁺	Atomic Analyzer	מים DDW - 2:1	סינון איטי
קטיונים	K ⁺ , Na ⁺	FlamePhotoMeter	מים DDW - 2:1	סינון איטי
אניונים	Cl ⁻	אוטואנלייזר (gallery plus)	מים DDW - 2:1	סינון איטי
מוליכות חשמלית	EC	EC meter	מים DDW - 2:1	סינון איטי
חומציות המיצוי	pH	pH meter	מים DDW - 2:1	סינון איטי

הבדיקות המופיעות בטבלה 5 בוצעו במיצוי מימי של 1:2 מים:קרקע (אלא אם צוין אחרת) לאחר טלטול במשך 1 שעה, סירכוז וסינון איטי של תמיסת המיצוי, בנייר סינון 1-2 מיקרון. אמון וחנקן זמינים נקבעו במיצוי 1N KCl ביחס 5:1 (קרקע לממצה), לאחר טלטול במשך 1 שעה, סירכוז וסינון מהיר של דוגמאות הקרקע, בנייר סינון 8-12 מיקרון. זרחן זמין ייקבע במיצוי 0.5 N NaHCO₃ ביחס 10:1 (קרקע לממצה), לאחר טלטול במשך 1 שעה, סירכוז וסינון מהיר של דוגמאות הקרקע, בנייר סינון 8-12 מיקרון.

בדיקות פיסיקליות - בדיקת יציבות התלכידים

בדיקת יציבות התלכידים בוצעה פעם אחת בדוגמאות הקרקע מדיגום הסתיו ב-2019. הבדיקה בוצע תוך שימוש במכשיר לייזר ומתבססת על טכניקה של שבירת קרני לייזר, לבדיקת הפיזור של גדלי החלקיקים. יציבות התלכידים נמדדת ע"י מכשיר הנקרא Malvern Mastersize 2000, המכשיר פולט קרן לייזר מסוג He-Ne באורך גל של 633 ננומטר. ומשתמשים בו למדידת חלקיקים בטווח 0.02 - 2000 מיקרון. החישוב של פיזור גודל החלקיקים נעשה ע"י תוכנת מחשב הנקראת Malvern software V5.0 אשר משתמשת במודל אופטי שפותח על ידי Mie בשנת 1908. דוגמאות קרקע (0.4-0.2 גרם) מעורבבות עם מים מזוקקים, מועברות למודול הנוזלים של המכשיר (היחס קרקע מים בהתאמה לקרינה שחודרת דרך הדוגמאות). התמיסות מורצות למשך דקה 10 פעמים ברציפות, במהירות זרימה שמונעת שקיעה של החלקיקים, ומצד שני מונעת יצירת בועות אוויר. יציבות התלכידים בסוף כל דקת ריצה, מוערכת מהאחוז הנפחי של החלקיקים. דוגמה המכילה אחוז גדול יותר של חלקיקים שנפחם יותר גדול מ-50 מיקרון נחשבים ליותר יציבים (Levy et al. 2018). תוצאות של בדיקות אלה ידווחו בדו"ח הבא.

מדידות רציפות בשדה

בוצעו מדידות רציפות של טמפרטורה, לחות הקרקע והמוליכות החשמלית (EC) על ידי חיישנים מהסוגים: TDT, TDR תוצרת חברת Acclima שהותקנו בעומק 30 ס"מ מתחת לשלוחת הטפטוף, ובתוך שורת העצים. ריכוז החמצן באוויר הקרקע נמדד על ידי חיישני חמצן KE-50 של חברת Figaro היפנית, שמוותקנים בעומק 30 ס"מ מתחת לשלוחת הטפטוף.

מעקב אחר מתח המים בקרקע (טנסיומטרים):

בשלוש חזרות מכל טיפול הותקנו שני טנסיומטרים בעומקים 20 ס"מ ו-40 ס"מ במרחק 15 ס"מ מהטפטפת הקרובה לעץ מדידה. בסה"כ 3 תחנות לטיפול, כלומר 21 תחנות (42 טנסיומטרים). הטנסיומטרים מחוברים למערכת Phyttech ונרשמים נתוני מדידה כל שעה.

ד. מעקב צמחי

- i. **פוטנציאל המים בצמח:** על-מנת לקבוע את משק המים בעצים נמדד פוטנציאל המים בגזע פעמיים לאורך העונה. המדידות בוצעו באמצעות תא לחץ (PMS OR USA) על עלים מהנוף שכוסו בשקית פלסטיק מצופה נייר אלומיניום כשעה וחצי עד שעתיים לפני המדידה (בשעת הצהריים). נמדדו שני עלים לעץ ושני עצים לחזרה.
- ii. **דנדרומטרים:** הותקנו דנדרומטרים של Phyttech. מכשיר אחד לעץ מדידה בשלוש חזרות של כל טיפול. אופן ההתקנה מוצג בתמונה 1.
- iii. **צריכת מים של עצים:** צריכת מים (זרימה בגזע) נמדדה עם חיישנים מסוג פיזור חום שנבנו במעבדה שלנו בבית דגן (Granier, 1985). החיישנים באורך 20 מ"מ ובכותר 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 כוסו החיישנים בקצף פוליאוריתאן ובנייר אלומיניום לבידוד. החיישנים חוברו לשלושה אוגרי נתונים תוצרת חברת Campbell Scientific והמדידות הוקלטו כל 15 דקות. שיטת המדידה, הכיול, והחישובים מתוארים ע"י Paudel et al. (2013). ההתקנה בוצעה בסוף מאי 2019, אך תחילת עבודה סדירה עם המערכת החלה רק בחודש יולי 2019, עקב הדרישה של המגדל להוציא את הציוד מהשטח בזמן הקטיף ולכן אין מדידות טובות לפני כן.

מדידות זרימה בגזע, כפי שנעשו במחקר זה, מבוססות על כיולים שנעשו במיני עצים שונים ובהנחה ששטף הזרימה דועך עם העומק בעצת העץ עד לעומק של 50 מ"מ באופן ליניארי, כפי שנצפה במינים רבים (Cohen et al., 2008). כיול חיישני Granier בנקטרינה, מין קרוב לשקד, נעשו ופורסמו ע"י הקבוצה שלנו (Paudel et al., 2013). לכן יש להתייחס למדידות זרימה בגזע ככמותיות ולא רק לצורך זיהוי הבדלים יחסיים בין טיפולים.

iv. יחסי איזוטופים יציבים של פחמן בעלים: בסוף עונת ההשקיה ב- 2019 נדגמו עלים למדידות איזוטופים יציבים. העלים יובשו ונטחנו. מדידות יחסי איזוטופים של פחמן ^{13}C בוצעו במעבדה של ד"ר תמיר קליין במכון וייצמן בעזרת Picarro Cavity Ring-Down Spectroscopy (CRDS).



תמונה 1: תחנה של דנדרומטר וטנסיומטרים

v. יבול: היבול מכל עץ נקטף בנפרד (3 עצים בחזרה) על ידי מנערת (תמונה 2) והיבול נאסף לתוך מיכל. היבול הכללי נשקל בשדה ונילקח מדגם של דלי אחד. המידגם הטרי נשקל בשדה והוא יובש בתנור בטמפרטורה של 65°C . לאחר מכן נספרו הפירות במדגם ובוצעה שקילה של 100-200 זרעים יבשים. נתוני המידגם סיפקו את מספר הפירות לק"ג יבול רטוב ומשקל זרע. מנתונים אלו חושב מספר הזרעים לדונם ומשקל הזרעים לדונם. מועד הניעור היה ב- 9 לאוגוסט.



תמונה 2: הפעלת המנערת לקטיפת הניסוי

ה. **אנליזה נומרית של ההשפעות של איכות מי השקיה על אדמה וצמחים:** תיאור שיטות העבודה והתוצאות מוצגות בנספח 2.

4. תוצאות ודיון

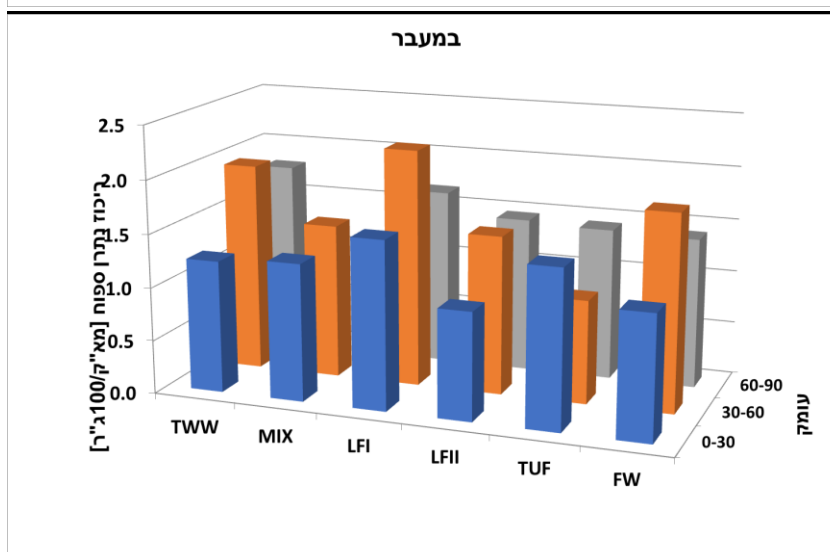
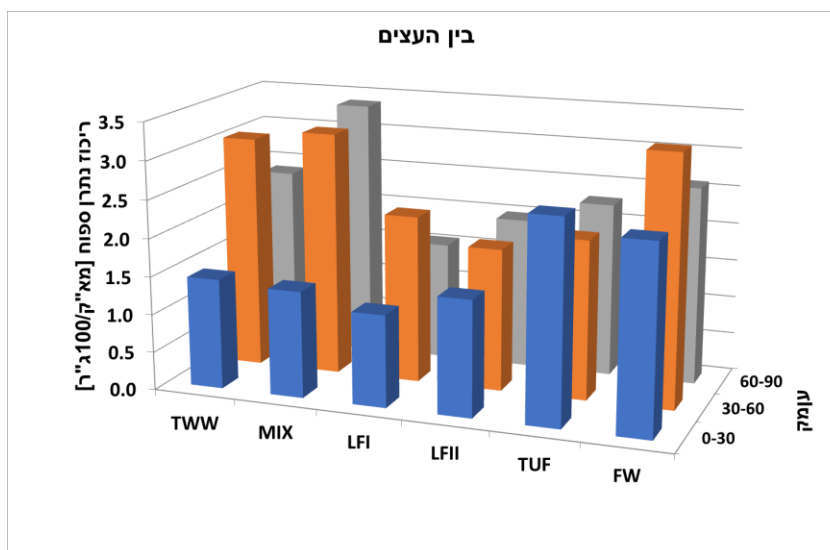
i. מעקב קרקע

א. מעקב אחר הרכב הפאזה המוצקה

הרכב הפאזה המוצקה נבדק בתחילת הניסוי. התוצאות מובאות באופן חלקי בטבלה 6 ובאיור 25. כיוון שהדיגום היה בתחילת הניסוי, לפני הפעלת הטיפול, התוצאות מייצגות יותר את אחידות השטח וההבדל בין הקרקע בין העצים ליד הטפטוף (שכולו היה מושקה בקולחים מהנטיעה עד לתחילת הניסוי) והקרקע במעבר לא מושקה. יש להזכיר שאף שמצוינים הטיפולים, בכל טיפול נלקחה חזרה אחת בלבד. תכולת הגיר נמצאה בתחום 4.38%-6.5%, ללא הבדל משמעותי בין האזור בין העצים והמעבר, אבל עם עליה בעומק החתך. תכולת החומר האורגני נמצאה בתחום 1.23%-2.02%, ללא הבדל משמעותי בין האזור בין העצים והמעבר אבל עם ירידה בעומק החתך. תכולת החרסית נמצאה בתחום 64.60%-70.13%, ללא הבדל משמעותי בין האזור בין העצים והמעבר ובעומק החתך. תמונה דומה התקבלה לגבי הקק"ח שנמצא בתחום 77.5-83.0 מא"ק/100 ג"ר (טבלה 6). ריכוז ואחוז הנתרן הספוח (ESP) היו בתחום 1.0-3.2 מא"ק/100 ג' ו-1.0-3.9% (איור 2). כפי שהיה צפוי ריכוז הנתרן הספוח (וכמוהו ה-ESP) היו גבוהים יותר בשכבות 30-60 ו-60-90 ס"מ מאשר בשכבה העליונה 0-30 ס"מ, כתוצאה מהעדיפות בספיחה ליונים הדו-ערכיים שגורמת לדחיקת הנתרן לשכבות עמוקות יותר. במרבית החלקות ריכוזי הנתרן הספוח (וכמוהו ה-ESP) בשכבות 30-60 ו-60-90 ס"מ היו גבוהים יותר ליד העצים מאשר בין העצים, כתוצאה מכך שההשקיה בקולחים שמכילים נתרן הייתה ליד העצים, בעוד שהאזור בין העצים מושפע בעיקר ממי הגשמים. תופעה זו נמצאת בהתאמה לתוצאות שהתקבלו בפרדס מזרע (Bardhan et al. 2016 Geoderma 216: 1-9).

טבלה 6: תכונות הפאזה המוצקה

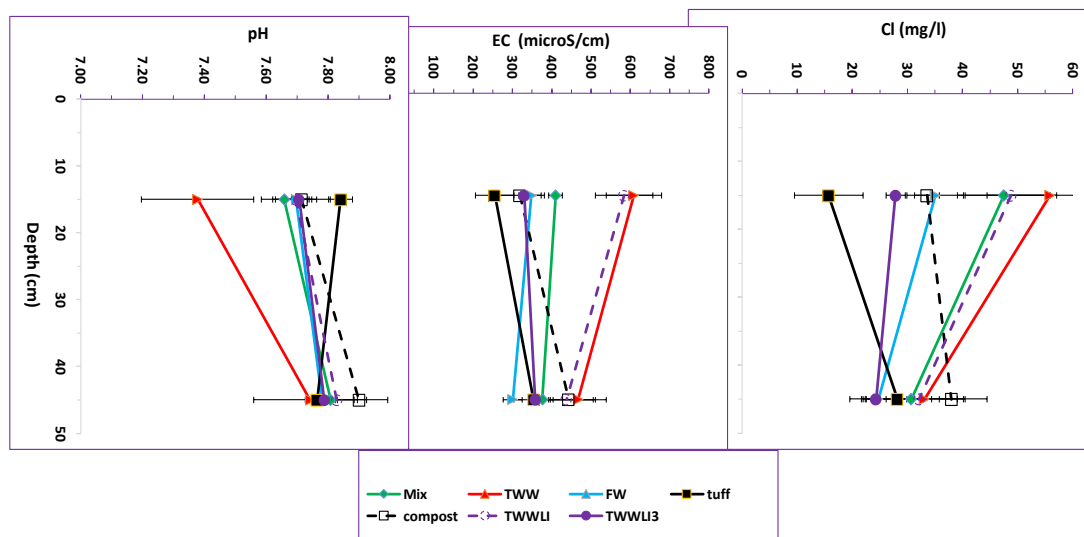
מעבר			בין העצים					
-75	-45	-15	-75	-45	-15	עומק	יחידות	פרמטר
6.50	5.64	4.38	5.51	5.33	4.99	ממוצע	%	גיר
2.95	1.79	0.61	0.85	0.96	1.61	סטיית תקן		
1.36	1.35	2.00	1.23	1.60	2.02	ממוצע	%	חומר אורגני
0.43	0.08	0.65	0.16	0.45	0.16	סטיית תקן		
67.52	69.13	65.80	70.13	65.13	64.60	ממוצע	%	חרסית
3.99	3.33	3.89	4.00	11.55	7.15	סטיית תקן		
79.95	78.77	83.00	77.50	81.32	82.02	ממוצע	מא"ק\100 ג"ר	קק"ח
4.58	4.79	6.05	2.03	5.09	5.64	סטיית תקן		



איור 2: ריכוז נתרן ספוח בשורת העצים (איור עליון) ובמעבר בין שורות העצים (איור תחתון) בדיגום קרקע במרץ 2017

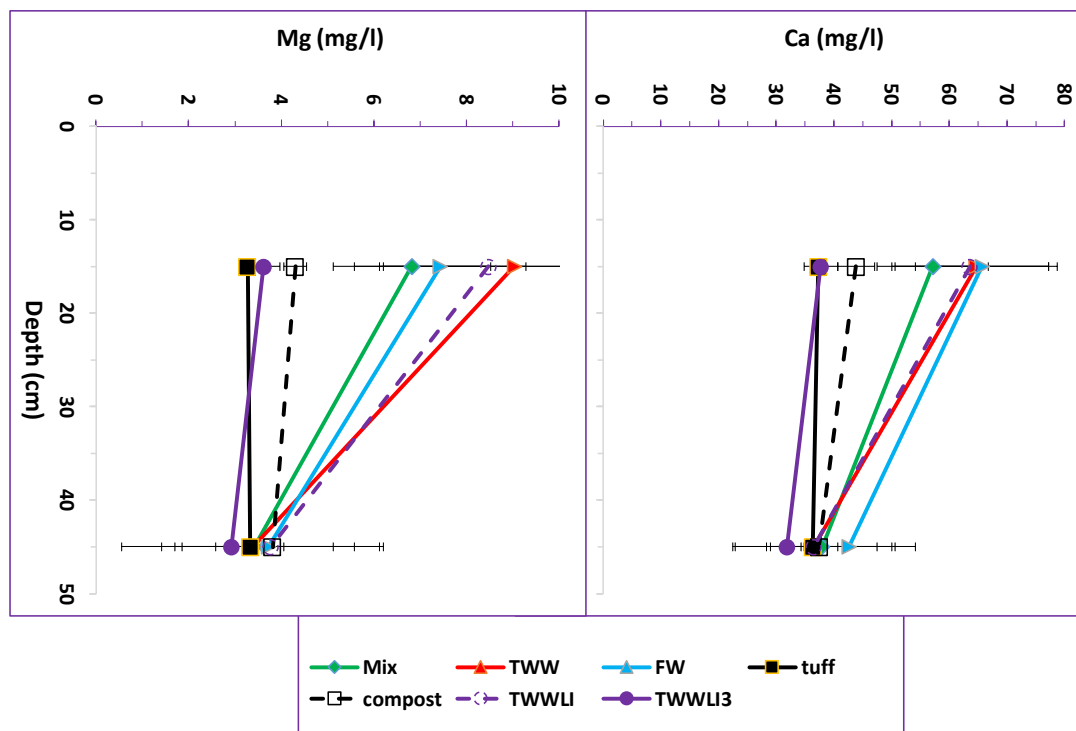
תוצאות דיגום אביב 2019

בדיגום הקרקע שנעשה בסוף עונת הגשמים, לפני עונת ההשקיה השלישית באביב 2019 (18 אפריל 2019) נעשו אנליזות של הרכב תמיסת הקרקע בחתך מתחת לשלוחות הטפטוף עד עומק 60 ס"מ בכל הטיפולים. ערכי pH של תמיסת הקרקע מתחת לטפטוף לא הושפעו באופן עקבי בכל החתך מאיכות המים ומטיפול הממשק האחרים. בשכבת הקרקע העליונה ברוב הטיפולים טווח הערכים 7.65-7.70 ורק בממשק הקולחים המשקי ערך מעט נמוך יותר, 7.4 ובטיפול הטוף ערך גבוה יותר, 7.8 ואילו בשכבת הקרקע העמוקה יותר 30-60 ס"מ אין הבדל מובהק בין הטיפולים וכל הערכים בטווח מצומצם של 7.74 עד 7.90 (איור 3). ערכי המוליכות החשמלית וריכוזי הכלוריד נמוכים מאוד, 0.25-0.61 דצ"ס/מ ו- 15-56 מ"ג/ליטר בהתאמה, לעומת הערכים בסתיו 2018 ולעומת הערכים בשפירים וקולחים (איור 3) כתוצאה משטיפת המלחים המסיסים על ידי הגשמים. יש לשים לב שאלו ערכים שהתקבלו במיצי 1/2 ואנו מעריכים שבתמיסה רוויה הערכים גבוהים פי 4-5. בדומה לתוצאות מסתיו 2017 ו-2018 השפעת הטיפולים על המוליכות החשמלית ועל ריכוז הכלוריד הייתה דומה מאוד. ערכי המוליכות החשמלית וריכוז הכלוריד בתמיסת הקרקע בטיפולים קולחים, מיהול ושפירים היו בהתאם לאיכות המים, הערכים הנמוכים ביותר התקבלו בהשקיה בשפירים, הגבוהים ביותר בקולחים וביניהם בטיפול של המיהול (איור 3). בשלושת טיפולים אלו ובמיוחד בקולחים בשכבת הקרקע העליונה (0-30 ס"מ) התקבלו ערכים גבוהים יותר של מוליכות חשמלית וריכוז כלוריד מאשר בשכבה שאחריה (30-60 ס"מ) ואילו בשני טיפולי התעלות התקבלה מגמה הפוכה. בשכבת הקרקע העליונה בשלושה טיפולי קולחים מתקנים, תעלות הטוף והקומפוסט וטיפול האינטרוול הארוך עם 3 שלוחות המוליכות החשמלית וריכוז הכלוריד היו נמוכים מאשר בממשק המשקי ודומים לשפירים, ואילו בטיפול האינטרוול הארוך עם 2 שלוחות הערכים היו דומים לקולחים. בשכבה הבאה 30-60 ס"מ הטיפולים המתקנים היו בין הקולחים לשפירים.



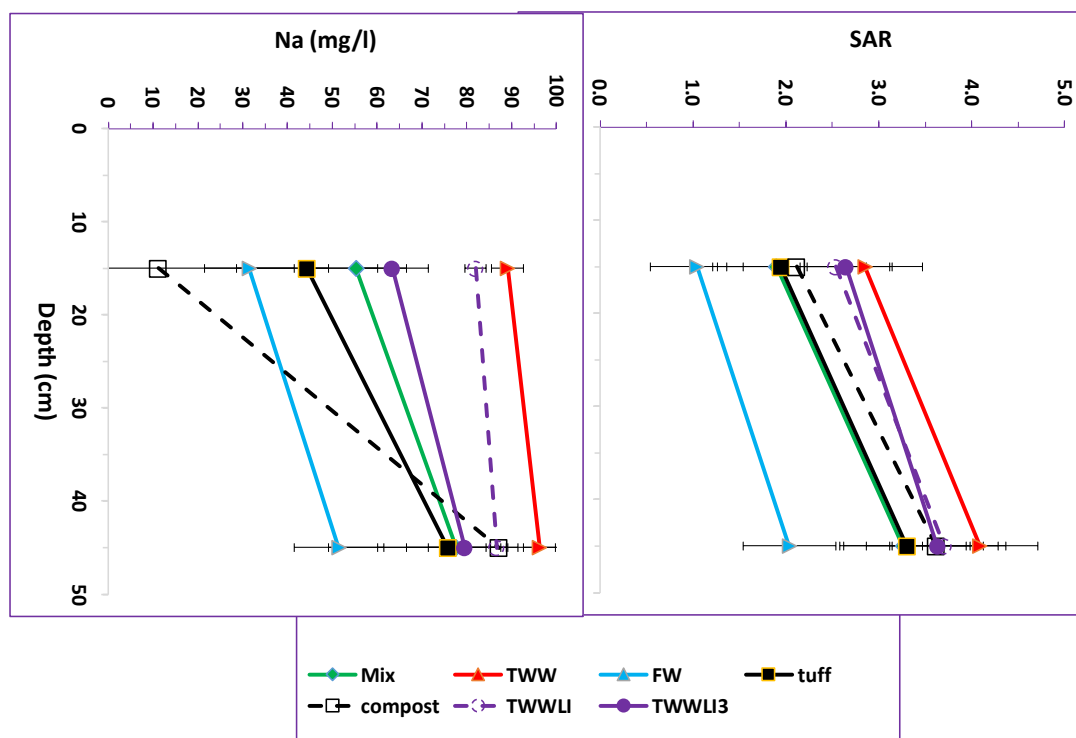
איור 3: השפעת הטיפולים על ה-pH, המוליכות החשמלית וריכוז הכלוריד- מתחת לשלוחות הטפטוף במיצי מימי של הקרקע ביחס משקלי 1/2, בחתך הקרקע (בשכבות 0-30 ו-30-60 ס"מ) ב-18 אפריל 2019, במטע השקד בלביא.

ריכוזי הסידן והמגנזיום בתמיסת המינרליזציה נמוכים בהרבה מאשר הריכוזים בסתיו, בדומה לשינוי שהתקבל במוליכות החשמלית וריכוזי הכלוריד כתוצאה מהשטיפה בחורף (איור 4). בשלושת טיפולי איכות המים ובטיפול האינטרוול הארוך עם שתי שלוחות הריכוזים בשכבה 30-60 ס"מ היו נמוכים מאשר בשכבה העליונה ואילו בשני טיפולי התעלות ובטיפול האינטרוול הארוך עם שלוש שלוחות לא היה הבדל בריכוזים בין שכבה העליונה לתחתונה. לאיכות המים, קולחים, שפירים ומיהול לא הייתה השפעה מובהקת ובמגמה ברורה על ריכוז הסידן, בדומה לתוצאות בסתיו 2018. גם ריכוז המגנזיום בדומה לסידן לא הושפע מאיכות המים. בשני טיפולי התעלות ריכוזי הסידן והמגנזיום בשכבת הקרקע העליונה היו נמוכים באופן מובהק מאשר בטיפול הקולחים המשקי, ואילו בשכבה שמתחתיה לא היה הבדל בין הטיפולים



איור 4: השפעת הטיפולים על ריכוז סידן ומגנזיום מתחת לשלוחת הטפטוף במינרליזציה מימי של הקרקע ביחס משקלי 1/2, בחתך הקרקע (בשכבות 0-30 ו-30-60 ס"מ) ב-18 אפריל 2019, במטע השקד בלביא.

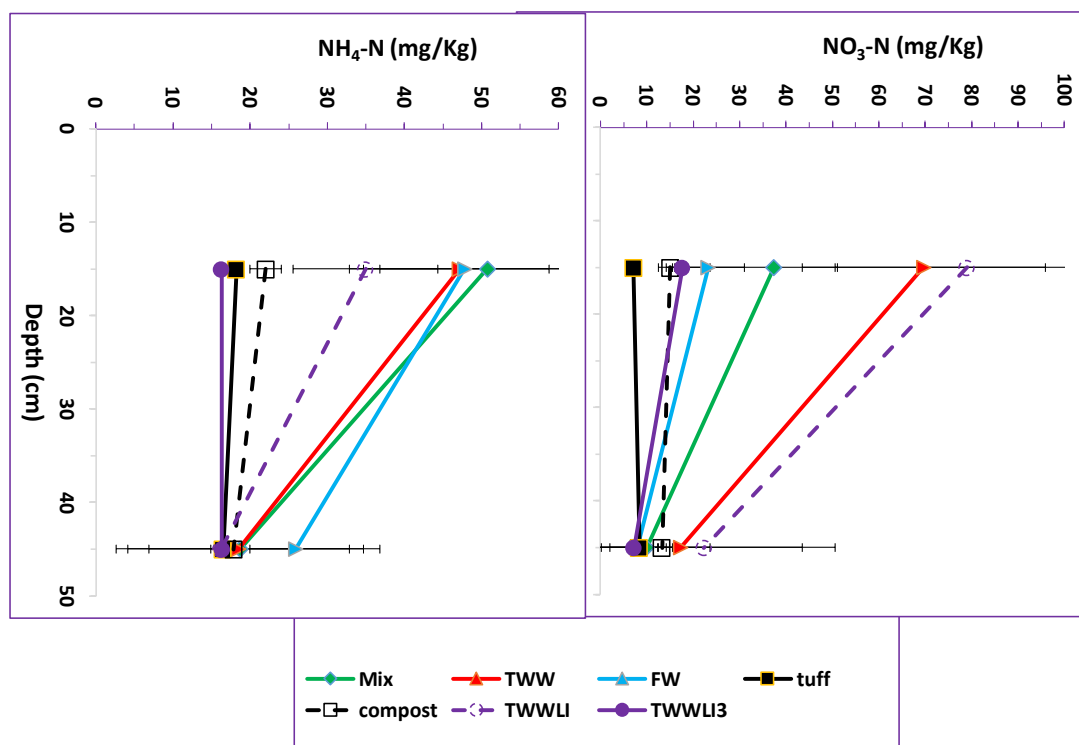
בכל הטיפולים ריכוז הנתרן וערכי ה-SAR היו גבוהים יותר בשכבה התחתונה מאשר בעליונה (איור 5), בהתאמה לתוצאות בעונות הקודמות. ריכוז הנתרן וערכי ה-SAR לכל אורך החתך מ-0-30 עד 60-90 ס"מ היו תלויים באיכות המים, כלומר הערכים הגבוהים ביותר בקולחים והנמוכים ביותר בשפירים (איור 5). ריכוזי הנתרן בטיפול ממשק ההשקיה המתקנים, אינטרוול הארוך עם שתי או שלוש שלוחות היו במצב ביניים בין הקולחים למיהול וטיפול תעלות הטוף היה דומה למיהול. בטיפול הקומפוסט ריכוז הנתרן בשכבת הקרקע העליונה היה נמוך מאשר בשפירים אך בשכבה התחתונה הריכוז היה גבוה בהרבה, בין טיפול המיהול לטיפול בקולחים. ערכי ה-SAR בטיפולים המתקנים על ידי ממשק השקיה (אינטרוול ארוך עם שתיים או שלוש שלוחות) ועל ידי תעלות קומפוסט היו בין המיהול לבין הקולחים ובטיפול הטוף הערכים היו דומים לאלו שבטיפול המיהול.



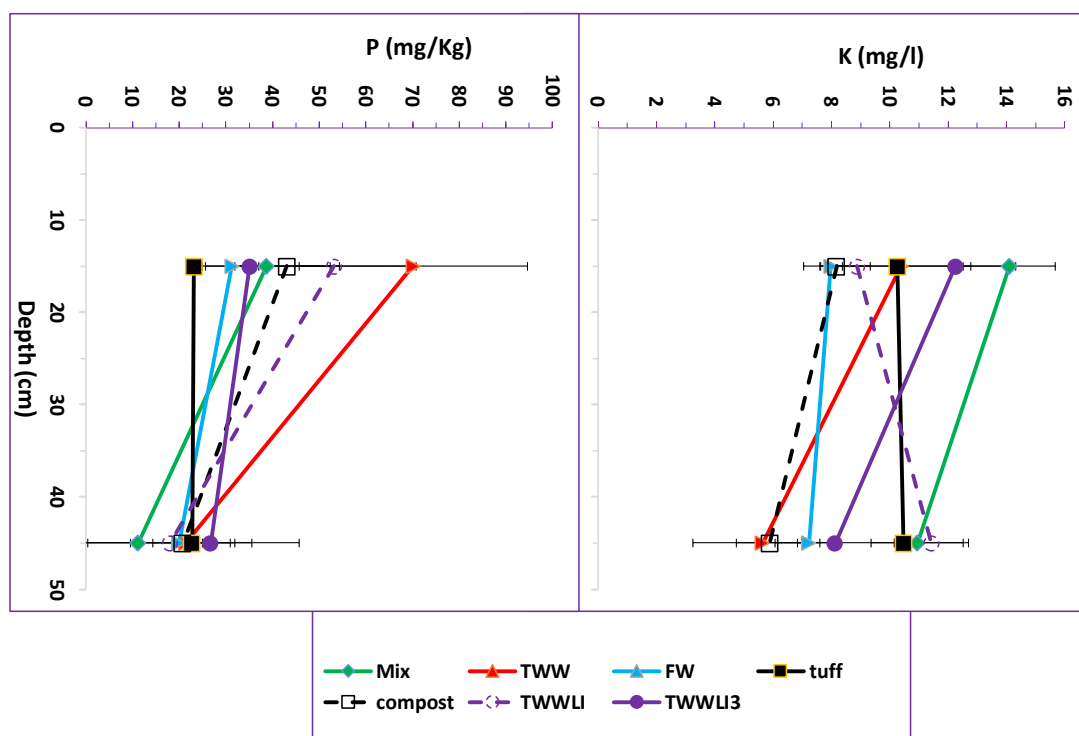
איור 5: השפעת הטיפולים על ריכוזי הנתרן וערכי ה-SAR מתחת לשלוחת הטפטוף במיצוי מימי של הקרקע ביחס משקלי 1/2, בחתך הקרקע (בשכבות 0-30 ו-30-60 ס"מ) ב-18 אפריל 2019, במטע השקד בלביא.

ריכוזי החנקן הזמין כחנקן ואמון ברוב הטיפולים היו נמוכים באופן משמעותי בשכבה התחתונה מאשר בעליונה חוץ מאשר בשני טיפולי התעלות טוף וקומפוסט וטיפול ממשק ההשקיה באינטרוול ארוך בשלוש שלוחות (איור 6). ריכוזי החנקן האמוניאקלי היו דומים בשלושת איכויות המים ואילו בריכוז החנקן החנקתי היה דרוג מקולחים, דרך המיהול ועד השפירים. בשני טיפולי התעלות ובטיפול ממשק ההשקיה באינטרוול ארוך עם שלוש שלוחות החנקן הזמין בשתי הצורות היוניות בשכבה העליונה נמוכים מהטיפולים האחרים ואילו באינטרוול הארוך עם שתי שלוחות ריכוז החנקן החנקתי הגבוה ביותר ודומה לטיפול הקולחים המשקי והחנקן האמוניאקלי במצב ביניים בין הקולחים המשקי לבין קולחים באינטרוול ארוך ושלוש שלוחות.

תחום ריכוזי הזרחן הזמין דומים לאלו שהתקבלו בסתיו 2018, בין 20 ל-80 מ"ג/ק"ג וברוב הטיפולים חוץ מתעלת הטוף הייתה ירידה בריכוז מהשכבה העליונה לתחתונה (איור 7). ריכוזי הזרחן הזמין (מיצוי אולסן) בשכבת הקרקע העליונה היה גבוה בקולחים מאשר בשפירים ובמיהול בניגוד לערכים הדומים שנמדדו בסתיו 2018. לעומת זאת בטיפול הממשק (אינטרוול ארוך) ובתעלות הקומפוסט והטוף ערכי הזרחן הזמין דומים אחד לשני ולטיפולי השפירים והמיהול. בריכוזי האשלגן לא נמצאה מגמה קבועה של שינוי עם העומק ולא נמצאו הבדלים מובהקים ועקביים עם העומק בין הטיפולים.

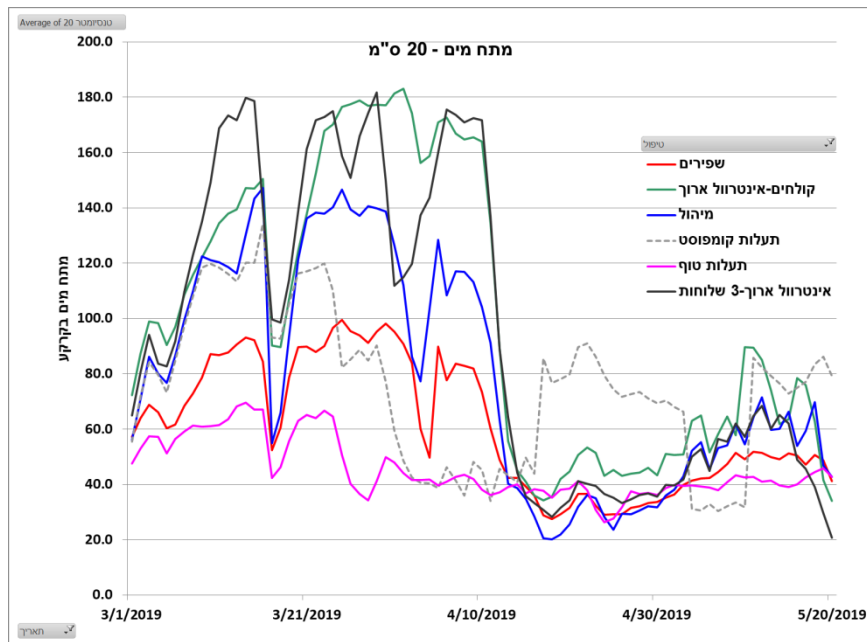


איור 6: השפעת הטיפול על ריכוזי החנקן הזמין, אמון וחנקן במיצוי 1N KCl מתחת לשלוחת הטפטוף, בחתך הקרקע (בשכבות 0-30 ו-30-60 ס"מ) ב-18 אפריל 2019, במטע השקד בלביא.

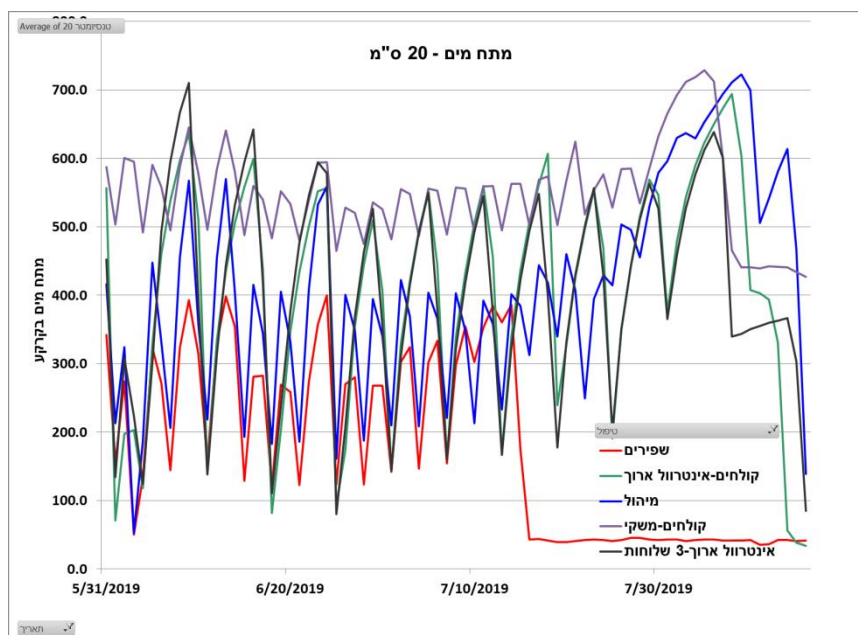


איור 7: השפעת הטיפול על ריכוזי הזרחן הזמין במיצוי אולסן וריכוזי האשלגן בתמיסת מיצוי 1/2 מתחת לשלוחת הטפטוף, בחתך הקרקע (בשכבות 0-30 ו-30-60 ס"מ) ב-18 אפריל 2019, במטע השקד בלביא.

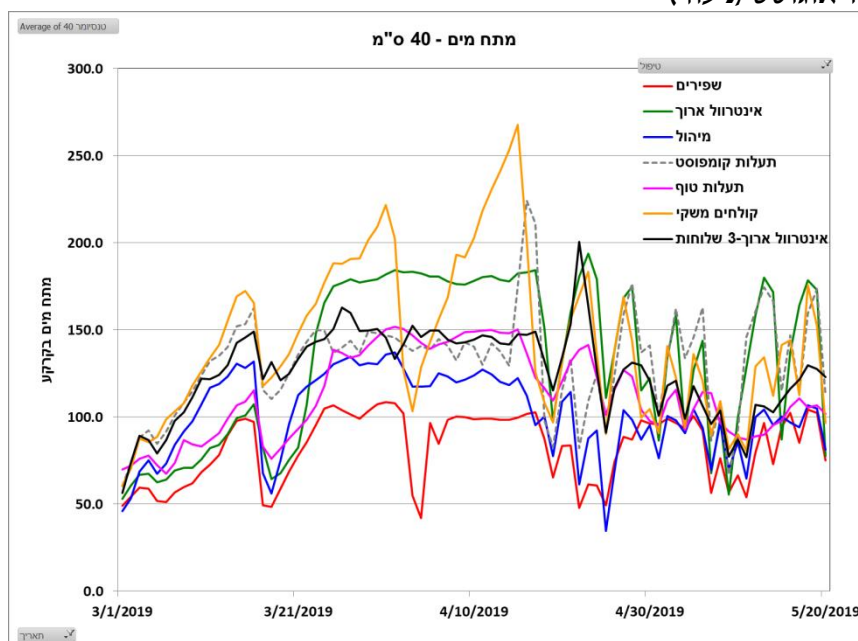
באיור 8 מוצגת השתנות מתח המים בעומק 20 ס"מ בחודשים מרץ-מאי עבור כל טיפולי הניסוי. בתקופה זו מתח המים היה יותר גבוה בטיפולים עם אינטרוול ארוך (עם שתיים שלוש שלוחות טפטוף). בטיפולי המיחול ותעלות הקומפוסט, ערכי מתח המים בקרקע היו נמוכים מטיפולי האינטרוול הארוך, אבל גבוהים מיתר הטיפולים. המתחים הנמוכים ביותר יתקבלו לגבי הטיפול המושקה במים שפירים. מצב זה יכול להצביע על צריכת מים יותר נמוכה במים השפירים, אבל גם על פילוג שונה של המים בקרקע. באיור 9, מוצגת השתנות מתח המים בעומק 20 ס"מ בתקופה של יוני עד סוף יולי. יש לציין שרמת המתחים בכל הטיפולים גבוה בהרבה מהמתחים שנמדדו בתקופה הקודמת (איור 8). הטיפול המשקי בקולחים מראה את המתחים הגבוהים יותר, כאשר הטיפולים בקולחים המושקים באינטרוולים ארוכים הציגו מתחים נמוכים יותר במקצת. מתח המים בטיפול המושקה במים שפירים היה הנמוך ביותר ואלה של טיפול המיחול היו גבוהים במקצת. בעומק 40 ס"מ (איור 10), בתקופה הראשונה, הטיפולים במים שפירים והמיחול היו עם המתחים הנמוכים ביותר. לעומת זאת, בטיפול בקולחים משקי נמדדו המתחים הגבוהים ביותר, בדומה לשני הטיפולים עם אינטרוולים ארוכים. בתקופה השניה (יוני עד סוף יולי) בעומק 40 ס"מ (איור 11) נמצא שהמתחים היו יותר גבוהים מאשר אלו שנמדדו בתקופה המוקדמת יותר. לא נמצאו הבדלים מאוד משמעותיים בין הטיפולים, אם כי במרבית התקופה הטיפול בקולחים משקי היו המתחים הנמוכים ביותר. לאחר הניעור המתחים בטיפולי המים השפירים, המיחול ושני טיפולי התעלות (טוף וקומפוסט) הראו עליה חדה, בזמן שביתר הטיפולים העליה במתח המים היתה הדרגתית ונראות העליות וירידות במתח בין ההשקיות.



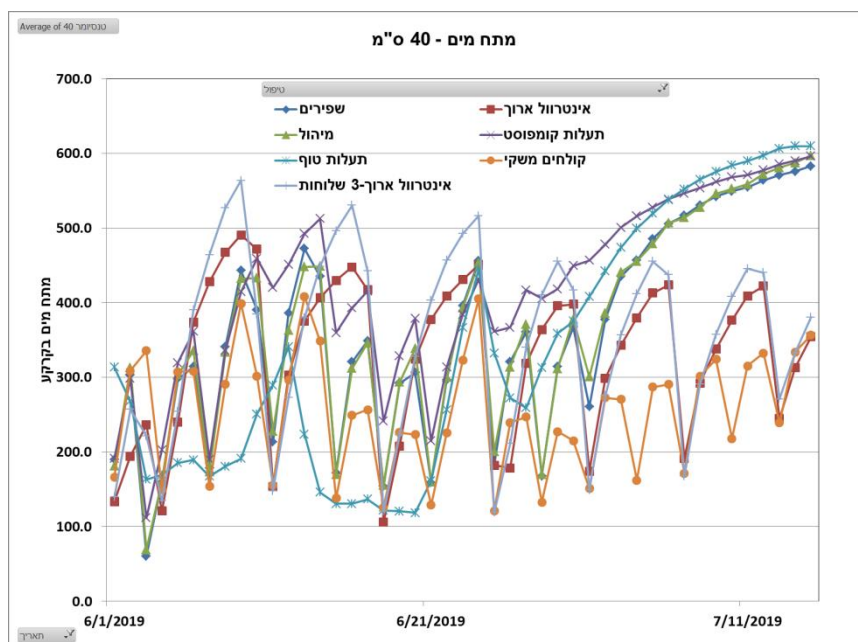
איור 8: השתנות מתח המים בקרקע (טנסיומטרים) בעומק 20 ס"מ בטיפולים השונים מחודש מרץ עד מאי.



איור 9: השתנות מתח המים בקרקע (טנסיומטרים) בעומק 20 ס"מ בטיפולים השונים מחודש מאי עד אוגוסט (ניעור)



איור 10: השתנות מתח המים בקרקע (טנסיומטרים) בעומק 40 ס"מ בטיפולים השונים מחודש מרץ עד מאי

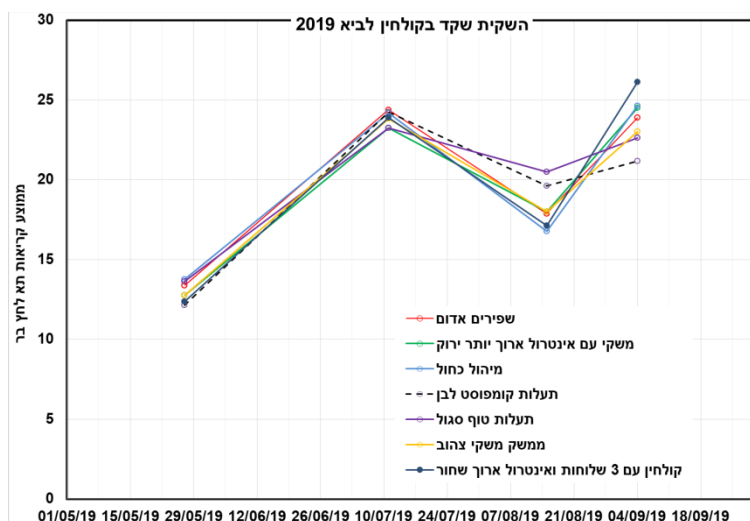


איור 11: השתנות מתח המים בקרקע (טנסיומטרים) בעומק 40 ס"מ בטיפולים השונים מחודש מאי עד אוגוסט (ניעור)

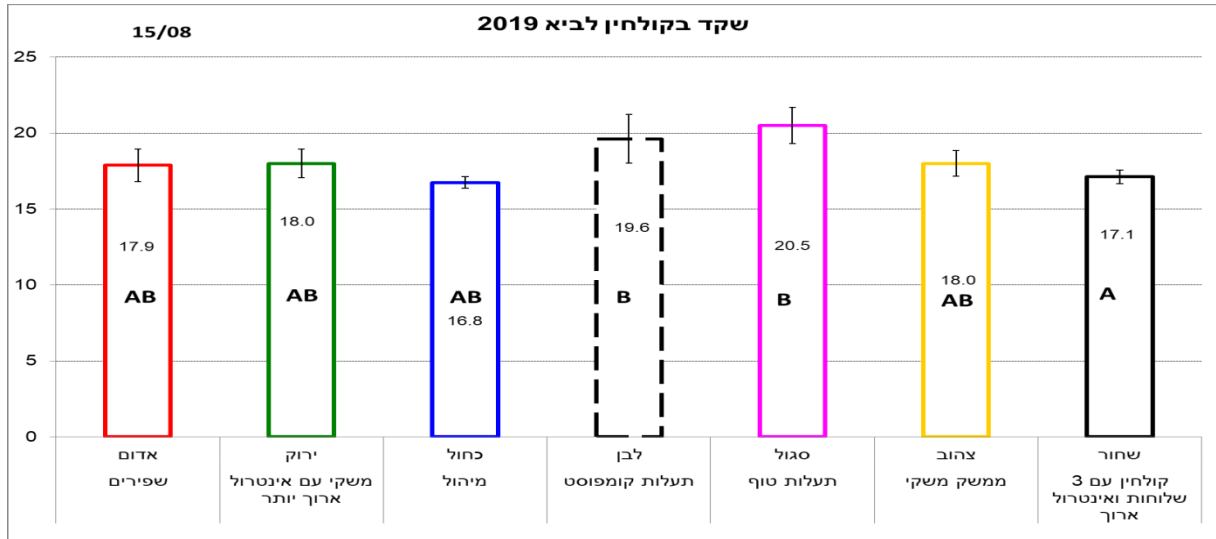
ii. מעקב צמחי

א. תא לחץ: במהלך מרבית עונת ההשקיה לא נמצאו הבדלים מובהקים בקריאות תא הלחץ בעצים של הטיפולים השונים (איור 12). אולם לאחר הניעור נמצאו הבדלים מובהקים בין הטיפולים בשני מועדים המוצגים באיורים 13 ו-14 (t-test). על אף ההבדלים המובהקים לא ניתן להגדיר איזה מגמה קבועה. במועד הראשון (איור 13) הערכים הגבוהים ביותר התקבלו בתעלות הטוף והקומפוסט והערכים הנמוכים בטיפול עם 3 שלוחות ואינטרוול ארוך. במועד השני (איור 14) הערכים הגבוהים התקבלו בטיפולי המים השפירים, המיחול ושני הטיפולים עם אינטרוול ארוך.

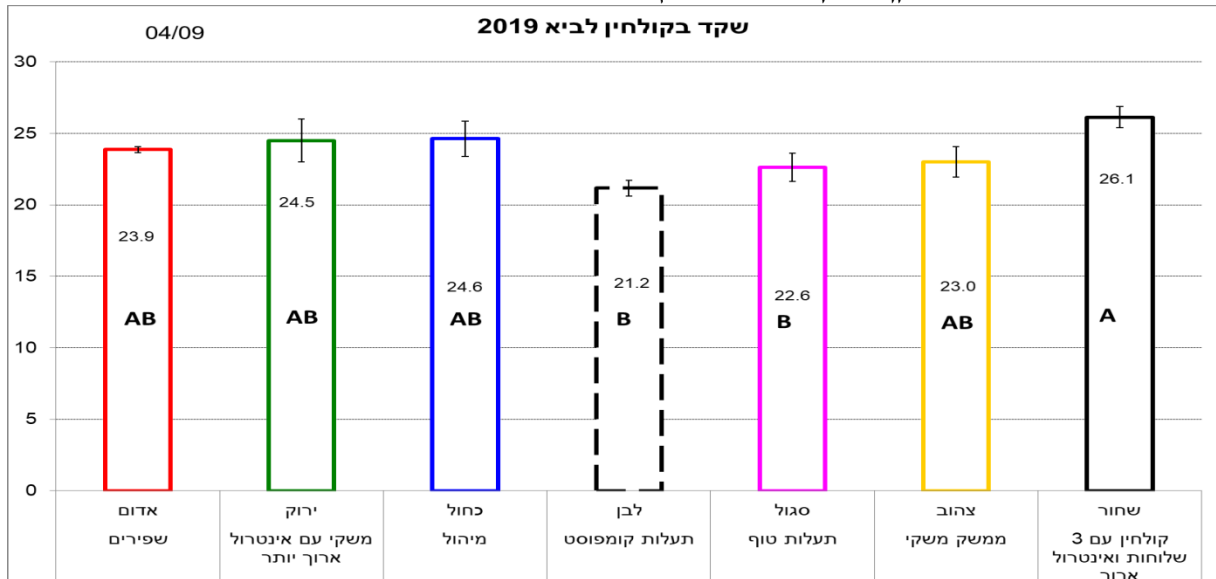
בנוסף, באיורים 15 ו-16 מביאים תוצאות פוטנציאל מים בגזע שנערכו ע"י חוקרי המכון לקרקע. הערכים הם פוטנציאל מים שלילי שמובא כערכים חיוביים, או הלחץ שהתקבל בתא לחץ. המדידות בשני מועדים בסוף יולי מראים שטיפול שפירים עם ערכים יותר שליליים מאשר קולחים, וטיפול 3I עם ערכים בינוניים.



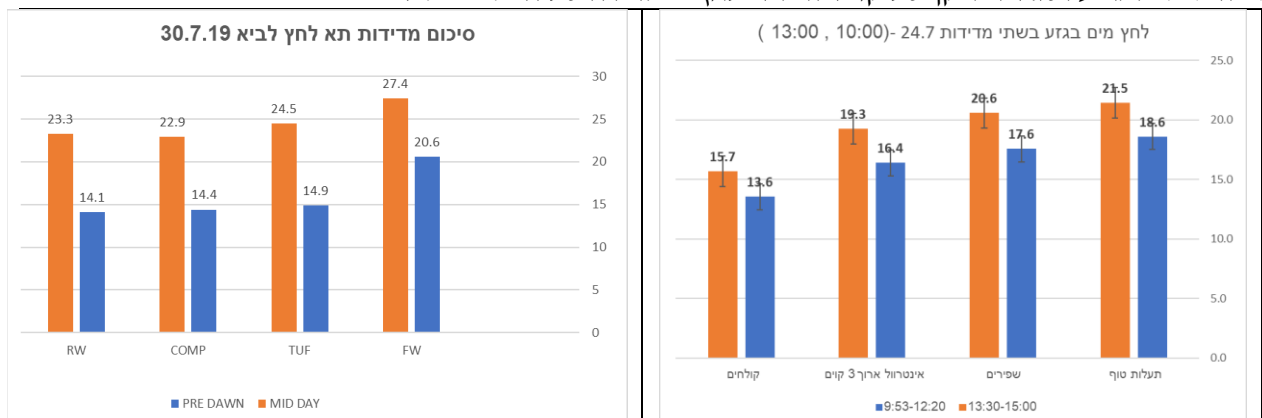
איור 12: השתנות קריאות תא הלחץ בטיפולים השונים - 2019



איור 13: ממוצע ושגיאת תקן של קריאות תא לחץ – מדידה של ה- 15/8/2019



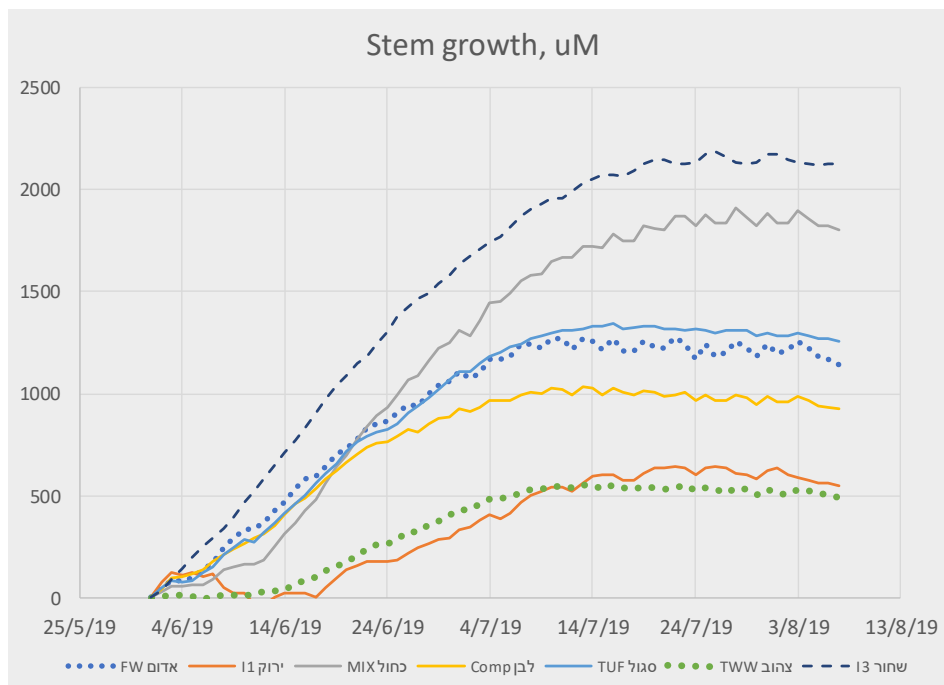
איור 14: ממוצע ושגיאת תקן של קריאות תא לחץ – מדידה של ה- 4/9/2019



איור 16: מדידות תא לחץ לפני הזריחה ובאמצע היום בסוף יולי.

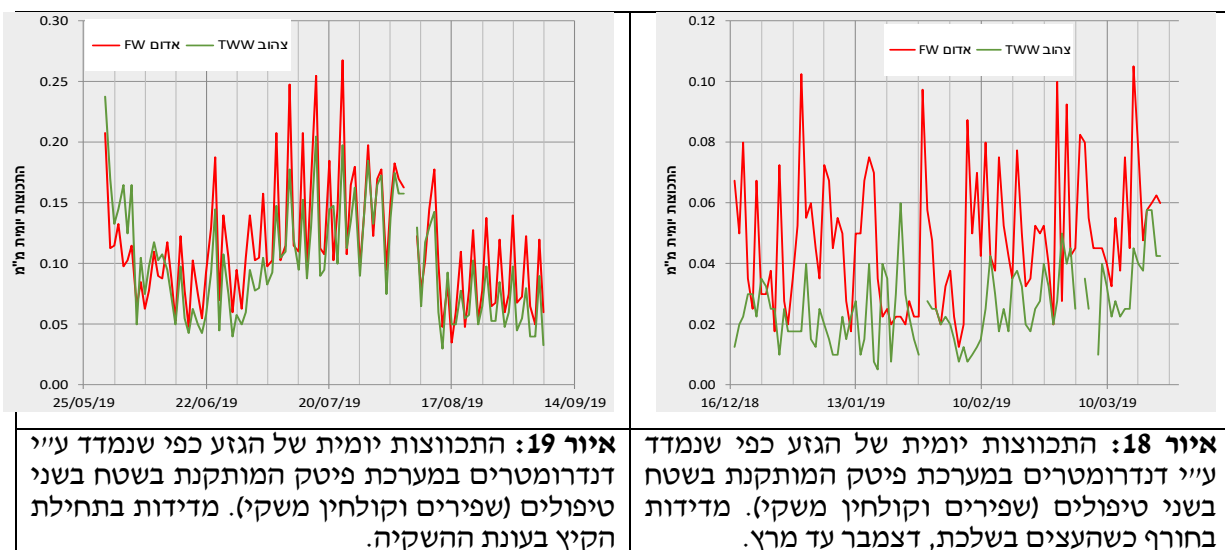
איור 15: שני מחזורי מדידות תא לחץ באמצע היום בסוף יולי.

ב. דנדרומטרים: תוצאות של ניתוח קריאות הדנדרומטרים מוצג באיור 17. התוצאות מראות את עקום גדילת הגזע של הטיפולים השונים מתחילת יוני עד תחילת אוגוסט כפי שנמדדה ע"י הדנדרומטרים של חברת פיטק. בפרמטר זה נצפו הבדלים גדולים בין הטיפולים, כאשר בהשקית קולחין (משקי) ואינטרוול ארוך עם שתי שלוחות הגדילה נמוכה והסתכמה בכחצי מ"מ ובהשקית אינטרוול ארוך עם 3 שלוחות, הגדילה הסתכמה ביותר מ-2 מ"מ. סדר הטיפולים מצמיחה גבוהה לנמוכה היתה $2I, TWW < COMP < FW < TUF < MIX < 3I$. ע"מ לקבוע אם הבדלים אלה מובהקים יידרשו עיבודים נוספים ונצטרך לקבל יותר נתונים הפיטק.

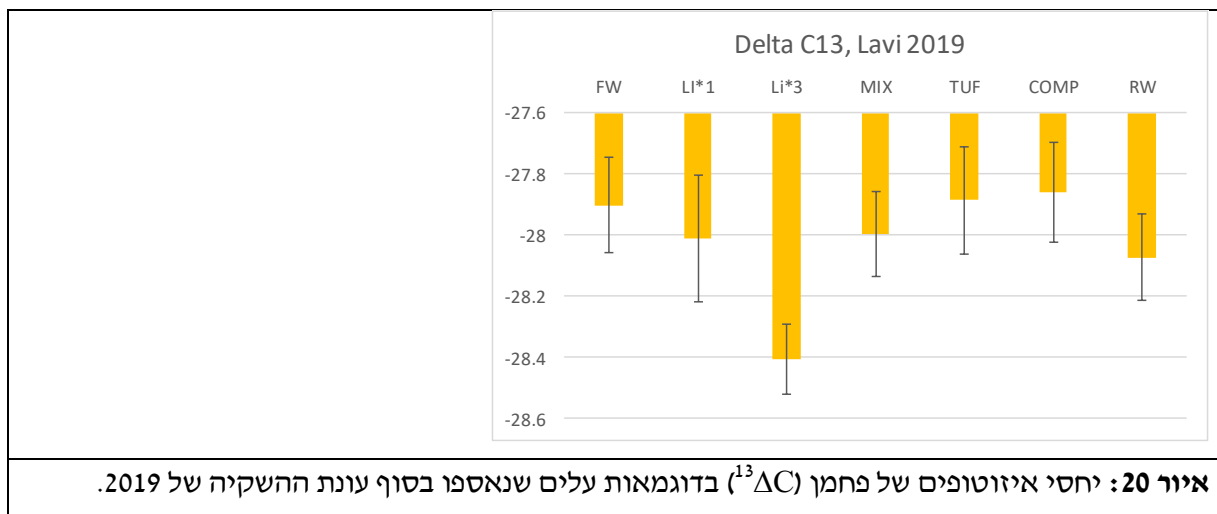


איור 17: גדילת הגזע בטיפולים השונים בעונת ההשקיה העיקרית (יוני עד אוגוסט) כפי שנמדדה ע"י דנדרומטרים של פיטק המותקנים בשטח.

שימוש נוסף של הדנדרומטרים הוא בקביעת התכווצות יומית, כאשר התכווצות גבוהה בד"כ מעידה על עקת מים מסויימת ואו גרעון לחץ אדי מים באוויר גבוהה. איורים 18 ו-19 מראים את ההתכווצות היומית בחורף כאשר העצים בנשירה, ובעונת ההשקיה (יוני עד ספטמבר), בהתאמה. הקווים האדומים מציינים השקיה בשפירים והירוקים הטיפול המשקי, קולחין. ההתכווצות בחורף נמוכה מאוד כמצופה. בשני המקרים ההתכווצות בשפירים יותר גדולה, דבר שאולי מעיד על מצב עקה בשפירים. כמו שצינו קודם, יידרשו עיבודים נוספים לקבוע מובהקות בין הטיפולים השונים.

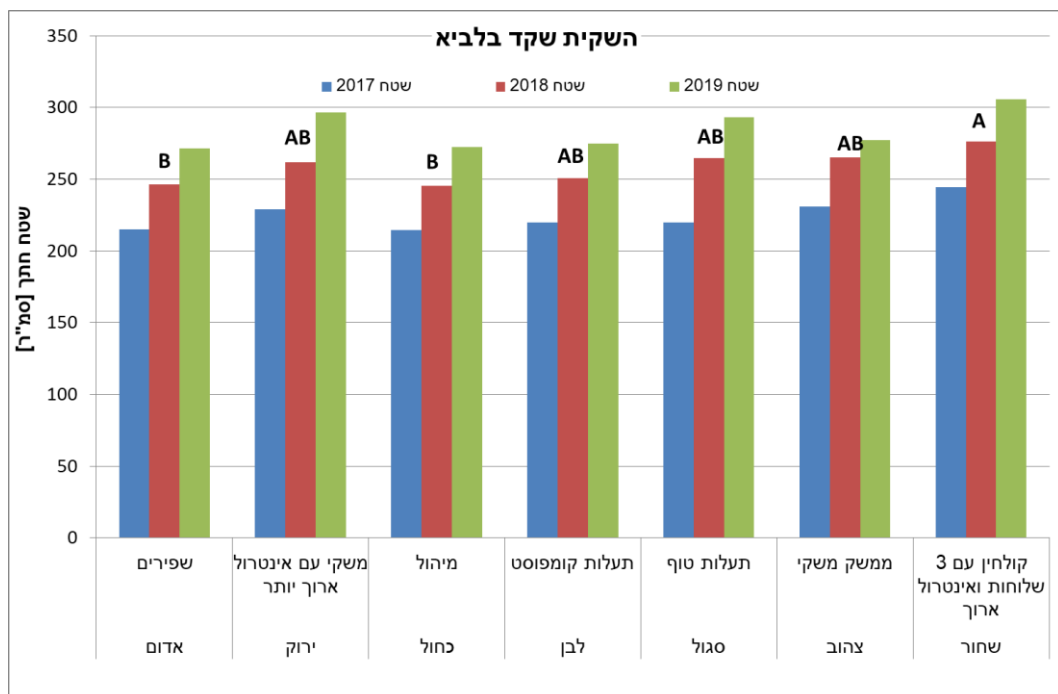


ג. איזוטופים של פחמן: איור 20 מביא תוצאות של יחסי איזוטופים של פחמן ($\Delta^{13}C$) שנמדדו על עלים שנדגמו בסוף עונת ההשקיה. נדגמו עלים חשופים בחלק העליון של הנוף שהתפתחו בעונת ההשקיה. ערכים נמוכים של פרמטר זה מציינים פחות ^{13}C , עדות להימצאות ריכוזים יותר גבוהים של CO_2 בחללים שמתחת לפיוניות בזמן הפוטוסינתזה ופתיחה יותר גדולה של הפיוניות, כלומר מוליכות עלים גבוהה יותר. מדד זה בקורלציה עם יעילות השימוש במים שגדלה עם סגירת פיוניות בזמן הפוטוסינתזה. ההבדלים בין הממוצעים אינם מובהקים במבחן Tukey אבל לפי מבחן T-test אינטרוול ארוך עם 3 שלוחות (LI3) יותר שלילי מטיפולי תעלות קומפוסט וטוף ושפירים, COMP, TUF, ו-FW. במקרה זה התוצאות מתאימות לתוצאות קצב גדילת הגזע וזרימה בגזע, שהייתה גבוהה בטיפול I3.

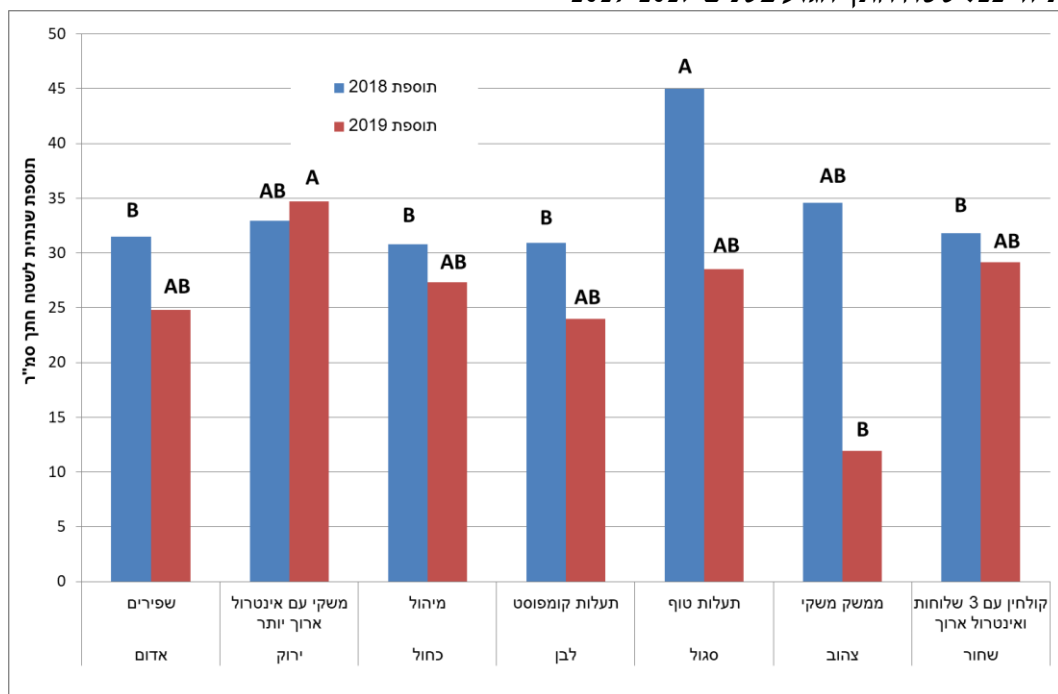


ד. היקף גזע: תוצאות של ניתוח המדידות של היקף הגזע (שטח חתך הגזע) בשלוש שנים של ניסוי מוצגות באיורים 21 ו-22. באיור 21 ניתן להבחין שרק בשנת 2018 היו הבדלים מובהקים בין הטיפולים. בטיפול עם האינטרוול הארוך עם שלוש השלוחות היה שטח הגזע הגדול יותר, כאשר בטיפולי המים השפירים והמיהול היו השטחים הנמוכים יותר. איור 22 מראה שבין השנים 2017-2018 התוספת בשטח חתך הגזע היתה הגדולה

ביותר בטיפול הטוף כאשר ביתר הטיפולים היו ערכים נמוכים יותר. הטיפול במים שפירים והמיהול היו בין הנמוכים ביותר. בין השנים 2018-2019 התוספת הגדולה ביותר התקבלה בטיפול עם האינטרוול הארוך יותר והערך הנמוך ביותר התקבל בטיפול המשקי.



איור 21: שטח חתך הגזע בשנים 2017-2019



איור 22: הפרש בשטח חתך הגזע בין השנים 2017-2018 והשנים 2018-2019

ה. תכולת יסודות בעלים:

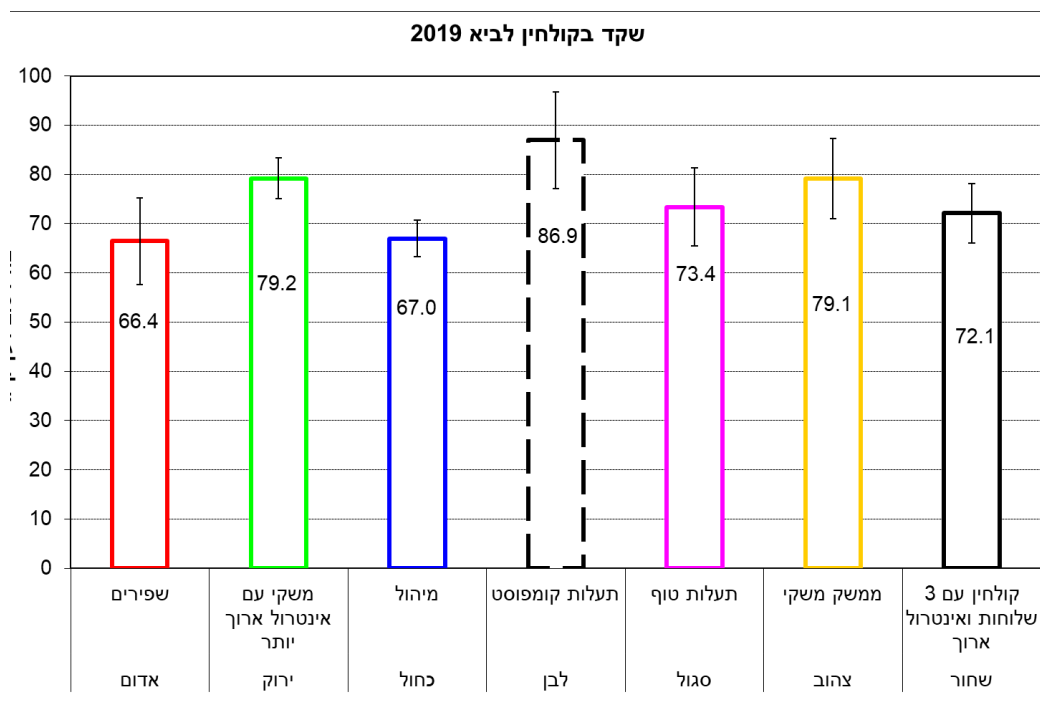
ריכוזי יסודות ההזנה חנקן, זרחן ואשלגן בעלים בקיץ 2019 לא הושפעו מהטיפולים (טבלה 7). ריכוזי החנקן והאשלגן בכל הטיפולים היו גבוהים אף מעל התחום הנחשב רצוי בשקד, 19-25 ו- 10-13 מ"ג/ק"ג, בהתאמה,

וגם ריכוז הזרחן בכל הטיפולים היה בחלק התחתון התחום הרצוי בשקד, 1.2-1.4. גם ריכוז הנתרן בעלים לא הושפע מהטיפולים והיה נמוך יחסית, לעומת זאת, ריכוז הכלוריד היה גבוה בסדר גודל מאשר הנתרן והושפע באופן מובהק מן הטיפולים. בהתאם לצפוי הערכים הנמוכים ביותר נמדדו בטיפולי השפירים והמיהול שהיו נמוכים באופן מובהק מאשר בטיפולי הקולחים עם תעלות קומפוסט והקולחים באינטרוול ארוך. בשאר טיפולי הקולחים ריכוזי הכלוריד בעלים לא היו שונים באופן מובהק מטיפולי השפירים והמיהול וגם לא מטיפולי הקולחים עם תעלות קומפוסט והקולחים באינטרוול ארוך.

טבלה 7: ממוצעים, סטיית תקן וניתוח ANOVA של ריכוזי יסודות ההזנה בעלים ביולי 2019

טיפול		N	P	K	Cl	Na
	מ"ג/ק"ג					
מיהול ממשק משקי	31.9	1.22	22.4	7.4 b	0.64	
קולחים ממשק משקי	30.2	1.16	22.0	9.6ab	0.80	
קולחים עם אינטרוול ארוך יותר	32.0	1.22	23.3	10.6 a	0.66	
קולחים עם 3 שלוחות ואינטרוול ארוך	30.8	1.18	22.0	8.8ab	0.70	
שפירים ממשק משקי	30.2	1.16	21.7	7.0 b	0.88	
תעלות טוף	31.3	1.24	23.3	9.0ab	0.68	
תעלות קומפוסט	28.3	1.16	20.5	11.2 a	0.76	
ניתוח ANOVA	הסתברות לפי מבחן F					
הגורם	ד"ח					
טיפול	6	ns	ns	ns	0.0012	ns
בלוק	4	ns	ns	ns	ns	ns

1. יבול: היבול הרטוב בעונת 2019 מוצג באיור 23. לא נמצאו הבדלים מובהקים בין הטיפולים. אולם בטיפול תעלות הקומפוסט התקבל היבול הגבוה ביותר ובמיהול ובמים השפירים הגידולים הנמוכים ביותר.



איור 23: ממוצע וסטיית תקן של היבול הרטוב על פי הטיפולים בשנת 2019

תכולת יסודות בפרי בפרי נבדקו רק ריכוזים של יסודות ההזנה חנקן, זרחן ואשלגן ולא נבדקו את ריכוזי היסודות נתרן וכלוריד בהנחה שהפגיעה ממליחות גבוהה של נתרן וכלוריד היא בעיקר בעלים ולא בפרי. ריכוזי יסודות ההזנה הללו בפרי לא הושפעו מן הטיפולים (טבלה 8).

טבלה 8: ממוצעים, סטיית תקן וניתוח ANOVA של ריכוזי יסודות ההזנה בפרי באוגוסט 2019

טיפול		N	P	K
			מ"ג/ק"ג	
מיהול ממשק משקי		37.4	4.38	23.5
קולחים ממשק משקי		33.6	3.94	21.2
קולחים עם אינטרוול ארוך יותר		33.2	3.90	20.2
קולחים עם 3 שלוחות ואינטרוול ארוך		35.1	4.09	22.3
שפירים ממשק משקי		34.2	3.99	21.7
תעלות טוף		29.3	3.38	18.4
תעלות קומפוסט		34.8	4.07	22.8
ניתוח ANOVA		הסתברות לפי מבחן F		
הגורם	ד"ח			
טיפול	6	ns	ns	ns
בלוק	4	ns	ns	ns

5. סיכום

הרכב הפאזה המוצקה של הקרקע נבדק בתחילת הניסוי. התוצאות מייצגות יותר את אחידות השטח וההבדל בין הקרקע בין העצים ליד הטפטוף (שכולו היה מושקה בקולחים מהנטיעה עד לתחילת הניסוי) והקרקע במעבר לא מושקה. תכולת הגיר נמצאה בתחום 4.38%-6.5%, ללא הבדל משמעותי בין האזור בין העצים והמעבר, אבל עם עליה בעומק החתך. תכולת החומר האורגני נמצאה בתחום 1.23%-2.02%, ללא הבדל משמעותי בין האזור בין העצים והמעבר אבל עם ירידה בעומק החתך. תכולת החרסית נמצאה בתחום 64.60%-70.13%, ללא הבדל משמעותי בין האזור בין העצים והמעבר ובעומק החתך. תמונה דומה התקבלה לגבי הקק"ח שנמצא בתחום 77.5-83.0 מא"ק/100 ג"ר. ריכוז ואחוז הנתרן הספוח (ESP) היו בתחום 1.0-3.2 מא"ק/100 ג' ו- 1.0-3.9%. כפי שהיה צפוי ריכוז הנתרן הספוח (וכמוהו ה- ESP) היו גבוהים יותר בשכבות 30-60 ו-60-90 ס"מ מאשר בשכבה העליונה 0-30 ס"מ, כתוצאה מהעדיפות בספיחה ליונים הדו-ערכיים שגורמת לדחיקת הנתרן לשכבות עמוקות יותר. במרבית החלקות ריכוזי הנתרן הספוח (וכמוהו ה- ESP) בשכבות 30-60 ו-60-90 ס"מ היו גבוהים יותר ליד העצים מאשר בין העצים, כתוצאה מכך שההשקיה בקולחים שמכילים נתרן הייתה ליד העצים, בעוד שהאזור בין העצים מושפע בעיקר ממי הגשמים.

בדיגום הקרקע שנעשה בסוף עונת הגשמים, לפני עונת ההשקיה השלישית באביב 2019 נעשו אנליזות של הרכב תמיסת הקרקע בחתך מתחת לשלוחות הטפטוף עד עומק 60 ס"מ בכל הטיפולים. ערכי pH של תמיסת הקרקע מתחת לטפטוף לא הושפעו מהטיפולים. ערכי המוליכות החשמלית וריכוזי הכלוריד נמוכים מאוד לעומת הערכים בסתיו 2018 כתוצאה משטיפת המלחים המסיסים על ידי הגשמים. השפעת הטיפולים על המוליכות החשמלית ועל ריכוז הכלוריד הייתה דומה מאוד. ערכי המוליכות החשמלית וריכוז הכלוריד היו בהתאם לאיכות המים, הערכים הנמוכים ביותר התקבלו בהשקיה בשפירים, הגבוהים ביותר בקולחים וביניהם בטיפול של המיהול. בשכבת הקרקע העליונה בשלושה טיפולי קולחים מתקנים, תעלות הטוף והקומפוסט וטיפול האינטרוול הארוך עם 3 שלוחות המוליכות החשמלית וריכוז הכלוריד היו נמוכים מאשר

בממשק המשקי ודומים לשפירים, ואילו בטיפול האינטרוול הארוך עם 2 שלוחות הערכים היו דומים לקולחים.

בכל הטיפולים ריכוז הנתרן וערכי ה-SAR היו גבוהים יותר בשכבה התחתונה מאשר בעליונה. ריכוז הנתרן וערכי ה-SAR לכל אורך החתך מ-0-30 עד 60-90 ס"מ היו תלויים באיכות המים, כלומר הערכים הגבוהים ביותר בקולחים והנמוכים ביותר בשפירים. ריכוזי הנתרן בטיפולי ממשק ההשקיה המתקנים, אינטרוול הארוך עם שתי או שלוש שלוחות היו במצב ביניים בין הקולחים למיהול וטיפול תעלות הטוף היה דומה למיהול. בטיפול הקומפוסט ריכוז הנתרן בשכבת הקרקע העליונה היה נמוך מאשר בשפירים אך בשכבה התחתונה הריכוז היה גבוה בהרבה. ערכי ה-SAR בטיפולים המתקנים על ידי ממשק השקיה (אינטרוול ארוך עם שתיים או שלוש שלוחות) ועל ידי תעלות קומפוסט היו בין המיהול לבין הקולחים ובטיפול הטוף הערכים היו דומים לאלו שבטיפול המיהול.

ריכוזי החנקן הזמין כחנקן ואמון ברוב הטיפולים היו נמוכים באופן משמעותי בשכבה התחתונה מאשר בעליונה חוץ מאשר בשני טיפולי התעלות טוף וקומפוסט וטיפול ממשק ההשקיה באינטרוול ארוך בשלוש שלוחות. ריכוזי החנקן האמוניאקלי היו דומים בשלושת איכויות המים ואילו בריכוז החנקן החנקתי היה מדורג מקולחים, דרך המיהול ועד השפירים. בשני טיפולי התעלות ובטיפול ממשק ההשקיה באינטרוול ארוך עם שלוש שלוחות החנקן הזמין בשתי הצורות היוניות בשכבה העליונה נמוכים מהטיפולים האחרים ואילו באינטרוול הארוך עם שתי שלוחות ריכוז החנקן החנקתי הגבוה ביותר ודומה לטיפול הקולחים המשקי והחנקן האמוניאקלי במצב ביניים בין הקולחים המשקי לבין קולחים באינטרוול ארוך ושלוש שלוחות.

ברוב הטיפולים חוץ מתעלת הטוף הייתה ירידה בריכוז הזרחן מהשכבה העליונה לתחתונה. ריכוז הזרחן הזמין (מיצוי אולסן) בשכבת הקרקע העליונה היה גבוה בקולחים מאשר בשפירים ובמיהול. לעומת זאת בטיפולי הממשק (אינטרוול ארוך) ובתעלות הקומפוסט והטוף ערכי הזרחן הזמין דומים אחד לשני ולטיפולי השפירים והמיהול. בריכוזי האשלגן לא נמצאה מגמה קבועה של שינוי עם העומק ולא נמצאו הבדלים מובהקים ועקביים עם העומק בין הטיפולים.

בחודשים מרץ-מאי מתח המים (20 ס"מ) היה יותר גבוה בטיפולים עם אינטרוול ארוך (עם שתיים ושלוש שלוחות טפטוף). בטיפולי המיהול ותעלות הקומפוסט, ערכי מתח המים בקרקע היו נמוכים מטיפולי האינטרוול הארוך, אבל גבוהים מיתר הטיפולים. המתחים הנמוכים ביותר יתקבלו לגבי הטיפול המושקה במים שפירים. מצב זה יכול להצביע על צריכת מים יותר נמוכה במים השפירים, אבל גם על פילוג שונה של המים בקרקע. ביוני עד סוף יולי, רמת המתחים בכל הטיפולים גבוה בהרבה מהמתחים שנמדדו בתקופה הקודמת. הטיפול המשקי בקולחים מראה את המתחים הגבוהים יותר, כאשר הטיפולים בקולחים המושקים באינטרוולים ארוכים הציגו מתחים נמוכים יותר במקצת. מתח המים בטיפול המושקה במים שפירים היה הנמוך ביותר ואלה של טיפול המיהול היו גבוהים במקצת.

במהלך מרבית עונת ההשקיה לא נמצאו הבדלים מובהקים בקריאות תא הלחץ בין הטיפולים השונים. אולם לאחר הניעור נמצאו הבדלים מובהקים בין הטיפולים בשני מועדים. לא ניתן להצביע על מגמה קבועה. במועד הראשון הערכים הגבוהים ביותר התקבלו בתעלות הטוף והקומפוסט והערכים הנמוכים בטיפול עם 3 שלוחות ואינטרוול ארוך. במועד השני הערכים הגבוהים התקבלו בטיפולי המים השפירים, המיהול ושני הטיפולים עם אינטרוול ארוך.

התוצאות קריאות הדנדרומטרים מראות את עקום גדילת הגזע של הטיפולים השונים מתחילת. בפרמטר זה נצפו הבדלים גדולים בין הטיפולים, כאשר בהשקית קולחים (משקי) ואינטרוול ארוך עם שתי שלוחות הגדילה נמוכה והסתכמה בכחצי מ"מ ובהשקית אינטרוול ארוך עם 3 שלוחות, הגדילה הסתכמה ביותר מ-2 מ"מ. סדר הטיפולים מצמיחה גבוהה לנמוכה היתה $2I, TWW < COMP < FW < TUF < MIX < 3I$.

על בסיס הדנדרומטרים נקבעה התכונות יומית, כאשר התכונות גבוהה בד"כ מעידה על עקת מים מסויימת ואו גרעון לחץ אדי מים באוויר גבוהה. בעונת החורף והקיץ ההתכונות בטיפול במים שפירים ההתכונות הייתה יותר גדולה, דבר שאולי מעיד על מצב עקה בשפירים.

יחסי איזוטופים של פחמן ($\Delta^{13}C$) שנמדדו על עלים שנדגמו בסוף עונת ההשקיה הינם עדות (יחס יותר נמוך) להימצאות ריכוזים יותר גבוהים של CO_2 בחללים שמתחת לפיוניות בזמן הפוטוסינתזה ופתיחה יותר גדולה של הפיוניות, כלומר מוליכות עלים גבוהה יותר. מדד זה בקורלציה עם יעילות השימוש במים שגדלה עם סגירת פיוניות בזמן הפוטוסינתזה. ההבדלים בין הממוצעים אינם מובהקים. הטיפול של האינטרוול ארוך עם 3 שלוחות יותר שלילי מטיפולי תעלות קומפוסט וטוף ושפירים. במקרה זה התוצאות מתאימות לתוצאות קצב גדילת הגזע וזרימה בגזע, שהייתה גבוהה בטיפול האינטרוול הארוך עם 3 שלוחות.

תוצאות של שטח חתך הגזע מראות שרק בשנת 2018 היו הבדלים מובהקים בין הטיפולים. בטיפול עם האינטרוול הארוך עם שלוש השלוחות היה שטח הגזע הגדול יותר, כאשר בטיפולי המים השפירים והמיהול היו השטחים הנמוכים יותר. בין השנים 2018-2017 התוספת בשטח חתך הגזע הייתה הגדולה ביותר בטיפול הטוף כאשר ביתר הטיפולים היו ערכים נמוכים יותר. הטיפול במים שפירים והמיהול היו בין הנמוכים ביותר. בין השנים 2019-2018 התוספת הגדולה ביותר התקבלה בטיפול עם האינטרוול הארוך יותר והערך הנמוך ביותר התקבל בטיפול המשקי.

ריכוזי יסודות ההזנה חנקן, זרחן ואשלגן בעלים בקיץ 2019 לא הושפעו מהטיפולים. ריכוזי החנקן והאשלגן בכל הטיפולים היו גבוהים אף מעל התחום הנחשב רצוי בשקד וגם ריכוזי הזרחן בכל הטיפולים היה בחלק התחתון התחום הרצוי. גם ריכוזי הנתרן בעלים לא הושפע מהטיפולים והיה נמוך יחסית, לעומת זאת, ריכוזי הכלוריד היה גבוה בסדר גודל מאשר הנתרן והושפע באופן מובהק מן הטיפולים. בהתאם לצפוי הערכים הנמוכים ביותר נמדדו בטיפולי השפירים והמיהול שהיו נמוכים באופן מובהק מאשר בטיפולי הקולחים עם תעלות קומפוסט והקולחים באינטרוול ארוך. בשאר טיפולי הקולחים ריכוזי הכלוריד בעלים לא היו שונים באופן מובהק מטיפולי השפירים והמיהול וגם לא מטיפולי הקולחים עם תעלות קומפוסט והקולחים באינטרוול ארוך. גם לגבי ריכוזי היסודות בפרי לא נמצאו הבדלים בין הטיפולים.

ביבול הרטוב בעונת 2019 לא נמצאו הבדלים מובהקים בין הטיפולים. אולם בטיפול תעלות הקומפוסט התקבל היבול הגבוה ביותר ובמיהול ובמים השפירים הגידולים הנמוכים ביותר.

בשלב זה לא התקבלו השפעות שליליות של השקיה בקולחים לעומת שפירים על העצים (צימוח, יבול ובמדדים פיזיולוגים כולל מצב המים בעץ והולכת מים דרכו), כנראה בגלל שהתגובה של העצים איטית; בניסויים קודמים, למשל באבוקדו בעכו, אשכוליות במזרע, הבדלים מובהקים במדדים הללו, במיוחד יבול פרי, בין השקיה בקולחים לשפירים נמדדו רק אחרי 5 עד 8 שנים מתחילת הטיפולים הדיפרנציאליים.

6. רשימת ספרות:

Bardhan, G., D. Russo, D. Goldstein and G.J. Levy, 2016. 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.
- Salgado, 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 בקיבוץ לביא

