

שנת מחקר 1 מתוך 3 שנים

בחינת 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'יצקי, (tarchitz@agri.huji.ac.il), מו"פ צפון, 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 – המחלקה לביוולוגיה מולקולרית ואקולוגיה של צמחים, 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. אגרוטמטאורולוגיה.
דוד רוטו – המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מנהל המחקר החקלאי, vwrosd@volcani.agri.gov.il, מודל תלת מימדי
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
יהונתן אפרת – המכונים לחקר המדבר ע"ש יעקב בלאושיין שדה בוקר, אוניברסיטת בן גוריון, yonit@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

מטרת המחקר הכללית הינה מציאת מענה לתופעת הפגיעה במטעים המושקים בקולחים בקרקעות כבדות. במהלך השנה הראשונה של המיזם הוקמה חלקת הניסוי במטע האבוקדו של קיבוץ יסעור. בחלקה 5 טיפולים ב- 6 חזרות באקראיות גמורה. בטיפולים נבחנו פתרונות אגרוטכניים למניעת או מזעור ההשפעות השליליות של ההשקיה בקולחים בקרקעות עם תכולת חרסית גבוהה. נערכו בדיקות מים וקרקע. הותקנו חיישני לבדיקת רטיבות הקרקע, ריכוזי החמצן בקרקע ומדידות של פוטנציאל רדוקס. בצמח נבדה תכולת המינרלים באברים שונים, זרימת המים בעץ, התפתחות שורשים, תא לחץ והיבול והרכבו. כמו כן, נבנה מודל לבחינת הסעת מים במומסים בקרקע. התוצאות בדיקות הקרקע מדיגום סתווי מראות השפעה מזיקה של ההשקיה בקולחים על מספר תכונות הקרקע. ריכוזי החמצן בבית השורשים בעומק 35 ס"מ היו נמוכים ודומים בטיפולים שהושקו בממשק רגיל בכל איכויות המים שנבדקו. לעומת זאת בטיפול תעלות האוורור (טוף) נמדדו ריכוזי חמצן גדולים באופן ניכר. ערכי רדוקס בעומק 35 ס"מ עדיין ראשוניים להבחנה של השפעות הטיפולים. תוצאות המחקר, המוגבלות לעונת השקיה אחת, מראות שנוכחות תעלות האוורור משפיעה על פירוס הרטיבות והמליחות ורמת האוורור בקרקע, ולכן על קליטת המים ע"י שורשי העצים. לעומת זאת השפעת תעלות האוורור על רמת ספיחת הנתרן בקרקע, ולכן על המוליכות ההידרולית של הקרקע, יחסית נמוכה. המדידות הפיזיולוגיות בעצים בשנת המחקר הראשונה מראים באופן ברור את הירידה בכושר תובלת מים בעצים בטיפול עם התעלות בזרימה בגזע וגם בשורשים. מדידות שורשים בעזרת שיטת המיני-ריזוטרון הניבו תמונה ברורה של הבדלים בהתפתחות שורשים בטיפולים השונים המאשרים שהשורשים הינם האיבר הכי רגיש, לפחות בטווח הקצר.

המסקנה ממצאי בדיקת ריכוז המינרלים בעץ היא שאבוקדו נמנה על המינים שמסוגלים למנוע הגעת יוני נתרן לעלים יתכן שע"י דחיקת נתרן מהשורש בחזרה לקרקע אך גם ע"י מידור הנתרן ברקמות השורש והגזע.
במהלך השנה הראשונה של הפעלת הטיפולים במיזם לא נמצאו הבדלים בפוטנציאל המים בעץ וגם לא ביבול (משקל הפרי, מספר הפירות ומשקל פרי ממוצע).

מעריכים מומלצים לבדיקת הדוח המדעי:

1. פרופ' אבי שביב

2. פרופ' בני חפץ

3. ד"ר אדולפו לוין

מרץ 2017

אדר תשע"ז

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



חתימת החוקר:

תוכן עניינים

1	תקציר
2	מבוא ותיאור הבעיה
5	מטרות המחקר
6	חומרים ושיטות
13	תוצאות
40	סיכום ודיון
41	רשימת ספרות
43	נספח

1. מבוא ותיאור הבעיה: הקולחים מהווים 35% מכלל מי ההשקיה בחקלאות ישראל. בצפון הארץ (גליל, גולן והעמקים) גדלים 448 אלף דונם מטעים וחלק 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. נתוני סקר הקולחים ומחקרים שבחנו את השפעת ההשקיה בקולחים במטעים, מצביעים על תרחיש משותף: שינויים מהירים יחסית ומשמעותיים במדדי קרקע כמו הצטברות מלחים ועליה ב-SAR ובריכוז יסודות הזנה. עיקר ההשפעות השליליות של השקיה בקולחים היו בקרקעות כבדות. בשנים האחרונות, מסתמנת במטעים מושקים בקולחים הנטועים בקרקעות כבדות, מגמה ברורה של פגיעה בביצועי העצים לאורך הזמן ונמצא כי לאחר מספר שנות השקיה בקולחים התפתח נזק עם ביטוי חזותי בולט, הקטנת מידת הכיסוי העלוותי, לעיתים צריבות והתנוונות ענפים, וכן מגמה של ירידה ביבול, ולפעמים גם בגודל הפרי. בחלק מהמחקרים הובחן הבדל במצב המים בעץ: פוטנציאל המים בגזעי אבוקדו המושקים בקולחים היו שליליים יותר מאשר בעצים המושקים במים שפירים. הירידה בפוטנציאל המים בעצים מצביעה על פגיעה בכושר קליטת המים, אשר יכולה לנבוע מפגיעה בתכונות ההידראוליות של הקרקע, או מפגיעה בכושר קליטת המים בשורשים והולכת המים בעץ. ירידה במוליכות ההידראולית של הקרקע בחלקות מושקות בקולחים, בהשוואה לקרקעות מושקות בשפירים, דווחה במדידות מוליכות ההידראולית ברוויה בדגימות קרקע מופרות. אולם נראה כי הירידה בכושר הולכת המים בקרקע אינה מסבירה את מלוא הפגיעה במטע ולא ברור אם הפגיעה בעצים נובעת רק מהפגיעה במוליכות ההידראולית בקרקע, או שהפגיעה העיקרית היא ברמת הצמח – פגיעה בפעילות השורש הבודד, בצפיפות השורשים, או במערכת הקליטה וההולכה בתוך העץ. ייתכן גם צירוף של כמה גורמים, ותיתכן פגיעה עקיפה. כך למשל, פגיעה ישירה בצמיחת השורשים עלולה להתרחש עקב השפעת הקולחים על תנאי הסביבה בקרקע: הרכב המומסים וריכוזם, רעילות מהיווצרות ריכוזים ארעיים גבוהים של ניטריט, ירידה בזמינות החמצן ופגיעה בנשימת השורשים, וכד'. אפשרות אחרת היא של פגיעה עקיפה בצמיחת השורשים – פגיעה בתפקוד השורשים, למשל בקליטת המים, או הצטברות של יסודות, למשל כלוריד, עד רמה רעילה בעלים, יכולים להתבטא בעיכוב בצימוח הנוף ובהקטנת פעילותו הפוטוסינתטית, ועקב כך לירידה באספקת פחמימות לצמיחת שורשים.

רוב המחקרים בארץ התרכזו בעיקר במדידות קרקע שנעשו בשתי עונות, באביב ובסתיו. התוצאות ממדידות אלו הן אינטגרציה של תהליכים רבים שהתרחשו בקרקע במהלך עונת ההשקיה ובמהלך השטיפה ע"י גשמי החורף, והן מהוות צילום מצב בשתי נקודות הזמן. במחקרים שבצענו בשנים האחרונות בחנו את ההיפותזה שנוזקים שנצפו עקב השקיה בקולחים נגרמו מאירועים רגעיים או זמניים מאוד (בפרקי זמן של שעות או ימים בודדים) שבהם נוצרו תנאים קיצוניים בקרקע – תנאים שעלולים להזיק לעץ, לפגוע בתהליכים בסיסיים המשפיעים על גידולו או על היבול (התמיינות לפריחה, הפרייה, חנטה וכו'). היה חשש שתהליכים מסוימים בקרקע, אשר הינם קצרי-מועד ואינם נמדדים בדרך כלל (כגון היווצרות תנאים אנארוביים רגעיים, ירידה קצרת מועד של ריכוז החמצן ותמותת שורשים, עליה חולפת בריכוז ניטריט, ועוד), גורמים למצבי עקה רגעיים שהשפעתם נמשכת גם לאחר העלמות גורם העקה. שינויים במבנה הקרקע ופגיעה בתכונות ההידראוליות שלה עלולים להתרחש גם בקרקעות חוליות, אבל מצבים קיצוניים, בעיקר של חוסר אוורור בסביבת השורש, יהיו נדירים יותר ויתקיימו למשכי זמן קצרים יותר, ולכן לא אובחנה פגיעה דומה בעצים מושקים בקולחים בקרקעות קלות. גם לגבי המדידות הצמחיות, בדיקה אחת בעונה של הריכוז בעלים או שקילת היבול ומיונו מהווים אינטגרציה של אירועים מצטברים בעץ במהלך העונה ולא ברור באיזה שלב בין ההתמיינות לפריחה לבין

הבשלת הפרי, חלה הפגיעה ביבול, או מה הגורם או הגורמים פגיעה בעצים המושקים בקולחים. במחקרים במסגרת המיזמים שבצענו הושם דגש, בנוסף לבדיקות המעקב הנהוגות עד כה, על מדידות רציפות בקרקע ובצמח לאורך העונה על מנת לאתר את הגורמים הישירים לפגיעה וכדי לזהות את התקופה הרגישה בה נגרמת הפגיעה בעצים בהשקיה בקולחים (טרציצקי ואח', 2015; בר-טל ואח', 2015).

בניסוי השקיה רב שנתי בקולחים בכרם ענבים באזור לכיש נמצא שהתפלגות המלח בקרקע תואמת רק באופן חלקי את פיזור מערכת השורשים, שכן השורשים מתחילים לצמוח באביב המוקדם, לפני תחילת ההשקיה, ואורכם של שורשים רבים חורג באופן ניכר מהנפח המורטב הסמוך לקו הטפטוף. למרות זאת, במהלך העונה המים נקלטים בעיקר בסמוך לטפטפת (שוורץ ואח', 2009; Netzer et al., 2010). למרות התנודתיות העונתית בריכוז הנתרן בקרקע, ולמרות שהעלווה של הגפן מתחדשת מידי אביב, הסתמנה בעלים עלייה עקבית בריכוזי הנתרן והכלור מעונה לעונה. העלייה המהירה של ריכוז הנתרן בעלים הצעירים מיוחסת להעברה מהחלקים הרב שנתיים של הגפן, הגזע והענפים, אל העלים. בניסוי הרב שנתי בגפן נמצא כי בחינה של ריכוז המלחים ברקמות הרב שנתיות מספקת תמונה אמינה על התפתחות תנאי עקת מלח בצמח כולו, ולכן בדיקת ריכוז הנתרן ברקמות הקבועות של העץ חשובה ומאפשרת לצפות מתי יגיעו ריכוזים אלה לסף רעיל מבחינת העץ. הרכב היסודות בעצה עשוי לספק מידע על תהליכים המתרחשים בטווח זמן ארוך, ואילו דגימות של מוהל עצה עשויות לספק מידע על שינויים קצרי מועד בהרכב היונים המוסעים בעצה.

בשני מיזמים שנערכו בשנים 2012-2014 (טרציצקי ואח', 2015; בר-טל ואח', 2015) נבחנו המנגנונים המשפיעים על המטעים המושקים בקולחים לעומת אלו המושקים במים שפירים בקרקעות כבדות. בשני המחקרים נבחנו מספר פרמטרים קרקעיים וצמחיים באופן רציף ונעשה מאמץ להבנת התהליכים הגורמים לנזק.

במיזם שבדק את השפעות הקולחים במטע אבוקדו בגליל המערבי ובמטע אגס בראש פינה (טרציצקי ואח', 2015; Yalin et al., 2017) נמצא שקיים הבדל בגורמי המליחות בקרקע בין טיפולי הקולחים לשפירים. 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. בשני המטעים נמצא קשר הדוק בין רטיבות הקרקע לבין ערכי הרדוקס שנמדדו לאורך שנתיים רצופות בבית השורשים, אך בעוד שבאבוקדו ערכי הרדוקס הנמוכים יותר התקבלו בטיפול הקולחים, באגס לא נמצא קשר לסוג המים. בשני הגידולים לא נמצא קשר בין הפגיעה בעצים לבין עליה בריכוזים של היסודות המושפעים באופן ישיר (Fe, Mn) או עקיף (P) מהיווצרות תנאי חיזור בקרקע. גם הריכוזים הגבוהים של יסודות (Na, B ו- Cl) בקולחים לא היוותה כנראה גורם פגיעה ישיר בצמח. גורם מבחין בין שני הטיפולים הוא ריכוז הנתרן והכלוריד בחלקי העץ התחתונים. בשני המינים נמצאו ריכוזי נתרן וכלוריד גבוהים יותר בטיפול הקולחים. הבדל בולט ניכר בין שני המינים בתנועת שני היסודות אל חלקי העץ העליונים – באבוקדו תפקדו חלקי העץ התחתונים כחסם בפני תנועת נתרן, אך לא כלוריד, אל חלקי העץ העליונים, ואילו באגס הם שמשו כחסם לתנועת כלוריד, אך לא נתרן. לגבי ריכוז שני היסודות באיברים התחתונים של העץ, לא קיימים ערכי ייחוס מקובלים. 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 (לא נצפתה עליה בריכוז המנגן ולא נצפו שינויים אחרים האופייניים לתמיסת קרקע שעוברת תהליכי חיזור), אולם יחסי נתון-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 נתון. בהתאם להסבר זה, ריכוז הנתון הגבוה בחלקי העץ התחתונים הינו גורם מצטבר שמביא לפגיעה בתפקוד הפיזיולוגי של רקמות העץ בחלקי הצמח התחתונים ועקב כך לפגיעה בעץ כולו. בעוד שבעצי האבוקדו נמצאה פגיעה מסוימת במערכת השורשים בחלקות הקולחים, במטע האגס לא נמצאה מגמה זו. ההבדל בתגובת העצים נובע כנראה מהבדלים פיזיולוגיים בין המינים.

במיזם השני שהסתיים לאחרונה נחקרה השפעת ההשקיה בקולחים לעומת השקיה במים שפירים על עצי הדר (אשכולית) בקרקע כבדה (בר-טל ואח', 2015). המיזם כלל שלושה חלקים: (1) ניסוי בפרדס אשכולית במזרע; (2) ניסוי ליזימטרים בטכניון; ו-3) סימולציה של תנועת מים ומומסים במודל קרקע מרחבי. בניסויים בפרדס ובליזימטרים 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. יכול 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 יכול 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.

סימולציות בעזרת מודל מתמטי הצביעו על כך שהמשך השקיה בקולחים יגרום לעליה גדולה בריכוז המלחים בקרקע בסביבת השורשים, דבר שיוביל לירידה בקליטת המים ע"י העצים. כמו כן הראה המודל כי ניתן לשמור על ריכוז מטרה של מלחים בסביבת השורשים ע"י הפחתה של ריכוז המלחים בקולחים לערך נמוך יותר, בהתאם לריכוז המטרה שנקבע.

מסקירת הספרות עולה שזקקים למטעים המושקים בקולחים עלולים לנבוע או (1) מבעיית מליחות הפוגעת בעצים בגלל הפוטנציאל האוסמוטי של המים, או (2) מרעילות ספציפית של יונים ויסודות (Cl, Na, B) הנמצאים בריכוז גבוה, או (3) מבעיית אוורור והולכת מים הנובעת מפגיעה במבנה הקרקע כתוצאה מעודף נתון (ערכי SAR גבוהים). אולם תוצאות שני המיזמים שתוארו והעובדה שעיקר הפגיעה מופיעה דווקא בקרקעות כבדות, ולא בחוליות, מעידות ככל הנראה שהגורם הדומיננטי הינו הגורם השלישי, או שילוב שלו עם שני הגורמים האחרים, וכן עם הגברת נשימת הקרקע כתוצאה מתכולת החומר האורגני שבקולחים. הפגיעה במשטר האוורור, יחד עם הגברת נשימת הקרקע, מביאה לירידה בריכוז החמצן, להתפתחות תנאים מחזרים בבית השורשים ולפגיעה בפיזיולוגיה של מערכות הקליטה

של מים ויסודות הזנה בשורשים, וכן לפגיעה בסלקטיביות הקליטה ובהימנעות מקליטה או הולכה של יסודות מזיקים – כלוריד ונתרן. על בסיס זה מושם דגש בניסוי הנוכחי על שיפור משטר האוורור בבית השורשים כדרך עיקרית למניעת הנזק, או להקטנתו. בנוסף נבדקת השפעה של שיפור באיכות המים.

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 הטיפול 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. בנוסף אנו מניחים שלכנות שונות יש עמידות שונה לקולחים כפי שידוע לגבי עמידות למליחות ולתכונות קרקע (גיר, pH ואוורור). 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.

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 בחד 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 הטיפולים 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. נבחים 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 'יונירעס' 0.7 או 1.6 ל"שעה במרווח של 0.3 מ' - 'נטפים'. ההשקיה תוכננה במטרה ליישם את אותה כמות מים בכל הטיפולים, אם כי בגלל טעות, הטיפול של שינוי משטר ההשקיה בקולחים (LFI) (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
1.6\2 ל"ש'	TWW	קולחים	שלוש פעמים בשבוע	השקיה משקית
1.6\2 ל"ש'	FW	שפירים	שלוש פעמים בשבוע	השקיה משקית
1.6\3 ל"ש'	LFI	קולחים-ממשק השקיה	פעמיים בשבוע	אינטרוול ארוך
0.7\4 ל"ש'	MIX	קולחים-שפירים	שלוש פעמים בשבוע	50% קולחים ו-50% מים שפירים כל שלוחה הינה חיבור של 2 שלוחות של טפטפות 0.7 ל"שעה
1.6\2 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, 2016.

כמות מים [מ"קד']	טיפול	
	קוד	סוג מים
890.7	TWW	קולחים
883.1	FW	שפירים
996.6	LFI	קולחים-ממשק השקיה
קולחים= 433.5 + שפירים= 442.6 - סה"כ= 876.1	MIX	קולחים-שפירים
880.6	TUF	קולחים-תעלות אוורור

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			
56.6	10.0	32.3	44.1	10.0	7.0	12.5	--	25.3	12-0-6	קולחים	TWW
19.0	---	19.0	---	---	---	19.0	--	19.0	8-0-8	שפירים	FW
64.4	11.2	38.0	49.4	11.2	7.9	15.0	--	30.1	12-0-6	קולחים –ממשק השקיה	LFI
28.0	4.9	16.9	21.5	4.9	3.4	6.5	--	13.5	12-0-6	קולחים	MIX
10.0	---	9.6	---	---	---	10.0	--	9.6	8-0-8	שפירים	
38.0	4.9	26.5	21.5	4.9	3.4	16.5	--	23.1		סה"כ	
56.1	9.9	32.0	43.6	9.9	7.0	12.5	--	25.0	12-0-6	קולחים-תעלות אורור	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

גפרה	דו-פחמה	בורן	SAR	סידן+מגניון	נתרן	כלוריד	מוליכות	pH	
מ"ג/ל'	מא"ק/ל'	מ"ג/ל'		מא"ק/ל'	מ"ג/ל'		דצ"ס/מ'		יחידות
3	3	0.053	0.73	7.4	32.2	107.1	0.79	7.9	שפירים
78	4	0.1	3.95	8.4	186.3	249.4	1.62	8.2	קולחים

אשלגן	זרחן	N קלדהל	N אמוני	N חנקתי	COD	BOD	TSS	
מ"ג/ל'								יחידות
2.7	----	----	----	3.4	----	----	----	שפירים
41.3	5.1	2.8	0.2	7.3	44.5	14	31	קולחים

ג. מעקב בקרקע

- קביעת הרכב הפאזה המוצקה והמומסת:** מטרת הפעילות במהלך השנה הראשונה הייתה לאפיין את תכונות הקרקע (פאזה מוצקה ומומסת) טרם התחלת הפעלת הטיפול הנבחנים בכדי שיהיו בידינו נתוני בסיס על תכונות הקרקע בזמן תחילת הניסוי (זמן אפס).
דיגום הקרקע בוצע ב- 5 חלקות (A2, A5, C2, E2, E3). הדיגום בוצע במהלך חודש יוני 2016. מאחר והדיגום בוצע לאחר התחלת עונת ההשקיה החלקות שנבחרו לדיגום כללו רק טיפולים בהם השתמשו בקולחים להשקיה. בכל חלקה בוצעו שני דיגומים, אחד בתוך שורת העצים לייצוג השפעת השקיה בקולחים על הקרקע, והשני בחצי המרחק בין שתי שורות עצים סמוכות בכדי לייצג דוגמת קרקע, שהנחנו, שלא נחשפה להשקיה ולכן אמורה לייצג קרקע שלא נחשפה למי קולחים. כל דיגום כלל בור אחד לעומק 120 ס"מ ממנו נלקחו 4 דוגמאות קרקע משכבות 0-30, 30-60, 60-90, 90-120 ס"מ. סה"כ נלקחו ונבחנו 40 דוגמאות קרקע. בדיקות הקרקע כללו:

- i. פאזה מוצקה: הרכב מכני בשיטת ההידרומטר (כמקובל) ושיטת הלייזר (Eshel et al., 2004); קיבול והרכב קטיוניים חליפיים וחישוב ESP ו-EPP; תכולת גיר בשיטת הקלצימטר; תכולת פחמן אורגני וחנקן כללי תוך שימוש במכשיר CN אנלייזר; יציבות תלכידים תוך שימוש במכשיר לייזר (Levy et al., 2017); מוליכות הידראולית ברוויה בדוגמאות מופרות. דוגמאות קרקע נארזו בעמודות פרספקס, הורו מלמטה במי ברז ובתום ההרוויה נשטפו מלמעלה במים מזוקקים ובעומד קבוע. הבדיקה בוצעה בדוגמאות מעומק 0-30 ס"מ בלבד.
 - ii. פאזה מומסת (בדיקות בוצעו במיצוי מים: קרקע של 2:1): מוליכות חשמלית (EC) ו-pH, הרכב קטיוניים וחישוב SAR ו-PAR, כלוריד, וריכוז פחמן אורגני ואי-אורגני.
2. מעקב אחר רטיבות הקרקע: המטרה בתחום זה בשנה הראשונה הייתה הקמת מערך ניטור לרטיבות קרקע במטע האבוקדו. לצורך כך הוצבו חיישני TDT מתוצרת Acclima אשר מודדים תכולת רטיבות. 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:
- 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.
 - בטיפול E (תעלות טוף, TUF) הוטמנה רביעיית חיישנים בשורות 18 ו-21 עפ"י הפירוט הנ"ל. בנוסף, בשורה 21 הוטמנה רביעיית חיישנים נוספת כמטר בכיוון המעבר בין השורות, וכן הוטמנו שני חיישנים בתוך תעלת הטוף (בקירוב בעומקים של 10 ו-30 ס"מ מתחת לפני הקרקע).
- כל החיישנים הוטמנו וחוברו לשני אוגרי נתונים במהלך חודש נובמבר 2016.
3. מדידות פוטנציאל חמצון חיזור ורמות חמצן בבית השורשים:
- i. 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 חרסיתיות 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.

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

אזור:

i. **מטרות המחקר בשנה הראשונה:** (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 אזור לאורכן, תוך התחשבות בהשפעת פרוס תכולת האוויר בקרקע על קליטת המים ע"י שורשי העצים; ו- (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 המלא את תעלות האזור.

ii. **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 אזור 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 הנומרית ששולבה עם פרוצדורה איטרטיבית לקביעת אזורי איגום בפני הקרקע (הנוצרים בסמוך לטפטפות, או במהלך גשם/המטרה בעוצמות יחסית גבוהות), מתכנסת ויציבה בלתי-מותנית עבור משואת הדיפוזיה 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 רווים, מאידך.

בניתוח נלקחו בחשבון תכונות כימיות ופיסיקליות של הקרקע והשתנותן במרחב, שיטת ההשקיה, משטר ההשקיה, איכות מי ההשקיה, נתונים מטאורולוגים (גשם, התאדות), וקליטת מים ע"י שורשי העצים. האנליזה הנומרית 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.

iii. **שיטות:** להשגת מטרות המחקר התייחסנו לחלקת מטע אבוקדו הנטוע על גודדיות (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 הגודדית. המרחק בין הטפטפות לאורך השלוחות הוא 30 ס"מ וספיקת הטפטפות 1.6 ליטר/שעה. מרכזיהן של שתי תעלות אזור הממוקמות לאורך הגודדית נמצאים במרחק 90 ס"מ אחד מהשני ו- 45 ס"מ ממרכז הגודדית. 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) שממדיו האופקיים 15 מ' X 7 מ' ועומקו 3 מ'.

בשלב הראשון של עבודת המחקר נבחנה היכולת של הסכימה הנומריית לדמות זרימת מים והסעת מומסים באזור הזרימה תוך התחשבות בתנאי התחלה ושפה הרלבנטיים להתאדות והשקיה במטע האבוקדו ביסעור. לשם כך נעשה ניתוח של זרימת מים, והסעה של תמיסת נתרן/סידן כלורי בקרקע הטרוגנית רוויה/בלתי רוויה עם פירוס נקבובים בי-מודלי. הניתוח התחשב באינטראקציה זורם-קרקע והשפעתה על תכונות ההולכה של הקרקע ועל הסעת מומסים במהלך השקית המטע עבור המקרה בו זרימת המים תלויה בהסעת המומסים באמצעות התלות של התכונות ההידרוליות של הקרקע בריכוזי המומס והרכבו, וקליטת המים ע"י שורשי העצים מושפעת מפוטנציאל מי הקרקע ומרמת האוורור בבית השורשים.

בניתוח זרימת המים והסעת המומסים נלקחו בחשבון תרחישים מציאותיים של ממשקי השקיה, התאדות פוטנציאלית, ונוכחות שורשי העצים. מכיוון שהפונקציות ההידרוליות של הקרקע באתר הניסיוני לא נאמדו עדיין, בשלב זה של העבודה נעשה שימוש בפונקציות ההידרוליות של קרקע חרסיתית עם תלכידים מפרדס מזרע (Russo et al. 2015, Bardhan et al. 2015) (2015) לתיאור מקומי של התכונות ההידרוליות במצב "יציב". בנוסף, פרופילים של תכולת הריטבות, ריכוזי כלוריד, נתרן וסידן בתמיסת הקרקע ואחוז נתרן חליף בקרקע מפרדס מזרע בסוף עונת הגשמים (Russo et al. 2015), 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 האופורטרנספירציה הפוטנציאלית שנלקחו בחשבון היו 806 מ"מ ו-690 מ"מ, בהתאמה. נבחנו שלושה תרחישים: (1) מקרה ייחוס הכולל את הקרקע המקומית בלבד, (2) הקרקע המקומית כוללת תעלות אוורור הממולאות בטוף, ו- (3) הקרקע המקומית כוללת תעלות אוורור הממולאות בחול. התכונות ההידרוליות של הטוף והחול מוצגות ב- (Russo et al. 2008).

ד. מעקב צמחי

1. צריכת מים של עצים: צריכת מים (זרימה בגזע) נמדד ב-10 עצים בכל טיפול. המדידות 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 בשני חלקות מכל טיפול. מרחק בין חיישן מחומם ללא מחומם כ-10 ס"מ כאשר העליון מחומם. אחרי התקנה החיישנים כוסו בקצף פוליאוריתאן לבידוד ומכוסה בנייר אלומיניום. החיישנים חוברו לשלושה אוגרי נתונים תוצרת חברת Campbell Scientific ותוצאות הוקלטו כל 15 דקות. שיטת המדידה, כיוול, וחיישנים מתוארים ע"י (Paudel et al. 2015).
2. פוטוסינתזה ומוליכות עלים לאדי מים: מעבר גזים בעלים נמדד בעזרת מכשיר ייעודי LICOR LI-6400XT. המדידות נעשו בימים בחודשים אוקטובר ונובמבר במהלכים יומיים משעה 9:30 בבוקר ועד 15:00 אחה"צ. המדידות בכל הטיפולים על לפחות 7 עלים מוארי-שמש שנבחרו באקראי בכל טיפול. הערכים שנמדדו מנובמבר לא מובאים פה מכיוון שהם מחוץ לתחום

הסביר ומעידים על בעיות טכניות. לאחר מכן המכשיר עבר מספר תיקונים ובמועד כתיבת הדו"ח הנוכחי המכשיר תקין.

3. 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 גלילי הרשת עבור דגימת שורשים. הקידוחים עבור הצינורות נעשו ע"י מקדח ממונע. חלקים עליונים של הצינורות שבלטו מהשטח נצבעו בשחור בפנים ומבחוץ בלבן ע"מ למנוע מאור להיכנס לצינור וכדי שהם לא יתחממו. הצינורות כוסו כדי למנוע כניסת מים ולכלוך. ההתקנה ב-13 ליוני. המדידות הראשונות בעזרת הסורק ב-22 לנובמבר 2016. כל סריקה נותנת תמונה של 360 מעלות מהצינור ברוחב 20 ס"מ, ונעשו סריקות מעומק 0 עד 120 ס"מ. התמונות הועברו למחשב שולחני ועובדו בעזרת תוכנה ייעודית (CI-690 RootSnap, CID Bio-Science, Camas, WA98607, USA).

4. צמיחת שורשים בשיטת גלילי רשת (Ingrowth Cores): בתאריך 13/06/2016 בוצעו קידוחים בשני מקומות בכל חלקה, מתחת לקו הטפטפות במרחק כמטר מהגזע והוכנס גליל רשת (קוטר 10 ס"מ ואורך 30 ס"מ) שמולא בקרקע מקומית נקייה משיירי חומר אורגני. בתעלות הטוף נערכו הקידוחים במרכז התעלה. גלילי הרשת הוכנסו רק לתוך התעלה ואילו הקידוחים לצינורות ירדו הרבה מתחת לעומק התעלה.

בתאריך 22/11/2016 נערכו המדידות הראשונות. גלילי הרשת הוצאו ונלקחו למעבדה במכון וולקני. מיד הוכנסו לכל הקידוחים גלילי רשת חדשים. הכוונה הייתה למלא את הגלילים בקרקע נקייה קרוב ככל האפשר לאותו מועד אבל בגלל מזג אוויר (ובמיוחד אירועי גשם) הפעולה נדחתה והמילוי מחדש נעשה רק בתאריך 24/01/2017.

תיאור בדיקות מעבדה: השורשים מהגלילים נשטפו ואוחסנו עד למדידה בקירור באלכוהול 20%. במהלך חודש דצמבר 2016 נסרקו השורשים במעבדה באוניברסיטת ת"א ונקבעו אורך, קוטר ושטח פנים שלהם בתכנה ייעודית (WinRhizo 2005b (Regent Instruments, Quebec, Canada). לאחר הסריקות יובשו השורשים בתנור (80°C, 48h) לקביעת משקלם היבש.

5. ריכוזי מינרלים בעלים ובדגימות גזע:

i. מבוא ורקע: בדיקות של תכולת מינרלים בעלים היא השיטה המקובלת בגידולי מטע, מטרתה זיהוי מחסורים וככלי עזר לקבלת החלטות הנוגעות לרמות הדישון. בדיקת תכולת המינרלים בעלים עשויה לגלות עליה בריכוזם של יסודות בעלי השפעה "רעילה" לעלה. תכולת המינרלים בעלים של מינים שונים מצביעה על קיומם של 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 ורכובות 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 במי קולחים 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 שלושה 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 עוכלו באמצעות חומצה ניטריט בטמפרטורה שהועלתה בהדרגה עד 130°C המיצוי נמהל וריכוז המינרלים נמדד באמצעות ICP.

6. **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 שעתיים לפני המדידה (בשעת הצהריים). נמדדו שני עלים לעץ ושני עצים לחזרה.

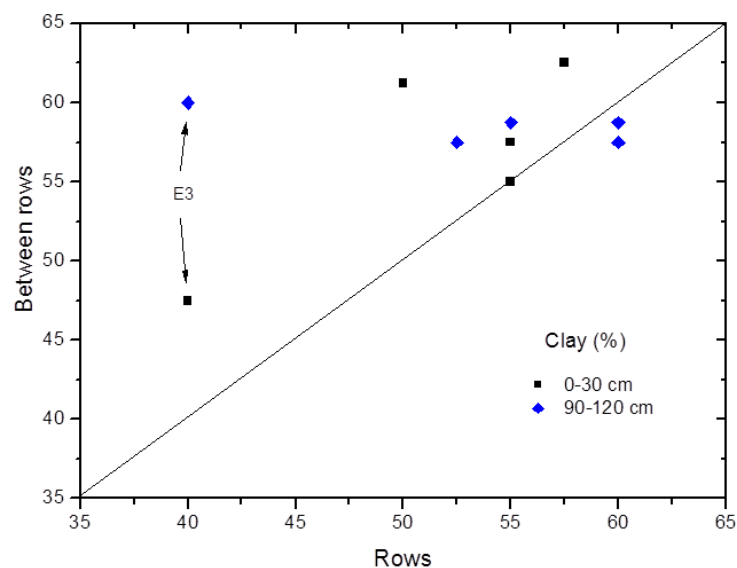
7. **יבול:** בכל החזרות מכל טיפול נקטפו באופן נפרד שלושה עצי המדידה ונמדד מספר הפירות לעץ ובוצעה שקילה של כל פרי בנפרד לקבלת התפלגות גודל הפרי. נערך ניתוח סטטיסטי חד-גורמי של התוצאות עבור היבול ומספר וגודל פרי באמצעות תוכנת JMP, בשיטת Student's T-test.

5. תוצאות ודיון

א. מעקב אחר הרכב הפאזה המוצקה והמומסת בקרקע

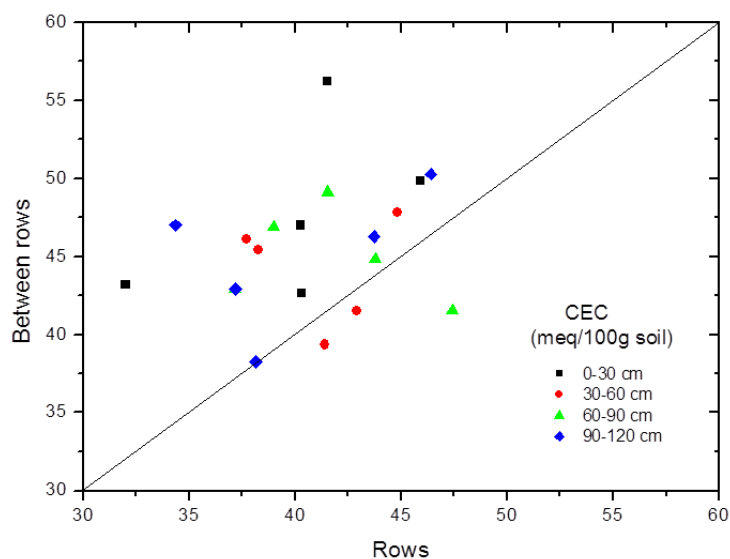
i. פאזה מוצקה

הרכב מכני של הקרקע – תוצאות ההרכב המכני של הקרקע כפי שנקבעו בשיטת ההידרומטר מוצגות באיור 2 (בדיקות ההרכב המכני בשיטת הלייזר נעשו לצורכי המידול [ראה פרק ייעודי לנושא זה] ואינן מוצגות כאן). מפאת בעיות טכניות נקבע המרקם רק בשכבות עומק 0-30 ו 90-120 ס"מ. מיצוע התוצאות (ללא אלו מחלקה E3) הראה שמרקם הקרקע הינו 58% חרסית, 19% סילט ו 23% חול. על סמך התפלגות זו הוגדרה הקרקע על פי שיטת המיון האמריקאית כקרקע חרסיתית.



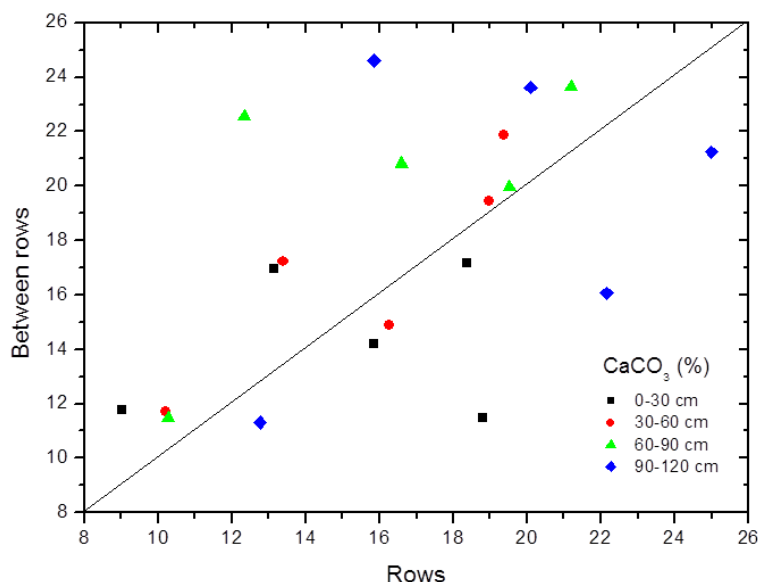
איור 2: תכולת חרסית בדוגמאות שנלקחו ביו שורות העצים כנגד תכולת החרסית בדוגמאות שנלקחו בתוך שורת העצים. הקו הרציף מייצג יחס של 1:1.

קיבול קטיונים חליפיים (קק"ח) – התוצאות באיור 3 מצביעות על כך שבמרבית המקרים הקק"ח בחלקות בין השורות היה גבוה (~10-15%) מזה שבתוך השורות. לא נצפתה מגמה ברורה של השפעת העומק על הקק"ח ולכן הסיבה להבדל בקק"ח כתלות במיקום הדיגום (בתוך השורות או בין השורות) אינה ברורה. יש לציין שהשורות נמצאות על גודדיות שגובהן כ- 50 ס"מ, כך ששכבת הקרקע בתוך השורות היא בעיקר העברה משכבת הקרקע העליונה מבין השורות לפני הנטיעה ואילו השכבה העליונה בין השורות לאחר הנטיעה הייתה בעומק שמתחת ל- 20-25 ס"מ לפני הנטיעה.



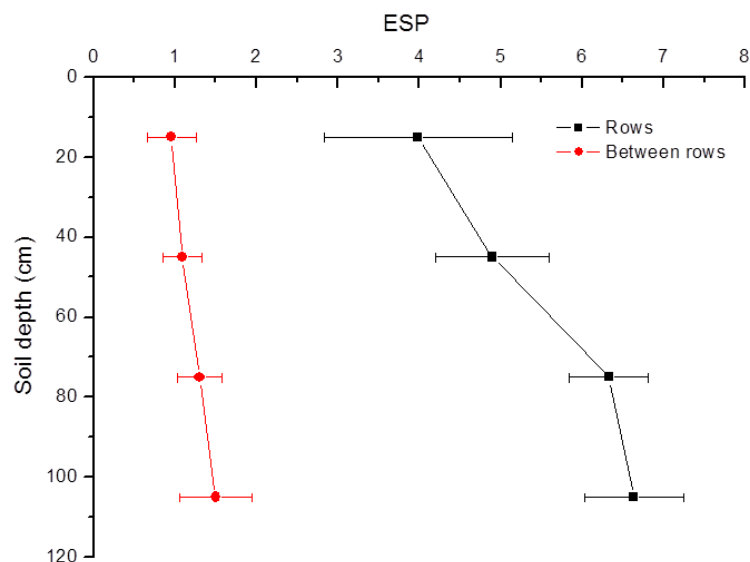
איור 3: קיבול קטיונים חליפיים (CEC) בדוגמאות שנלקחו ביו שורות העצים כנגד קיבול קטיונים חליפיים בדוגמאות שנלקחו בתוך שורת העצים. הקו הרציף מייצג יחס של 1:1.

תכולת גיר – תוצאות בדיקת תכולת הגיר בקרקע (איור 4) מצביעות על כך שקיימת שונות גבוהה בתכולת הגיר (בין 10% ל 24%) ובהתפלגותו לעומק הקרקע. לא נמצא קשר בין תכולת הגיר ועומק הדיגום או מקום הדיגום.



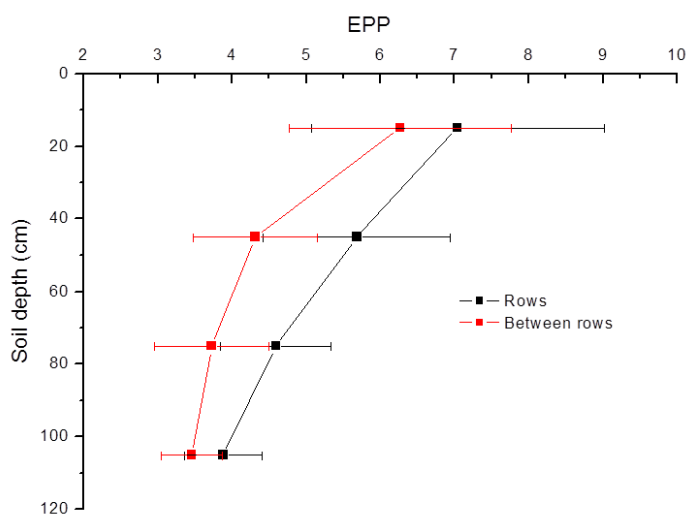
איור 4: תכולת גיר (%) בדוגמאות שנלקחו ביו שורות העצים כנגד תכולת גיר בדוגמאות שנלקחו בתוך שורות העצים. הקו הרציף מייצג יחס של 1:1.

אחוז נתרן ספוח (ESP) – התפלגות ה-ESP עם העומק בתוך ובין השורות מוצגת באיור 5. ניתן לראות בבירור שהשקיה בקולחים העלתה את ה-ESP בקרקע באופן מובהק. ההבדל ב-ESP בין שני מיקומי הדיגום מחזק את הנחת העבודה שלנו שדוגמאות הקרקע בחצי המרחק בין שתי שורות עצים לא נחשפו למי ההשקיה. ראוי לציין את העלייה ב-ESP עם העומק בדוגמאות שנלקחו בתוך שורות העצים (איור 5) לערך של 7 לעומת ESP של 4 בשכבת הקרקע העליונה. 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 יכולה 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 עתיות של אוורור והמלחה בשכבות הקרקע העליונות.



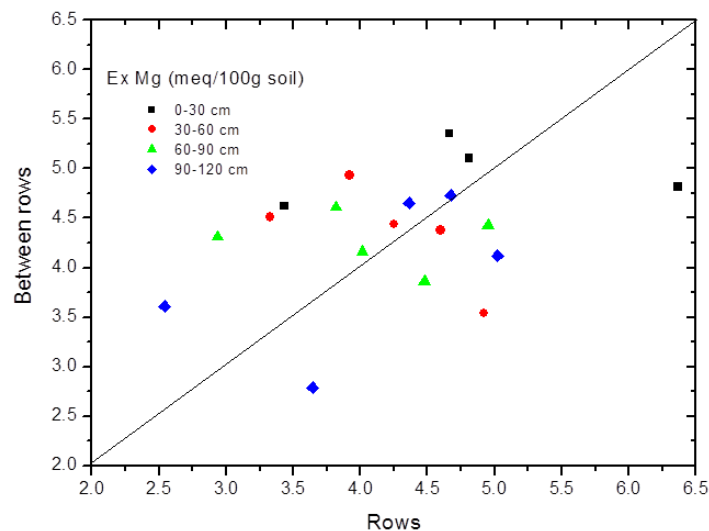
איור 5: התפלגות אחוז נתרן ספוח (ESP) עם העומק עבור דוגמאות הקרקע שנלקחו בשני מיקומי הדיגום.

אחוז אשלגן ספוח (EPP) – התפלגות ה-EPP עם העומק בתוך ובין השורות מוצגת באיור 6. לעומק כל חתך הקרקע שנבדק ערכי ה-EPP בדוגמאות שנלקחו בתוך השורות היו גבוהים יותר מאשר בין השורות. ניתן לייחס הבדל זה לדישון באשלגן שכנראה ניתן בעודף והאשלגן שלא נוצל על ידי העצים נספח לקרקע. בניגוד לנתרן, האפיניות של הקומפלקס הסופח בקרקע לספיחה של אשלגן גבוהה בהשוואה לאפיניות שלו לספיחת הקטיונים האחרים בתמיסת הקרקע. לכן ניידות האשלגן בחתך הקרקע קטנה והוא נוטה להצטבר בשכבת הקרקע העליונה (איור 6).



איור 6: התפלגות אחוז אשלגן ספוח (EPP) עם העומק עבור דוגמאות הקרקע שנלקחו בשני מיקומי הדיגום.

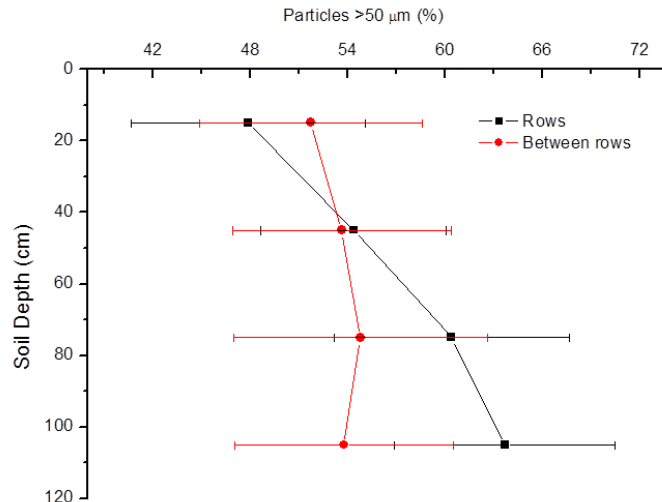
תכולת מגניון ספוח – מגניון הוא גם יסוד הזנתי חשוב. בדרך כלל אין צורך לדשן בו כיון שהוא מצוי באופן טבעי במים שפירים אלא אם כן המים הם מי התפלה. שימוש עירוני במים אינו תורם מגניון למי הקולחים לכן כמותו במים בהם נעשה השימוש העירוני קובעת את ריכוזו במי הקולחים. מהתוצאות באיור 7 ניתן לראות שישנה מגמה בה תכולת המגניון הספוח בדוגמאות שנלקחו בין השורות גבוהה יותר מאשר בדוגמאות שנלקחו בתוך השורות דבר שיכול העיד על דלדול מסויים של המגניון הספוח בדוגמאות מתוך שורות העצים שיכול לנבוע ממחסור של מגניון במי ההשקיה ודחיקה על ידי הקטיונים האחרים שהוספו עם ההשקיה והדישון.



איור 7: ריכוז מגניון ספוח בדוגמאות שנלקחו ביו שורות העצים כנגד ריכוז המגניון הספוח בדוגמאות שנלקחו בתוך שורת העצים. הקו הרציף מייצג יחס של 1:1.

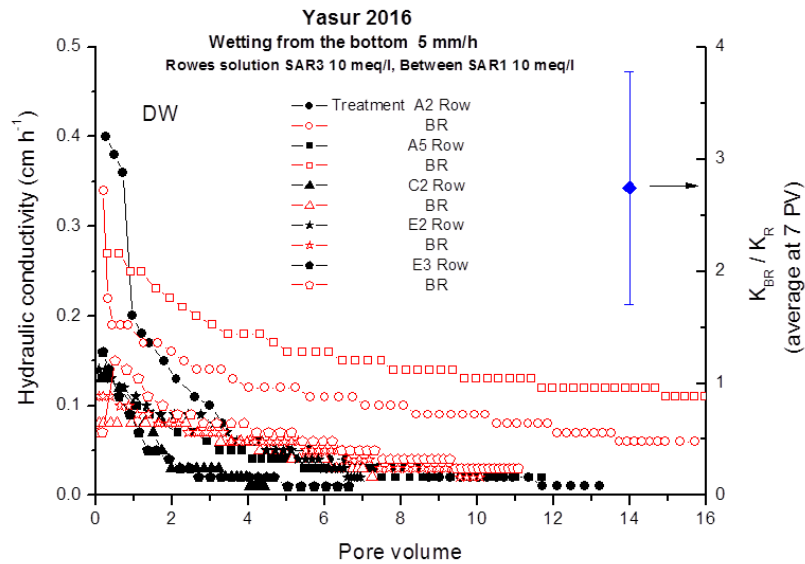
תכולת פחמן אורגני וחנקן כללי – דוגמאות קרקע משני מיקומי הדיגום והעומקים השונים הוכנו לבדיקה זו המתבצעת במכשיר CN אנאלייזר. לצערנו המכשיר שעמד לרשותנו התקלקל ולא ניתן היה לתקנו. מכשיר חדש התקבל לאחרונה במחלקתנו וקביעת שני יסודות אלו בקרקע תתבצע בקרוב.

יציבות תלכידים – בעקבות השימוש במכשיר לייזר לקביעת יציבות תלכידים, יציבות התלכידים מוצגת כאחוז נפחי של תלכידים < 50 מיקרון; ככל שהאחוז הנפחי גבוה יותר, התלכידים יציבים יותר. התוצאות מראות שאין הבדל ביציבות התלכידים כתלות במיקום הדיגום (איור 8). אם זאת ניתן לראות שיציבות התלכידים בדוגמאות שנלקחו בין השורות אינה משתנה עם העומק, בעוד שבדוגמאות שנלקחו בתוך שורות העצים ישנה עליה ביציבות התלכידים עם העומק. בעקבות הקשר החזק בין יציבות תלכידים ותכולת חומר אורגני בקרקע ניתן לשער שההבדל הנ"ל בפרופילי יציבות התלכידים קשור אולי לשוני בפרופילים של תכולת חומר אורגני בקרקע. אולם, בשלב זה בהעדר נתונים לגבי תכולת החומר האורגני בדוגמאות שלנו אין באפשרותנו לבחון השערה זו.



איור 8: השינוי ביציבות תלכידים (מבוטאת כאחוז נפחי של תלכידים הגדולים מ 50 מיקרון) עם העומק עבור דוגמאות הקרקע שנלקחו בשני מיקומי הדיגום.

מוליכות הידראולית ברוויה – המוליכות ההידראולית ברוויה נקבעה בדוגמאות הקרקע מעומק 0-30 ס"מ בלבד משני מיקומי הדיגום. השינוי במוליכות ההידראולית כתלות בנפח השטיפה (מבוטא כנפח נקבובים מצטבר) מוצג באיור 9. מעקומי המוליכות ההידראולית ניתן להתרשם שהמוליכות ההידראולית בדוגמאות שנלקחו בין השורות גבוהה יותר מזו שנצפתה בדוגמאות שנלקחו בתוך שורות העצים. אולם התרשמות זו היא איכותית בלבד. בכדי לקבל מדד כמותי להשפעת מיקום הדיגום על המוליכות ההידראולית חישבנו את המוליכות ההידראולית לאחר שטיפה ב- 7 נפחי נקבובים והצגנו אותה כיחס בין המוליכות ההידראולית שהתקבלה מהדוגמאות שנלקחו בין שורות העצים לבין זו שהתקבלה בדוגמאות שנלקחו בתוך שורות העצים. התוצאות מראות בבירור (ראה ציר Y ימני באיור 9) שהיחס < 1 , קרי המוליכות ההידראולית בדוגמאות שנלקחו בתוך שורות העצים הייתה נמוכה יותר; תופעה דומה דווחה באחרונה עבור קרקע מפרדס בקיבוץ מזרע (Bardhan et al., 2016). התוצאות הללו ממחישות בבירור שהשקיה בקולחים פוגעת במוליכות ההידראולית של קרקע חרסיתית בהשוואה לקרקע שאינה נחשפת להשקיה.

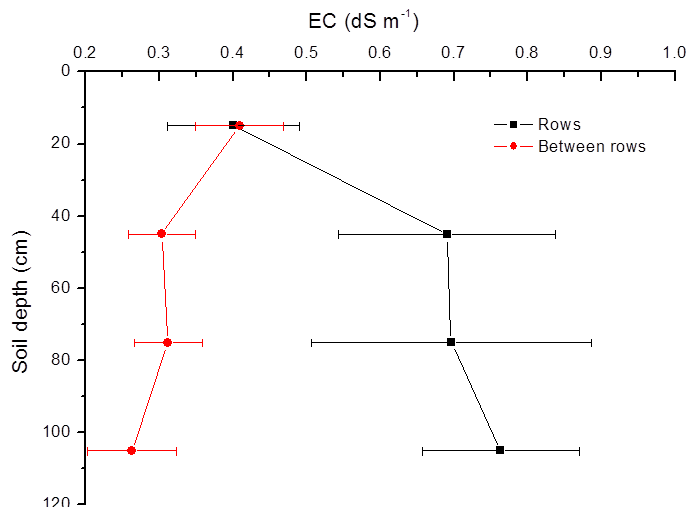


איור 9: (א) השינוי במוליכות ההידראולית ברוויה כתלות בנפח נקבובים עבור הטיפולים השונים (ציר Y שמאלי). (ב) היחס במוליכות ההידראולית ברוויה לאחר שטיפה ב 7 נפחי נקבובים בין דוגמאות שנלקחו בין בשורות העצים לבין אלו שנלקחו בתוך שורות העצים (ציר Y ימני).

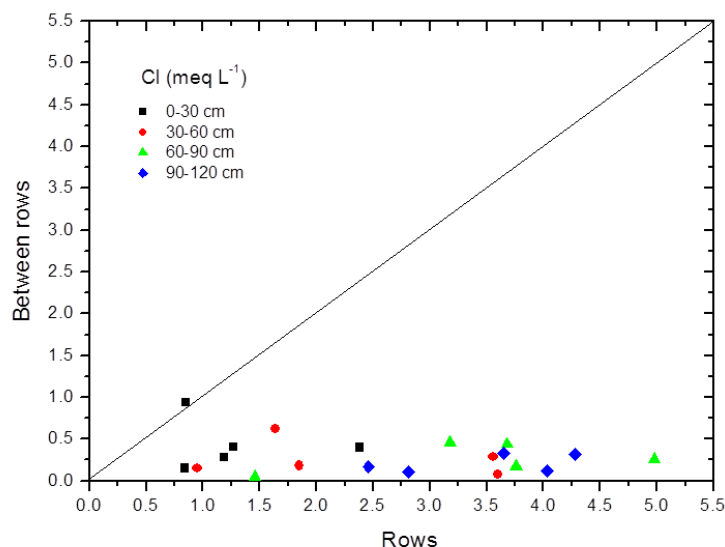
ii. פאזה מומסת (הבדיקות בוצעו במיצי מיס: קרקע של 1:2)

מוליכות חשמלית (EC) – פרט לשכבת הקרקע העליונה (0-30 ס"מ), ערכי המוליכות החשמלית במיצי מהדוגמאות שנלקחו בתוך שורת העצים היו כצפוי גבוהות בהרבה (~0.7 דצס/מ') מאלו שהתקבלו בדוגמאות שנלקחו בין שורות העצים (~0.3 דצס/מ') (איור 10). בשכבת הקרקע העליונה התקבל ערך מוליכות חשמלית דומה (~0.4 דצס/מ') במיצי מהדוגמאות משני המיקומים. את ערך המוליכות החשמלית הנמוך בדוגמאות שנלקחו בתוך שורות העצים, בהשוואה לשכבות הקרקע העמוקות יותר, ניתן להסביר בכך שמאחר ודגמנו רק בתחילתה של עונת ההשקיה, לשטיפת הקרקע במי הגשם בחורף שלפני כן הייתה כנראה עדיין השפעה על מיתון ערכי המוליכות החשמלית. בדוגמאות שנלקחו בין שורות העצים העליה במולכות החשמלית בהשוואה לערך שהתקבל בשכבות העמוקות נוגעת כנראה מייבוש הקרקע והתרכוזת המלחים בה.

ריכוז הכלוריד – בהתאמה עם תוצאות המוליכות החשמלית ריכוז הכלוריד במיצי מהדוגמאות בתוך שורות העצים היה גבוה בהרבה מריכוזו בדוגמאות שבין שורות העצים (איור 11). כמו כן ניתן לראות כי בדרך כלל ריכוז הכלוריד בדוגמאות בתוך שורת העצים עלה עם העומק. ממצא זה הינו בהתאמה לעומס מלחים בהשקיה בשורות ושטיפה על ידי הגשם בחורף.

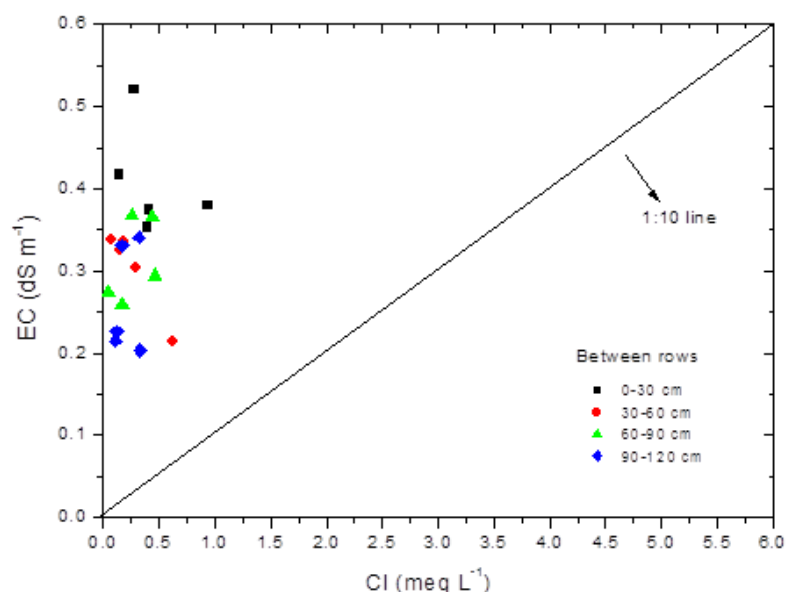
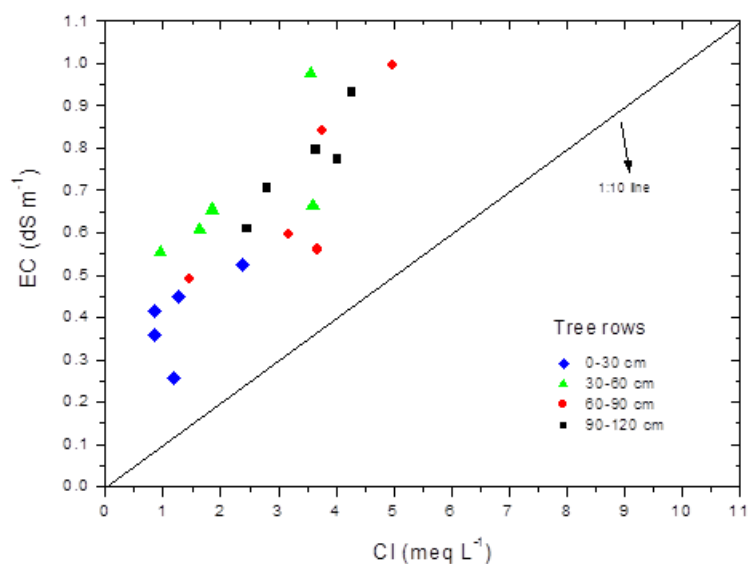


איור 10: השינוי במוליכות החשמלית (EC) עם העומק במיצוי מדוגמאות הקרקע שנלקחו בשני מיקומי הדיגום.



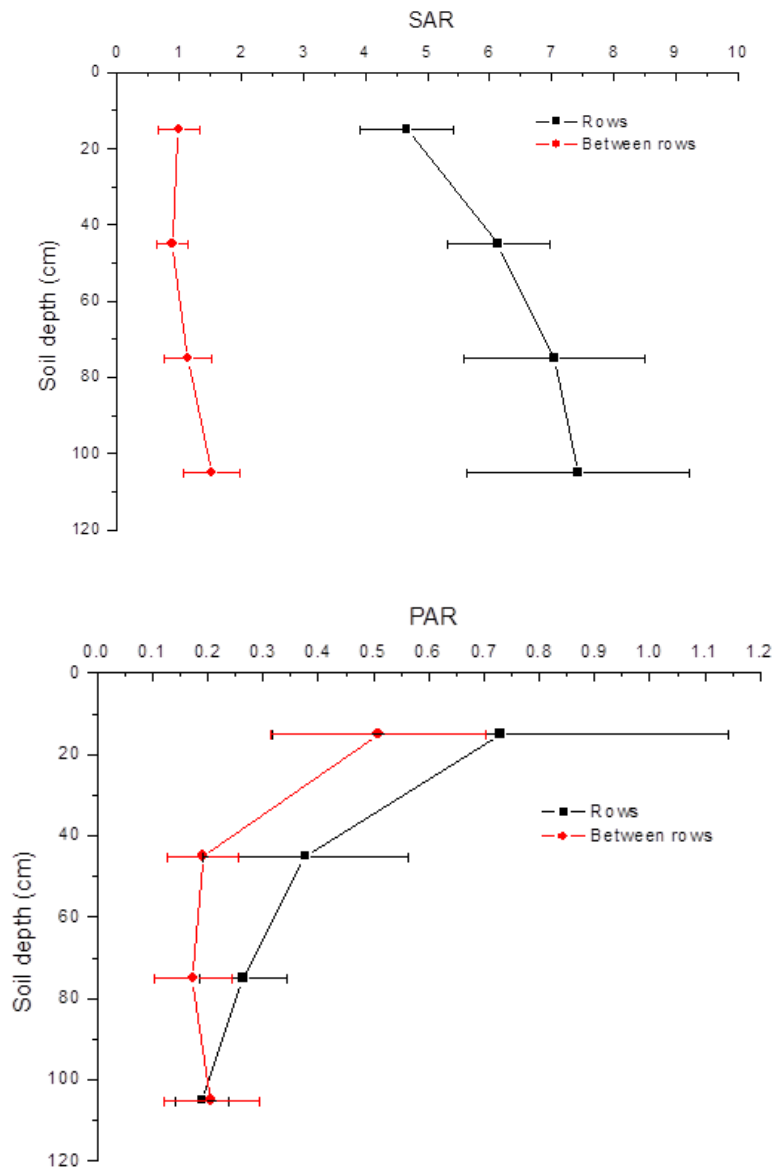
איור 11: ריכוז הכלוריד במיצוי מדוגמאות שנלקחו ביו שורות העצים כנגד ריכוז הכלוריד במיצוי מדוגמאות שנלקחו בתוך שורת העצים. הקו הרצף מייצג יחס של 1:1.

הקשר בין EC לבין ריכוז הכלוריד – בחינת הקשר בין ה-EC לבין ריכוז הכלוריד במיצוי מראה שהיה קשר לינארי בין המוליכות החשמלית לריכוז הכלוריד בתמיסת המיצוי בדוגמאות שנלקחו בתוך השורות, בהתאמה לספרות אבל היחס גבוה מ-1/10 המקובל בספרות, כלומר ישנם יונים נוספים המשפיעים על המוליכות החשמלית (איור 12). בדוגמאות שנלקחו בין שורות העצים אין קשר לינארי בין המוליכות החשמלית לבין ריכוז הכלוריד, אלא ירידה במוליכות החשמלית עם העומק ללא שינוי בריכוז הכלוריד. תופעה זו נובעת כנראה מכך שהריכוז היחסי של אניונים נוספים לכלוריד בקרקע גבוה יותר בין השורות במיוחד בשכבה העליונה.



איור 12: ערכי המוליכות החשמלית (EC) כנגד ערכי ריכוז הכלוריד במיצוי מהדוגמאות שנלקחו בתוך השורות (תת-איור עליון) ובין השורות (תת-איור תחתון). הקן הרציף מייצג יחס של 1:10.

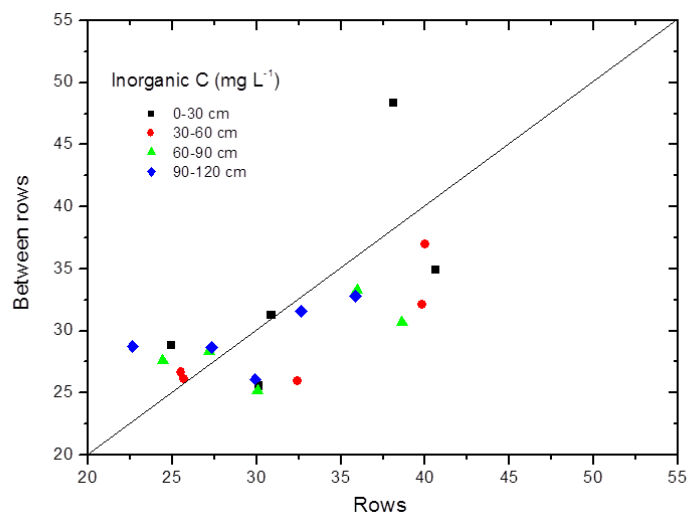
SAR ו-PAR - כצפוי התנהגות ה- SAR וה- PAR כתלות במיקום הדיגום ועומק שכבת הדיגום (איור 13) דומה מאוד להתנהגות הנתרן והאשלגן הספוחים (איורים 5 ו-6, בהתאמה). ראוי לציון שעבור הנתרן ישנה התאמה מספרית בין ערכי ה- SAR וערכי ה- ESP. באשלגן אין התאמה כזו מפאת האפיניות הגבוהה של הקרקע לאשלגן ספוח וכבר בערכי PAR בתחום 0.5-0.7 מתקבלים ערכי EPP בתחום 6-7 (איורים 13 ו-6, בהתאמה).



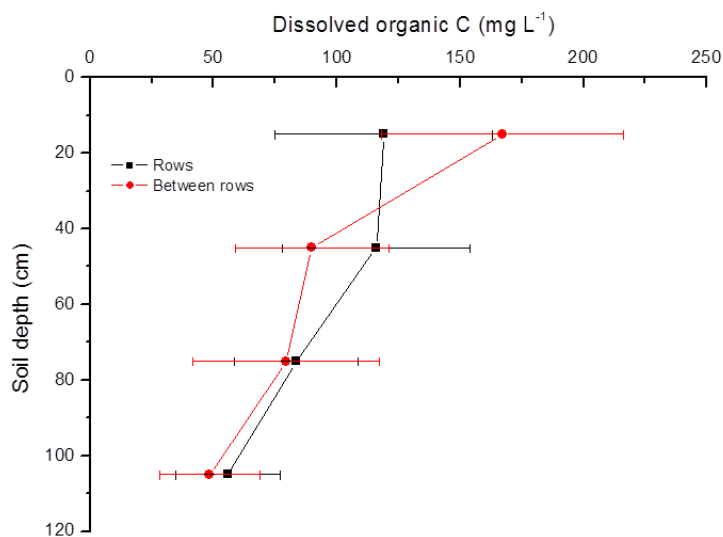
איור 13: השינוי ב-SAR (תת איור עליון) וב-PAR (תת-איור תחתון) עם העומק במיצוי מדוגמאות הקרקע שנלקחו בשני מיקומי הדיגום.

פחמן אי-אורגני מומס – ריכוז הפחמן האי-אורגני המומס מוצג באיור 14. לא נמצאו מגמות מובהקות באשר לקשר בין ריכוזו לבין מיקום הדיגום או עומק שכבת הדיגום. עם זאת ראוי לציין שהשונויות בערכי הפחמן האי-אורגני המומס קטנה בהרבה מזו שנצפתה עבור הגיר (איור 4).

פחמן אורגני מומס – ערכי ריכוז הפחמן האורגני המומס בדוגמאות שנלקחו בתוך שורת העצים דומים לאלו שהתקבלו בדוגמאות שנלקחו בין שורות העצים (איור 15). כצפוי, ישנה מגמה ברורה של פחיתה בריכוז הפחמן האורגני המומס עם העומק שנמצאת בהתאמה עם דיווחים רבים בספרות על פחיתה בתכולת פחמן אורגני בפאזה המוצקה עם עליה בעומק הקרקע.

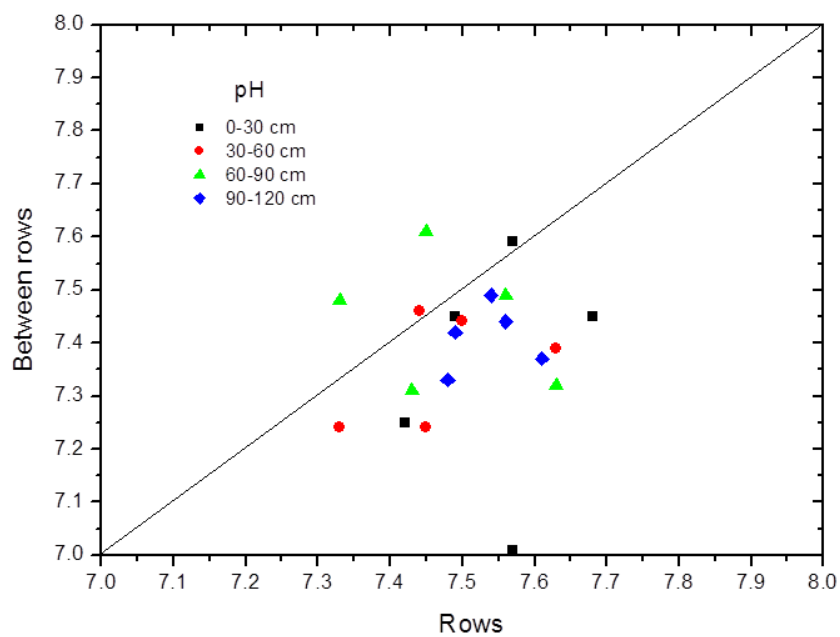


איור 14: ריכוז הפחמן האי-אורגני במיצי מדוגמאות שנלקחו בין שורות העצים כנגד ריכוז הפחמן האי-אורגני במיצי מדוגמאות שנלקחו בתוך שורת העצים. הקו הרציף מייצג יחס של 1:1.



איור 15: השינוי בריכוז פחמן אורגני מומס עם העומק במיצי מדוגמאות הקרקע שנלקחו בשני מיקומי הדיגום.

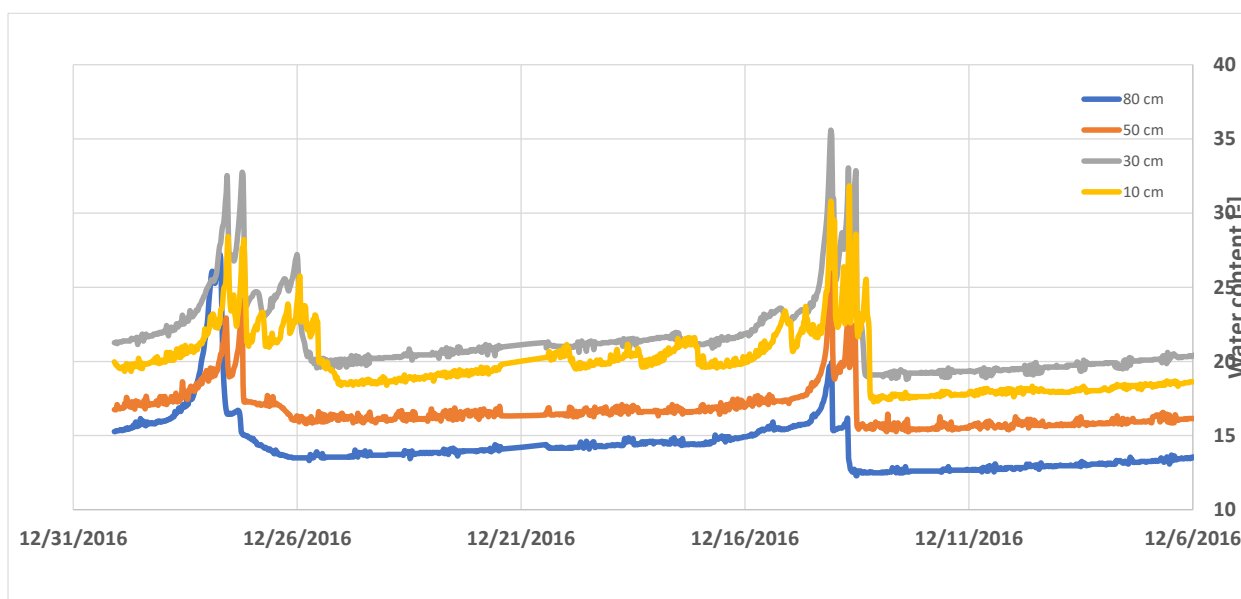
pH - ה- pH של מיצי הקרקע בדוגמאות שבין השורות היה נמוך מזה שבדוגמאות בתוך השורות; כמו כן לא נמצאה מגמה ברורה להשפעת עומק השכבה על ה pH (איור 16).



איור 16: ערכי ה-pH במיצוי מדוגמאות שנלקחו ביו שורות העצים כנגד ערכי ה-pH במיצוי מדוגמאות שנלקחו בתוך שורת העצים. הקו הרציף מייצג יחס של 1:1.

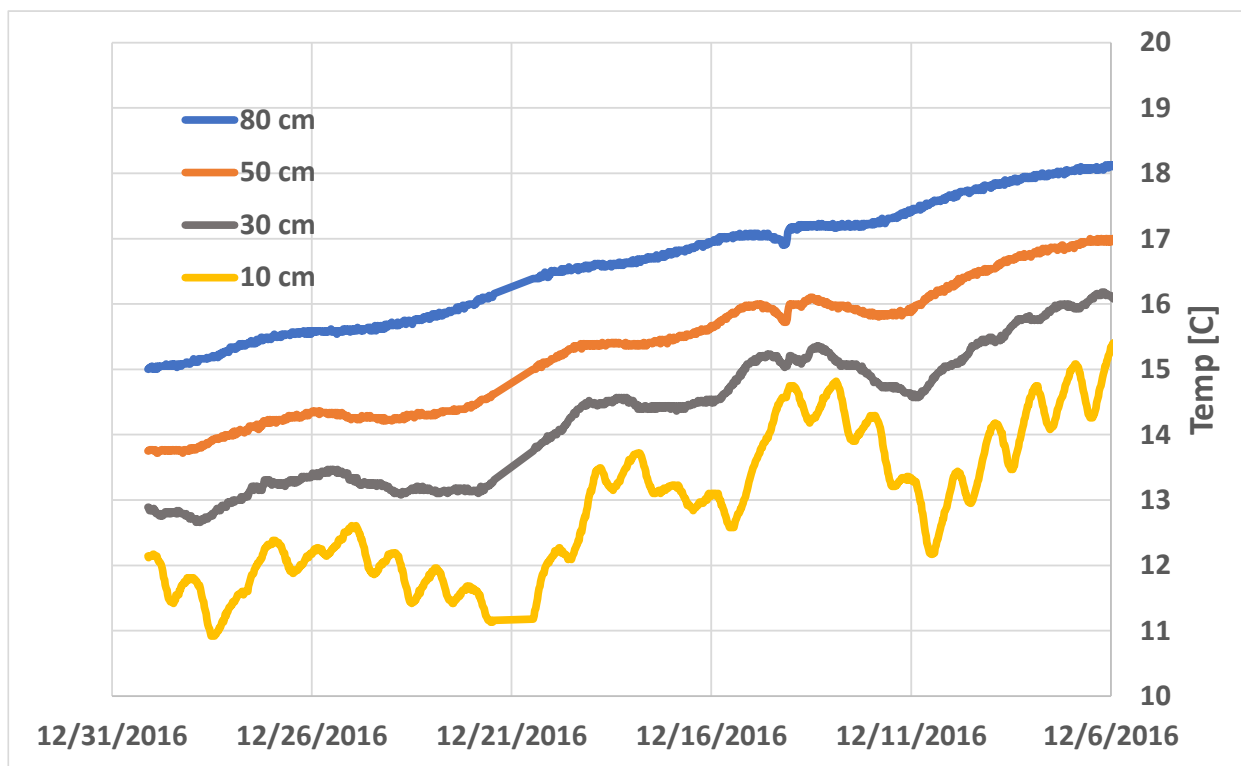
ב. מעקב אחר תכולת הרטיבות בקרקע

תוצאות ראשוניות לדוגמה מובאות באיור 17 עבור רביעיית החיישנים של טיפול המיחול (MIX) בשורה 12. ניתן להבחין בקלות ברגישות הגבוהה יותר של החיישנים הרדודים לאירועי גשם, לעומת החיישנים העמוקים.



איור 17: תכולת רטיבות בחיישנים בטיפול MIX שורה 12

החיישנים שהוטמנו מודדים גם טמפרטורה ומוליכות חשמלית. איור 18 מציג את שינויי הטמפרטורה באותו צבר חיישנים המוצג באיור 17. גם כאן ניתן לראות בבירור את הרגישות הגבוהה של החיישנים הרדודים לשינויי הטמפרטורה בפני השטח, ואפילו לחידור המים באירוע הגשם של ה- 13-14 בדצמבר 2016.

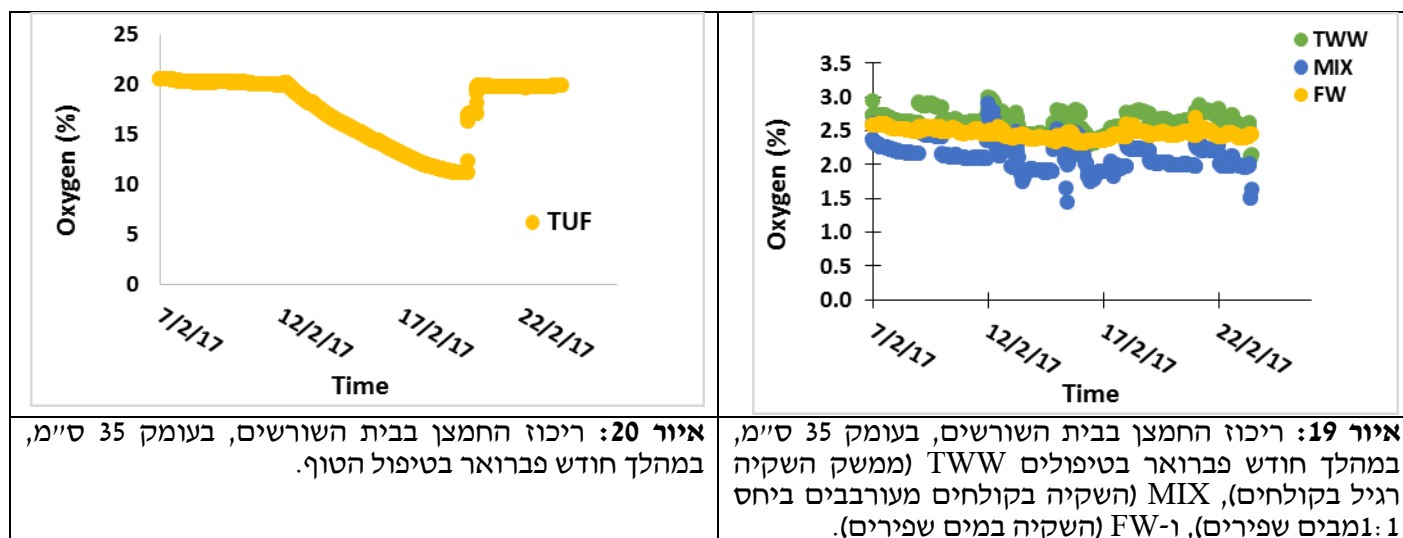


איור 18: טמפרטורה בחיישנים בטיפול MIX שורה 12

הטמנת החיישנים פירושה הפרה של הקרקע (לצורך חפירת בורות לחיישנים). אי לכך אין הרבה חשיבות למדידות המתקבלות בחודשים הראשונים ויש להמתין עד לחזרה של הקרקע להידוק הטבעי. בשנת המחקר השנייה הכוונה היא בעיקר להמשיך באיסוף הנתונים תוך התגברות על בעיות של חיתוך כבלי התקשורת באתר (כנראה ע"י חזירי בר), ניתוח השוואתי של הנתונים הגולמיים, ובניה של מודל זרימה חד ממדי לכל אחד מהאתרים. בשנת המחקר השלישית יכולו המודלים השונים, ויפותח (ויכול) מודל זרימה דו ממדי עבור חלקת הטוף.

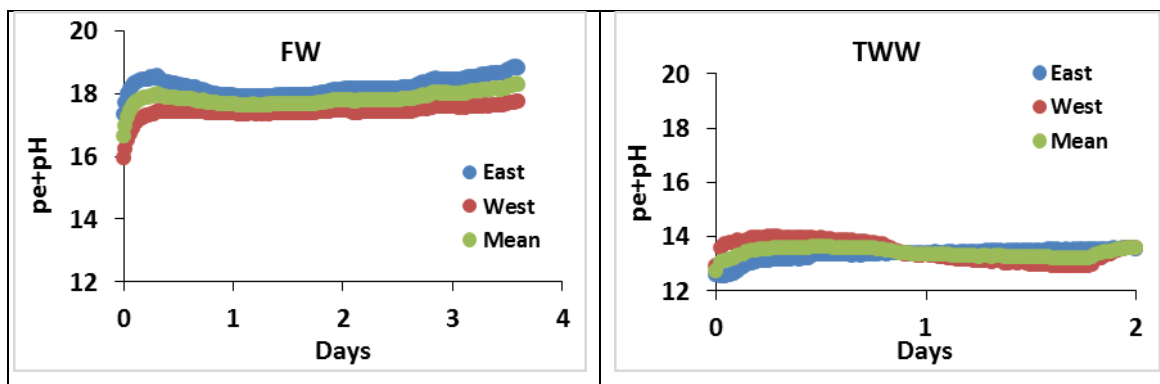
ג. מדידות פוטנציאל חמצון חיזור ורמות חמצן בבית השורשים

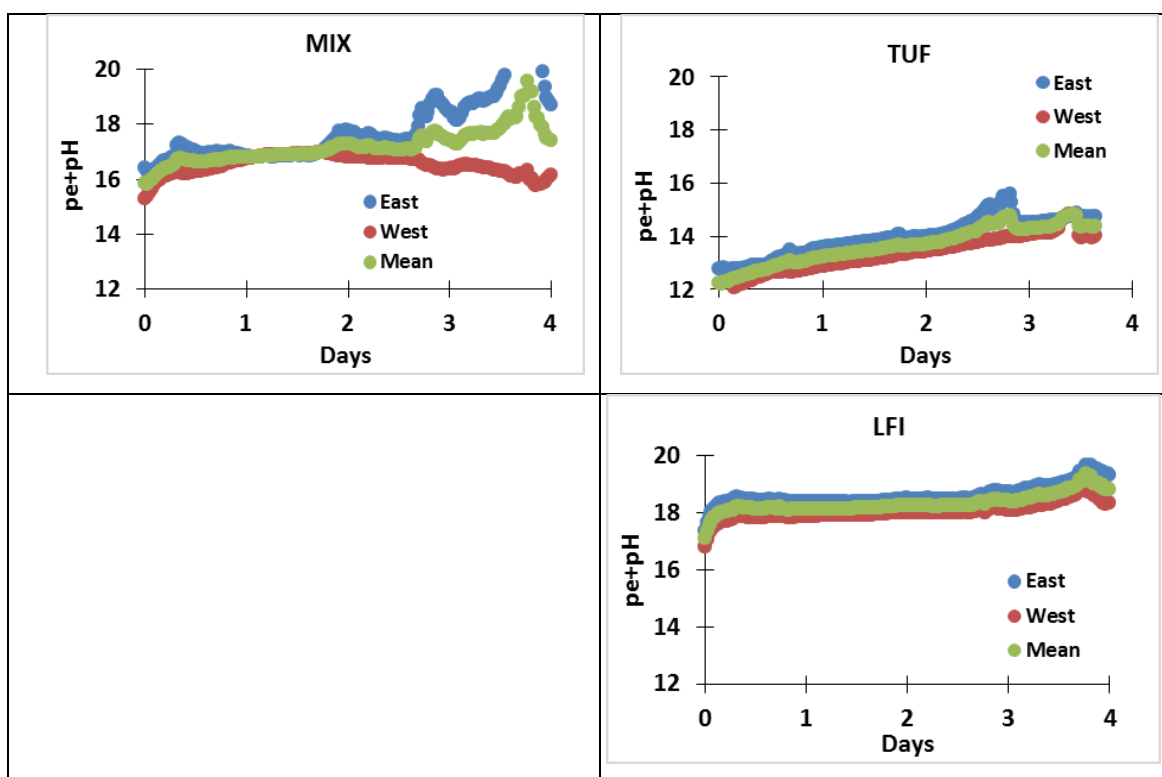
ריכוזי החמצן בבית השורשים בעומק 35 ס"מ היו נמוכים ודומים בטיפולים שהושקו בממשק רגיל בקולחים, או בשפירים, או בערבוב 1:1 של שני סוגי המים (איור 19). לעומת זאת בטיפול תעלות האוויר (טוף) נמדדו ריכוזי חמצן גדולים באופן ניכר (איור 20).



ערכי רדוקס בעומק 35 ס"מ במהלך מספר ימי מדידה בחודש פברואר בתחנת מדידה מייצגת מכל טיפול מוצגים באיור 21. ההבדלים בין שתי נקודות המדידה בכל תחנה אינם גדולים בדרך כלל. בין התחנות ניכרים הבדלים גדולים יותר, אולם בשלב זה לא ניכרה באף אחת מהתחנות ירידה לערכים המאפיינים קרקעות מחוזרות. הערכים כולם נעו בין 12-13 (ערכים המאפיינים תנאים סב-אוקסיים), ל-20 (תנאי סביבה אוקסית).

חשוב להדגיש שהתמונה עדיין חלקית ולא יהיה נכון להצביע על השפעות של הטיפולים השונים. זאת בעיקר לנוכח העובדה שהנתונים המוצגים הינם מחוץ לעונת ההשקיה. יחד עם זאת, נראה כי התייצבות המערכת הושלמה. הפרת המערכת לצורך החדרת החיישנים כבר איננה משפיעה על התוצאות הנמדדות ומעתה ניתן להתייחס אל הערכים כמייצגים את התנאים האמתיים בבית השורשים.



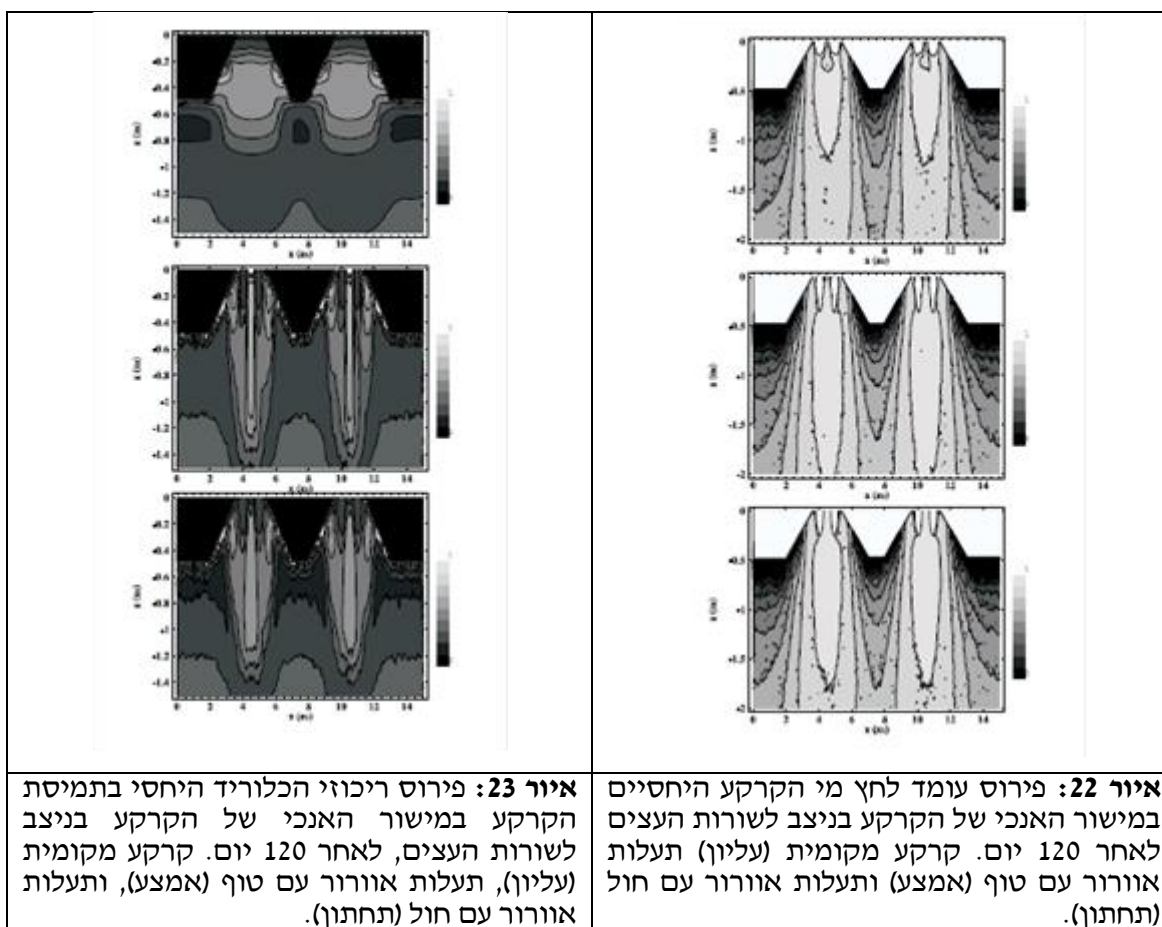


איור 21: ערכי רדוקס (מבוטאים כ- $pe+pH$) במהלך מספר ימים בחודש פברואר בבית השורשים, בעומק 35 ס"מ בתחנה מייצגת עבור כל טיפול: ממשק השקיה רגיל בקולחים (למעלה מימין); השקיה במים השפירים (למעלה משמאל); בטיפול תעלות האוורור (באמצע מימין); בממשק ההשקיה בקולחים מהולים ביחס 1:1 בשפירים (באמצע משמאל); ובממשק ההשקיה בתדירות נמוכה (למטה). עבור כל תחנה מוצגות הקריאות משתי נקודות המדידה, וכן הממוצע ביניהן.

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

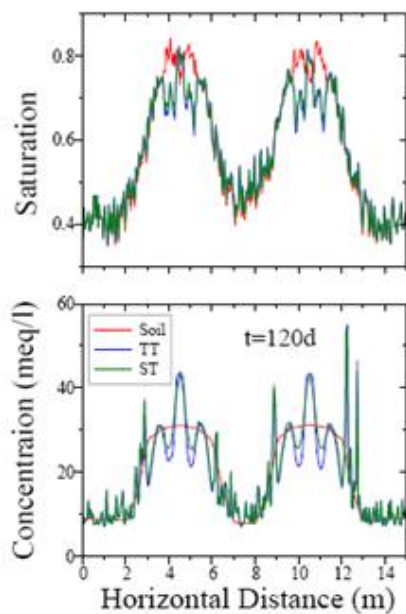
אוורור

תוצאות ההדמיה הנומרית (במונחים של פירוס עומד לחץ מי-הקרקע וריכוזי הכלוריד בתמיסת הקרקע (היחסיים) בחלקו העליון של המישור האנכי הניצב לגדודיות וממוקם בקו העצים הראשון, לאחר תקופה של 120 יום בתנאים של השקיה יומית), מוצגות באיורים 22 ו-23. תוצאות ההדמיה מראות באופן ברור את ההשפעה של תעלות האוורור וסוג התווך הנקבובי הממלא אותן על פירוס עומדי הלחץ ופירוס ריכוזי הכלוריד בבית השורשים ובסמוך לפני הקרקע באזור בין גדודיות סמוכות. איורים אלה מראים שהנוכחות של תעלות אוורור בחתך הקרקע, בעיקר אלה המכילות חומר גס-גרגר (טוף), גורמות להקטנה של פיזור הרטיבות וריכוזי הכלוריד בכיוון הלטרי.

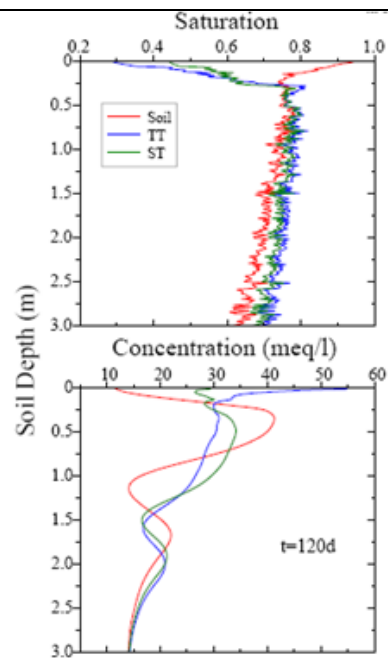


המגמות המוצגות באיורים 22 ו-23 נראות היטב, באופן כמותי, באיורים 24 ו-25 המדגימים חתכים של ממוצעים אופקיים וממוצעים אנכיים, בהתאמה, של דרגת הרוויה של המים וריכוז הכלוריד בתמיסת הקרקע לאחר תקופה של 120 יום. איורים אלה מראים שתעלות האוורור, בעיקר אלה המכילות טוף, מקטינות את דרגת הרוויה של המים (ולכן מגדילות את דרגת הרוויה של האוויר) בבית השורשים, אך בעיקר, בין הגדודיות. איורים 24 ו-25 מדגימים שבהשקיה במים מושבים, עקב הוצאת המים המשמעותית ע"י שורשי העצים, ריכוזי הכלוריד בתמיסת הקרקע בבית השורשים גבוהים יחסית. יחסית למקרה הייחוס, תעלות האוורור, בעיקר אלה 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.

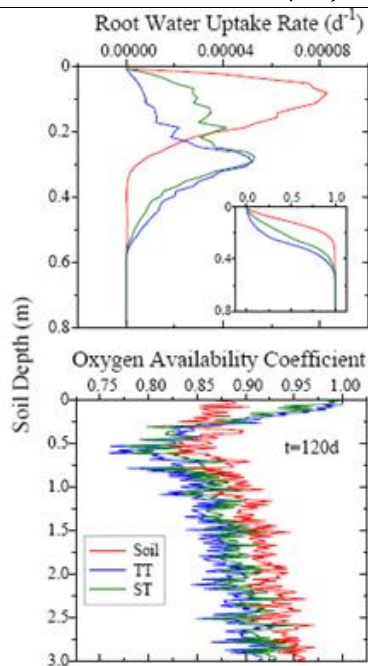
איור 26 מדגים חתכים של ממוצעים אופקיים של מנת ספיחת הנתרן (SAR) ושל המוליכות ההידרולית היחסית, K^r , (יחסית למצב "יציב" בו אין אינטראקציה בין הקרקע למומס), לאחר תקופה של 120 יום. יש לשים לב שמכיוון שאיזוטרמת החילוף של נתרן/סידן אינה לינארית, תהליך החילוף של נתרן/סידן הוא תהליך איטי ביחס לתנועת הכלוריד (איור 24). איור 265 מראה שתעלות האוורור, בעיקר אלה המכילות טוף עם קק"ח נמוך, מקטינות את ה-SAR בחלקו העליון של חתך הקרקע. בנוסף, מכיוון ש- K^r תלוי ב-SAR, בריכוז הכלוריד ובתכולת הרטיבות, תעלות האוורור מגדילות במעט את K^r מתחת לבית השורשים.



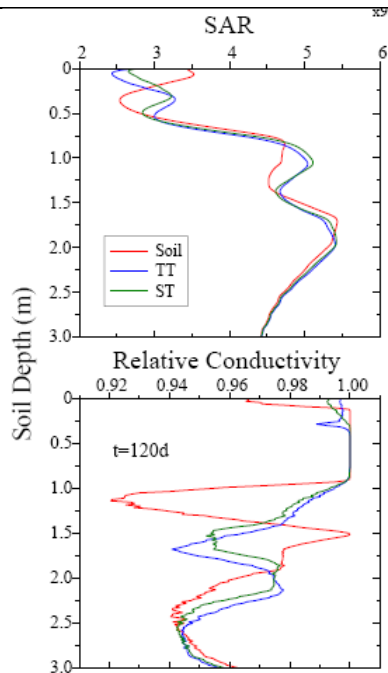
איור 25: חתכים אופקיים ממוצעים של דרגת הרוויה של המים בקרקע וריכוז הכלוריד בתמיסת הקרקע, עבור שלושת התרחישים: קרקע מקומית בלבד (Soil), קרקע מקומית עם תעלות טוף (TT), וקרקע מקומית עם תעלות חול (ST).



איור 24: חתכים אנכיים ממוצעים של דרגת הרוויה של המים בקרקע וריכוז הכלוריד בתמיסת הקרקע, עבור שלושת התרחישים: קרקע מקומית בלבד (Soil), קרקע מקומית עם תעלות טוף (TT), וקרקע מקומית עם תעלות חול (ST).



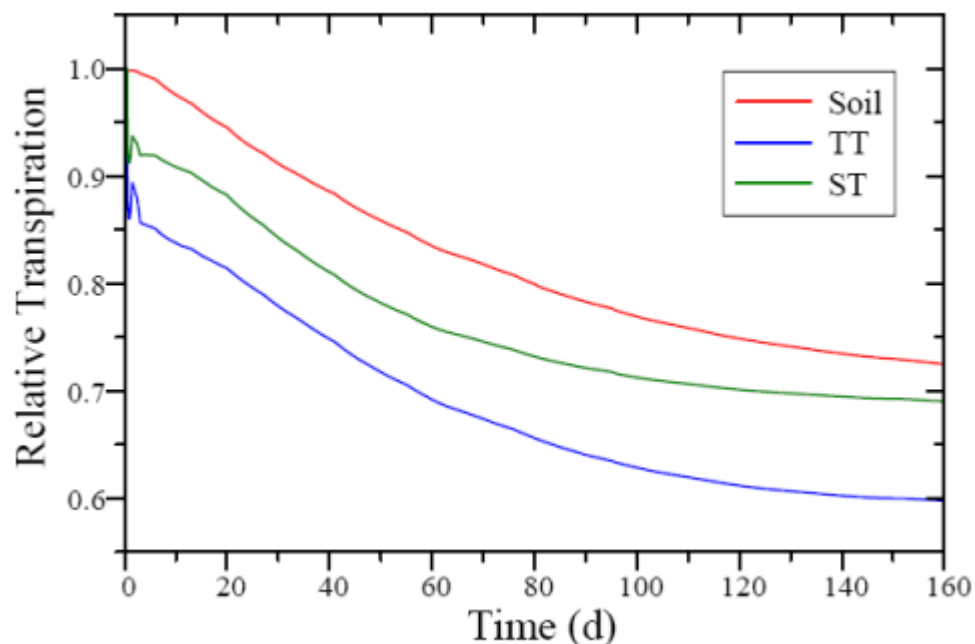
איור 27: חתכים אנכיים ממוצעים של קצב קליטת המים ע"י שורשי העצים (והמצטר, בהבלעה של האוויר) ומקדם זמינות החמצן בקרקע, עבור שלושת התרחישים: קרקע מקומית בלבד (Soil), קרקע מקומית עם תעלות טוף (TT), וקרקע מקומית עם תעלות חול (ST).



איור 26: חתכים אנכיים ממוצעים של מנת ספיחת הנתרן והמוליכות ההידרולית היחסית, עבור שלושת התרחישים: קרקע מקומית בלבד (Soil), קרקע מקומית עם תעלות טוף (TT), וקרקע מקומית עם תעלות חול (ST).

איור 27 מדגים חתכים של ממוצעים אופקיים של קצב קליטת המים ע"י שורשי העצים ושל מקדם זמינות החמצן, תלוי הרטיבות בקרקע, לאחר תקופה של 120 יום. השפעת 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 ההידרולית עם הירידה בתכולת הרטיבות של קרקע גסט-גרגר. כתוצאה מכך, במקרה של תעלות האוורור המכילות טוף, מירב קצב קליטת המים ע"י שורשי העצים קורה מתחת לעומק תעלות האוורור.

עבור פירוס מרחבי נתון של שורשי העצים, קליטת המים ע"י השורשים מושפעת מפוטנציאל המים בקרקע ומרמת האוורור בקרקע, משתנים המושפעים מתנאי השפה התלויים בזמן של בעיית הזרימה וההסעה, מתכונות הקרקע ומקליטת המים עצמה. בתנאים של השקיה תכופה בטפטוף במים באיכות ירודה יחסית (מים מושבים), מליחות הקרקע היא הגורם העיקרי שעשוי להשפיע על קליטת המים ע"י השורשים, באופן ישיר, באמצעות השפעתה על הרכיב האוסמוטי של פוטנציאל מי הקרקע, ובאופן עקיף, עקב השפעתה על רמת האוורור בקרקע, כתוצאה מהקטנת שיעור הוצאת המים ע"י שורשי העצים והעלייה בתכולת הרטיבות של הקרקע, עם העלייה במליחות. בקרקע כבדה, תופעות אלה, הבאות לידי ביטוי בהקטנת יכולת קליטת המים ע"י שורשי העצים, עשויות להחמיר.



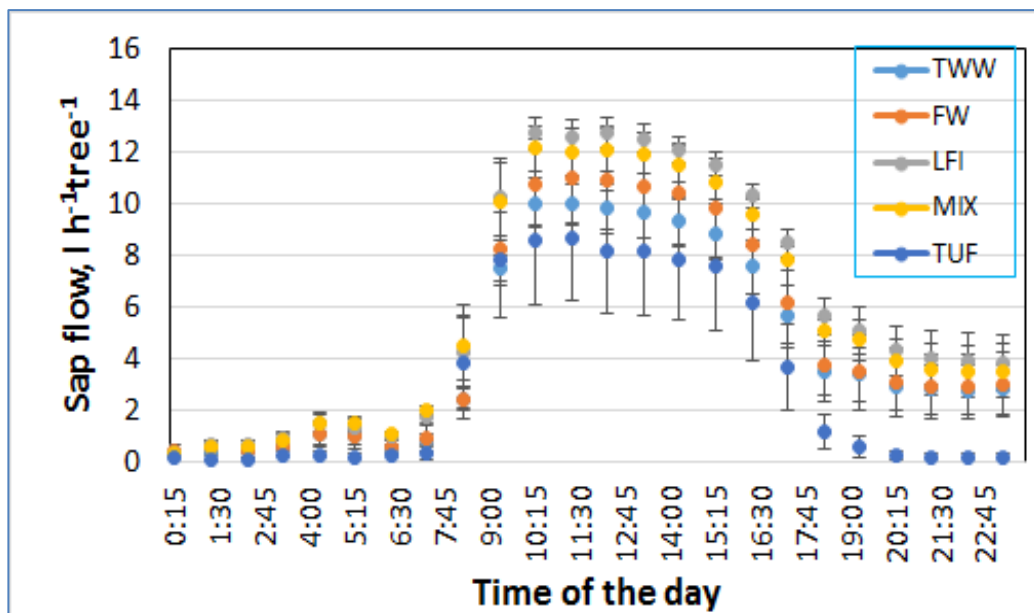
איור 28: טרנספירציה יחסית בתלות בזמן, עבור שלושת התרחישים: קרקע מקומית בלבד (Soil), קרקע מקומית עם תעלות טוף (TT), וקרקע מקומית עם תעלות חול (ST). הראשית מציינת את 1 באפריל.

איור 28 מדגים את יכולת קליטת המים של שורשי העצים במונחים של הטרנספירציה היחסית בתלות בזמן. איור 28 מדגים שבהשקיה במים מושבים, במהלך עונת השקיה אחת, הירידה היחסית בקליטת המים עשויה להגיע ליותר מ-25%. איור 28 מדגים שיחסית למצב הייחוס, תעלות האוורור, בעיקר עם אלה המכילות טוף גס גרגר, מקטינות את הטרנספירציה היחסית. במילים אחרות, במקרה של תעלות אוורור עם טוף המאופיינות ע"י רטיבות ומוליכות הידרולית לא-רוויה נמוכות

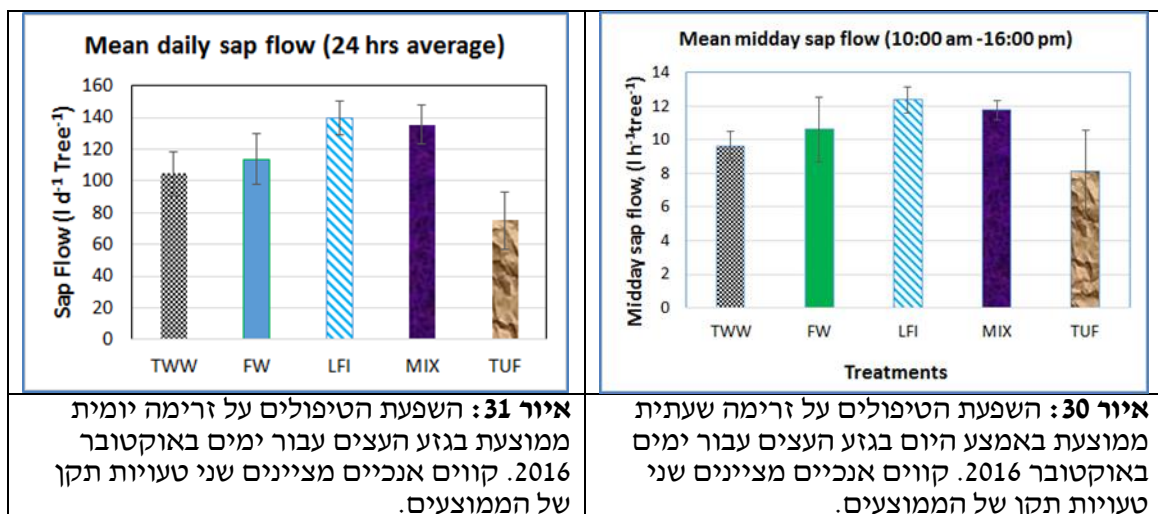
יחסית, העלייה בזמינות החמצן בבית השורשים אינה מפצה על הקצב האיטי של זרימת מים אל שורשי העצים עקב המוליכות ההידרולית הנמוכה. לעומת זאת במקרה של תעלות אוורור עם חול המאופיינות ע"י רטיבות ומוליכות הידרולית לא-רוויה גבוהות יותר יחסית לטוף, העלייה בזמינות החמצן בבית השורשים עשויה לפצות באופן חלקי על המוליכות ההידרולית הנמוכה יחסית לזו של הקרקע המקומית.

ה. מעקב צמחי

צריכת מים של עצים: מהלך יומי ממוצע למספר ימים בחודש אוקטובר מובא באיור 29. עבור רוב היום זרימה בטיפולים TUF ו-MIX נמוכה מאשר בטיפול LFI. לא היו הבדלים מובהקים בטיפולים האחרים.

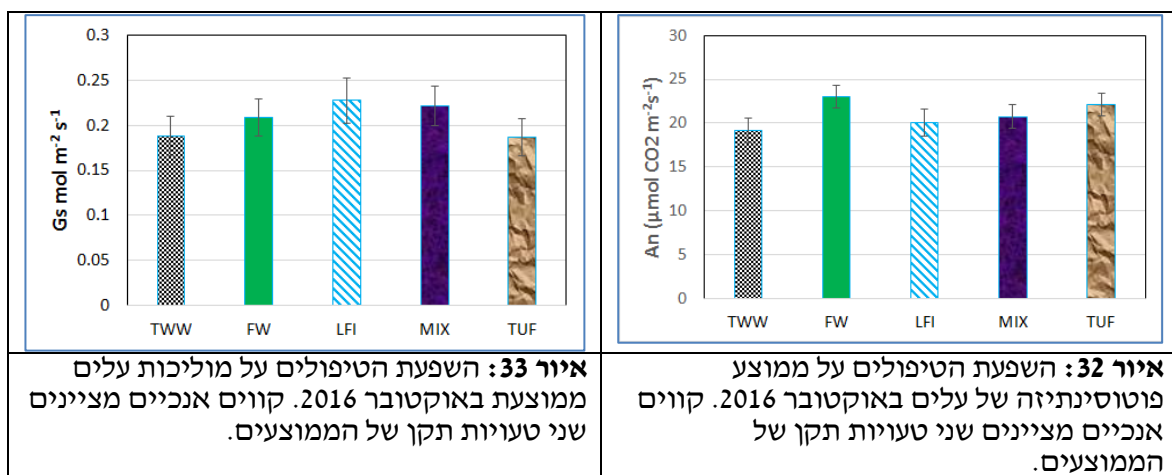


איור 29: השפעת הטיפולים על המהלך היומי של זרימה בגזע (לי לשעה לעץ) של עצי אבוקדו. הנתונים ממוצעים עבור לפחות 5 ימים ו-4 עצים בכל טיפול במשך חודש אוקטובר. קווים אנכיים מציינים שגי טעויות תקן של הממוצעים.

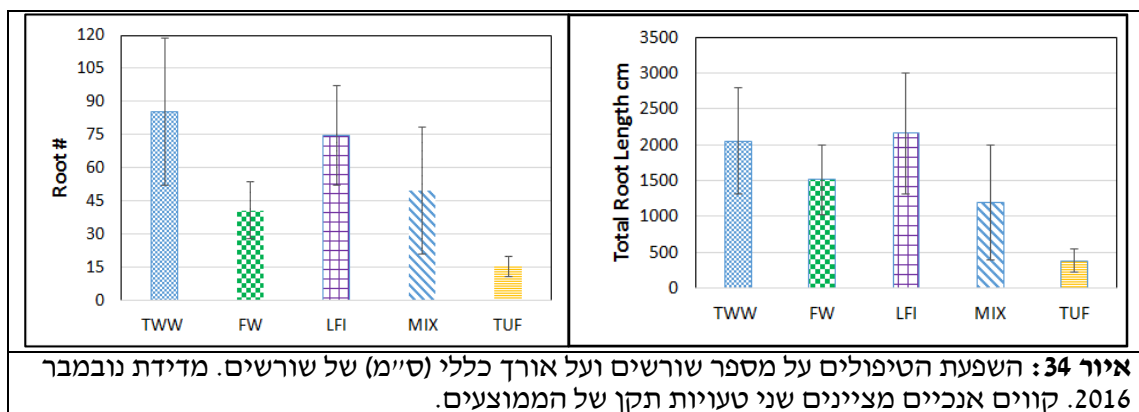


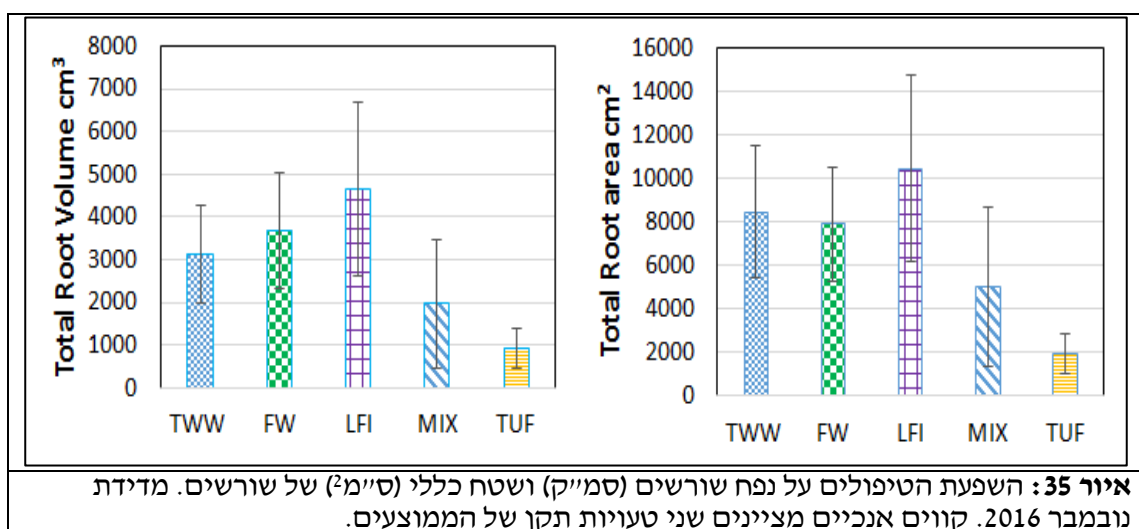
איורים 30 ו-31 מראים את הממוצע זרימה שעתית באמצע היום עבור אותם תנאים באוקטובר 2016. בשני המקרים הערכים גבוהים באופן מובהק בטיפולים LFI ו-MIX מאשר בטיפול TUF כאשר הטיפולים האחרים לא שונים מהאחרים. סה"כ יומי עבור LFI 140 לי לעץ, ועבור MIX ו-TUF 136 ו-75 בלבד בהתאמה. אם נסכם לפי 21 מ"מ לעץ אזי ערכים אלה הם 6.5, 6.7 ו-3.6 מ"מ ליום.

פוטוסינתזה ומוליכות עלים לאדי מים: התוצאות עבור אוקטובר מובאות באיור 32 ו-33. ערכי פוטוסינתזה ומוליכות עלים אלה סבירים עבור עצים פעילים ולא נמצאו הבדלים מובהקים בין הטיפולים.

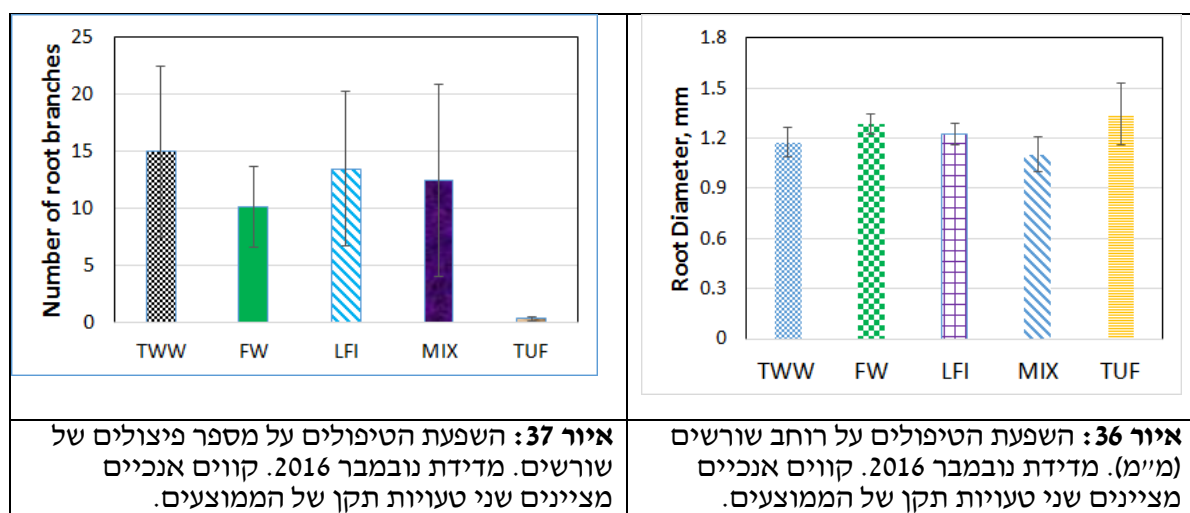


מידת צמיחת שורשים בסריקה דרך צינורות שקופים (Minirhizotron): חלק מהתוצאות של הניתוח עבור המדידות של ה- 22.11.2016 מובאות באיורים 34 עד 42.



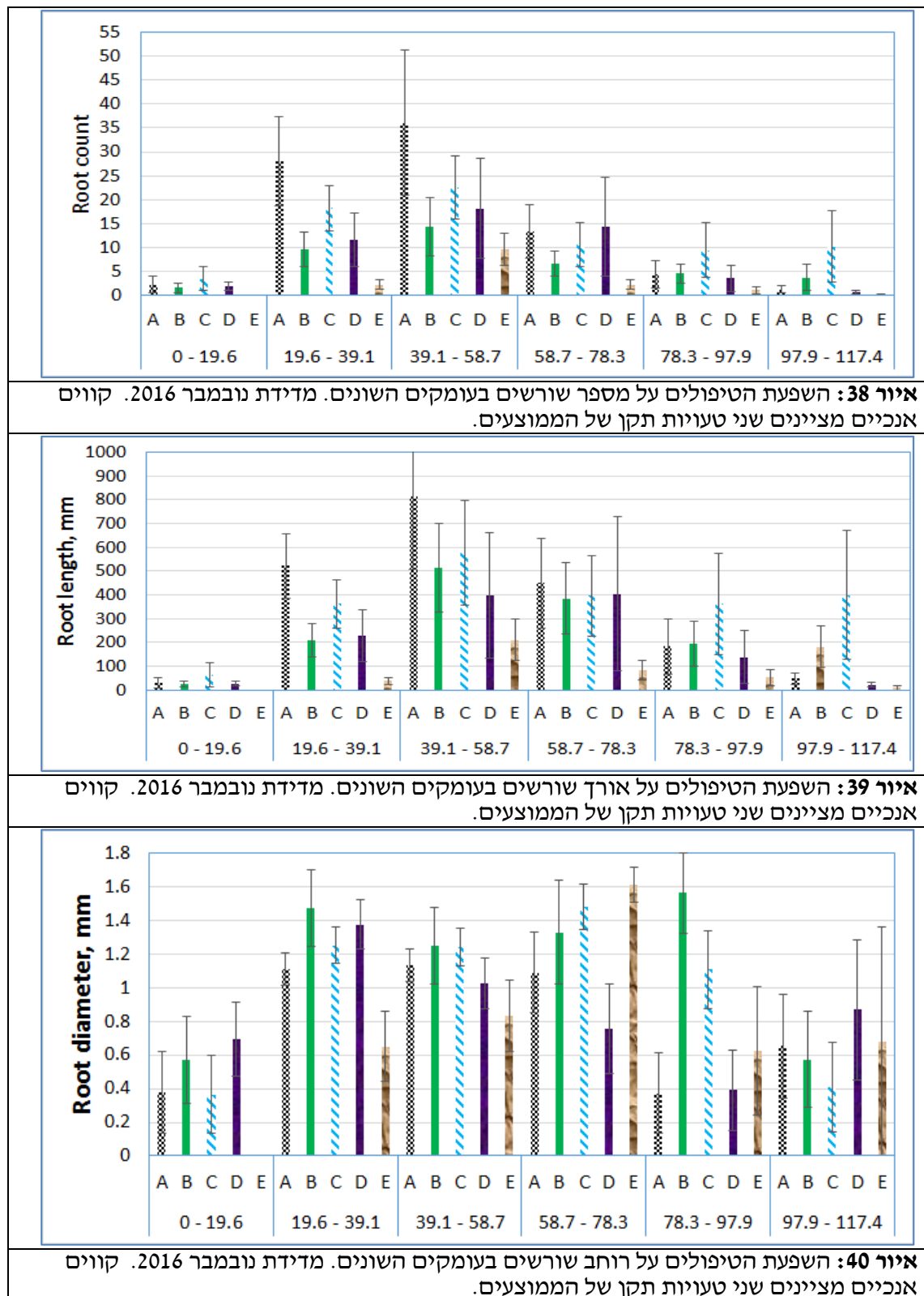


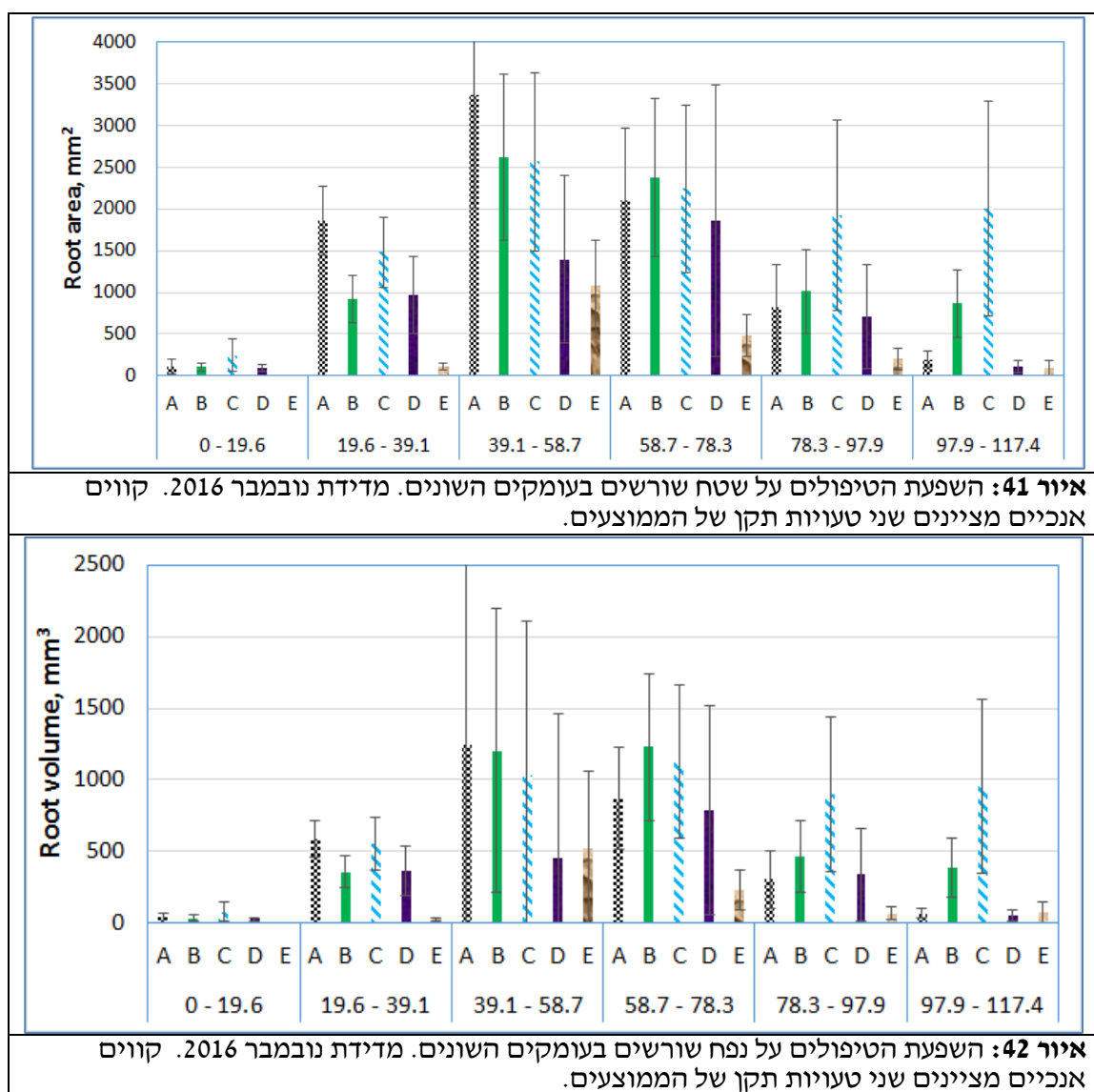
ספירת שורשים כללית (איור 35) הראו שעבור TUF יש הרבה פחות שורשים. שימו לב שהצינור השקוף בטיפול TUF הוכנס בתוך תעלת הטוף אבל עומק הטוף היה עד 40 ס"מ בלבד. אורך השורשים היה גם פחות בטיפול TUF מאשר באחרים בכמעט סדר גודל. הבדל זה מובהק בניתוח T-Test, אבל לא במבחן Tukey HSD. תוצאות עבור שטח ונפח שורשים מראים אותה מגמה, מכיוון שהם מחושבים מהאורך של השורשים. לאומת זאת, הרוחב של השורשים (איור 36) היה הכי גבוה בטיפול TUF למרות שהבדל זה איננו מובהק.



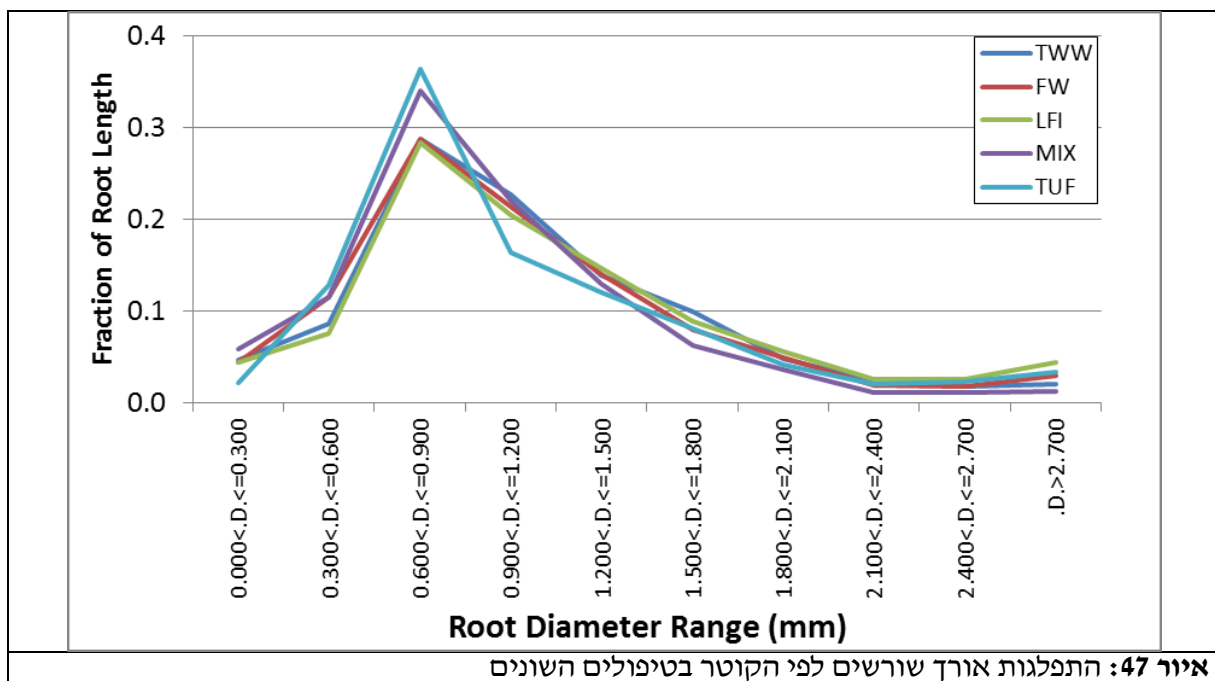
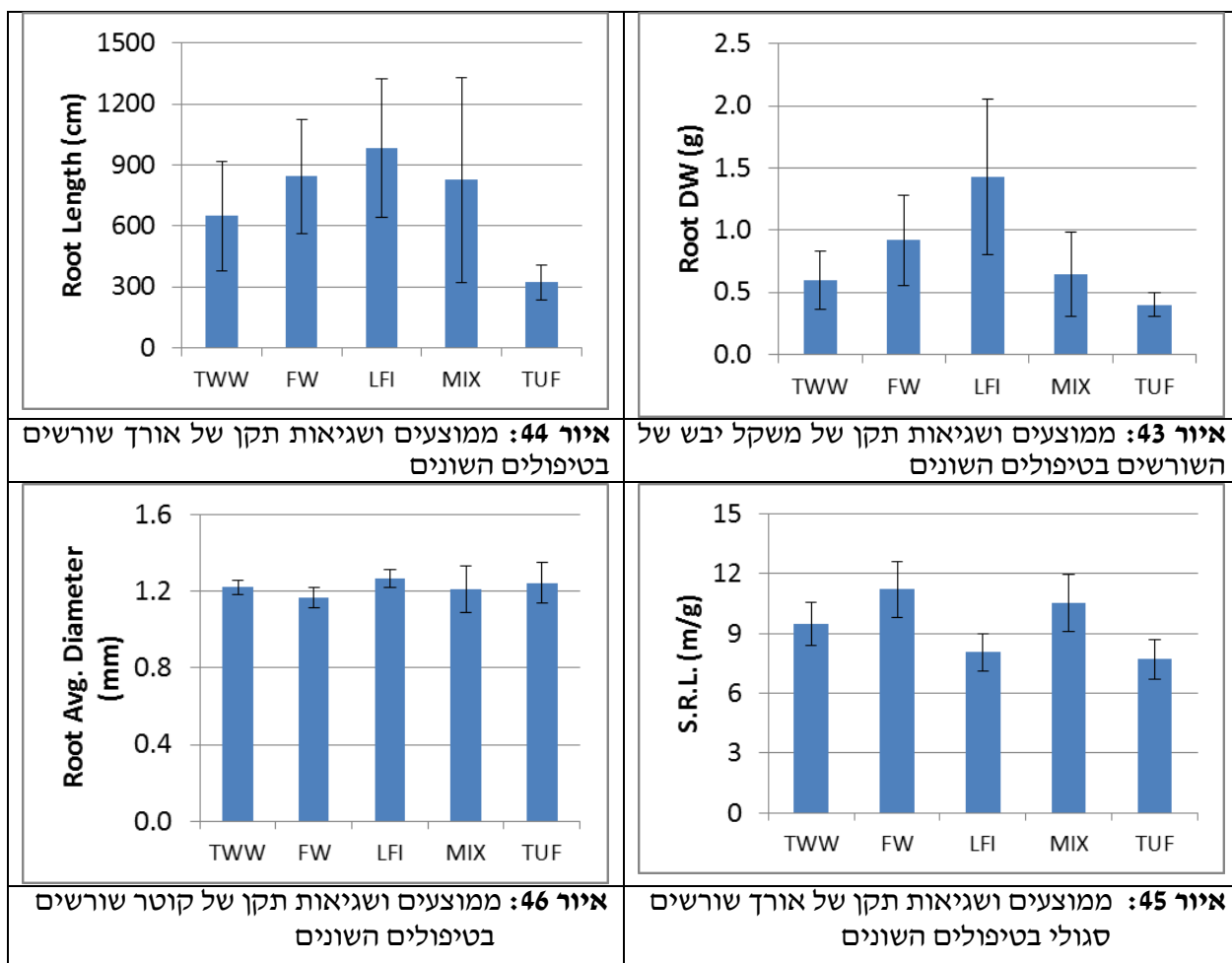
תוצאות עבור עומקים שונים מובאים באיורים 38-42. מספר הרב ביותר של שורשים נמצא ב-40 ס"מ העליונים של טיפול TWW. בעומקים 80-120 ס"מ מספר הרב ביותר של שורשים נמצא בטיפול LFI. ב-20 ס"מ העליונים של הקרקע לא נמצא אף שורש אחד ב-TUF, שכולו מורכב מטוף. המגמות באורך של השורשים היו דומות למגמות עבור מספר שורשים. רוחב שורשים בעומקים השונים מובא באיור 40. עבור טיפול MIX השורשים היו עבים יותר בעומקים 0 עד 20 ו-100 עד 120 ס"מ. השורשים הרחבים ביותר נמצאו בטיפול TUF בעומקים 60 עד 80 ס"מ.

כפי שניתן לשער מהתוצאות של מספר ואורך שורשים, השטח של שורשים היה הכי גבוה בטיפולים MIX ו- TWW בעומקים 80-120 ו-20-60 בהתאמה. נפח השורשים היה הכי גבוה עבור LFI בעומקים 80-120.





מדידת צמיחת שורשים בשיטת גלילי רשת (Ingrowth Cores): תוצאות המדידה של השורשים שצמחו אל תוך גלילי הרשת בחמשת החודשים (22/11/2016 – 13/6/2016) מוצגות באיורים 43–47. ברוב הגלילים נמצאו כמויות גדולות של שורשים, הדבר מעיד על האפשרות לקצר את תקופת המדידה ועדיין לקבל תוצאות משמעותיות. קצב הגידול הגבוה ביותר (איורים 43 ו-44) היה בטיפול ממשק השקיה (LFI), אך הוא אינו שונה באופן מובהק מרוב הטיפולים, פרט לטיפול תעלות הטוף (TUF) שבו הייתה צמיחה מואטת ביותר אל תוך הגלילים. אורך השורשים הסגולי (Specific Root Length) מבטא את ניצול משאבי העץ לייצור אורך שורשים. נראה שאין הבדלים מובהקים בין הטיפולים במדד זה. גם במדד קוטר השורשים הממוצע (איור 46) והתפלגות אורך השורשים לפי הקוטר (איור 47) לא נמצאו הבדלים מובהקים בין הטיפולים.



השונות בין החזרות אמנם גדולה אך היא דומה למה שהכרנו במדידות השורשים באותה שיטה במטע בעכו במסגרת המיזם הקודם. נראה שלא היו לנו תקופות מדידה מקבילות לצורך השוואה, אך מבחינת סדרי הגודל של קצבי הצמיחה בטיפולי FW, TWW הנתונים דומים לאלה שנמצאו שם.

התוצאות של קצב צמיחת השורשים לגילי הרשת מעידות שההבדלים בין הטיפולים אינם מובהקים עדיין. ייתכן שבהמשך ההבדלים ילכו ויתבהרו, ככל שתהיה השפעה של הטיפולים גם על צמיחת הנוף של העצים. המדידות הנמוכות בטיפול TUF מוסבר כנראה בכך שבטיפול זה היה על השורשים לצמוח אל הגליל משולי התעלה, בעוד שבשאר הטיפולים השורשים כבר היו סביב הגליל. הנחתנו היא שבמהלך הניסוי יגיעו השורשים גם בתעלות עד לגליל והנתונים יסקפו הבדלים בקצב צמיחה.

ריכוזי מינרלים בעלים ובדגימות גזע: בחומר הצמחי שנדגם בנובמבר 2016 לא נמצאו הבדלים מובהקים בין הטיפולים בריכוז המינרלים בשורש, בגזע ובעלים (טבלאות 5, 6 ו-7). בחלק מהמינרלים נמצאו הבדלים מובהקים בין העלים הצעירים למבוגרים (טבלה 8). בשלב הנוכחי פרט לכלוריד ריכוז היסודות היה בתחום שהוגדר ע"י Lahav and Kadman (1980) כתקין (טבלה 10).

טבלה 5: ריכוז מינרלים במ"ג/ק"ג ברקמות השורש. נדגמו שורשים משלושה עצים בכל 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. בתעלת הטוף נמצאו בשלב זה שורשים מעטים בלבד. $P \leq 0.05$ Tukey-kramer (LSD), ANOVA.

הטיפול	Na	P	K	S	Mg	Mn	Zn	Ca	Fe	B	Cl
TWW	10439	1615	2376	1484	853	49	17	6577	1676	13	3401 B
FW	6819	1624	3693	1184	1271	58	31	9649	1644	14	4024 B
LFI	9243	2644	4496	1670	1955	74	36	11576	2027	19	5627 AB
MIX	7479	1241	3252	1060	907	58	43	6975	1570	12	3703 B
TUF S	10493	2394	4094	1915	2169	105	44	9428	3608	15	7094 AB
TUF	14205	2173	5517	2522	3668	81	40	9999	2196	13	12567 A
P Value	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	0.0118

טבלה 6: ריכוז המינרלים במ"ג/ק"ג ברקמות הגזע. דגימות משלושה 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.

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

הטיפול	Na	P	K	S	Mg	Mn	Zn	Ca	Fe	B	Cl
TWW	1743	668	3667	451	808	18	10	3547	156	4	9267
FW	1391	496	3410	331	429	8	11	2055	73	4	8027
LFI	1446	532	2777	337	539	7	10	2312	49	5	4521
MIX	1755	505	2621	339	500	9	10	2731	96	3	5152
TUF	1224	493	2519	254	376	7	9	1884	56	3	5951
P Value	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s

מדידות המינרלים מצביעות כי ריכוז הנתרן בעלים היה נמוך באופן מובהק מהריכוז בגזע ובשורש. ריכוז הנתרן בעלים של האבוקדו נמוך מאשר בעלים של גידולים רבים אחרים.

המסקנה מממצאים אלו היא שאבוקדו נמנה על המינים שמסוגלים למנוע הגעת יוני נתרן לעלים יתכן שע"י דחיקת נתרן מהשורש בחזרה לקרקע אך גם ע"י מידור הנתרן ברקמות השורש והגזע. קיימות

דוגמאות דומות לכך ממינים אחרים בעיקר מינים עשבוניים שבהם נערכו הבדיקות. מידור נתרן בשורש נמצא בשעועית, בתירס ובגפן. מידור נתרן בגבעול נמצא בפלפל ובמינים נוספים. מסקנה יישומית מהתוצאות שנתקבלו באבוקדו בהקשר לנתרן היא שאנליזה מינרלית של עלים אינה מתאימה לגלות את כמות הנתרן שהעץ קלט וכנראה גם לא את מידת הרגישות של העץ לריכוזים גבוהים של נתרן.

ברכיכוזי המינרלים בעלים (צעירים + בוגרים) לא נמצא הבדל מובהק בין הטיפולים (טבלה 7). לעומת זאת כאשר בוחנים את ריכוזי המינרלים בעלים הצעירים והבוגרים בנפרד בכל הטיפולים גם יחד נמצאו הבדלים מובהקים בריכוזים של מספר יסודות. ביסודות Na, S, Zn ו-Fe לא נמצא הבדל מובהק בין העלים הצעירים למבוגרים. ריכוזם של היסודות K, P ו-B גבוה באופן מובהק בעלים הצעירים מאשר במבוגרים. לעומת זאת ריכוז Ca, Mn, Mg ו-Cl היה באופן מובהק גבוה יותר בעלים המבוגרים. בהשוואה בין ריכוזי היסודות בעלים בשני האתרים, יסעור ועכו (טבלה 9), נמצא כי פרט לריכוז הכלור הגבוה ביסעור, בשאר היסודות קיים דמיון הן בין העלים של העצים שהושקו בקולין TWW והן בעלים של בעצים שהושקו במים השפירים FW.

טבלה 7: ריכוז המינרלים בעלים במ"ג/ק"ג. עלים נדגמו משלושה עצים בכל טיפול, עץ לחזרה. בכל עץ נדגמו שמונה עלים צעירים ושמונה עלים מבוגרים. $P \leq$ ANOVA, (LSD) Tukey-kramer 0.05

הטיפול	Na	P	K	S	Mg	Mn	Zn	Ca	Fe	B	Cl
TWW	56.4	1571 B	11187	2676.6	5217.8	107.9	31.1	14433	66.9	39.4	3502
FW	51.3	1735 AB	11382	2440.6	4344.2	96.5	28	13316.5	67.0	34.3	1913
LFI	44.8	1837 A	11388	2905.7	5290.2	101.2	26	13320.9	60.5	32.0	2169
MIX	48.5	1633 AB	10812	2838.1	4874.6	128.9	29	13586.9	77.9	32.0	3142
TUF	53.2	1715 AB	11852	2735.2	5225.1	120.0	29	15599.9	65.6	38.3	3179
P	n.s	0.038	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s

טבלה 8: השפעת גיל העלה על ריכוז המינרלים במ"ג/ק"ג בחמשת הטיפולים: TWW, FW, LFI, MIX, TUF. בוצעה אנליזה נפרדת לעלים צעירים ולעלים מבוגרים. שלושה עצים לטיפול, שמונה עלים צעירים ובוגרים מכל עץ. ANOVA, Student-t at $P \leq 0.05$

	Na	P	K	S	Mg	Mn	Zn	Ca	Fe	B	Cl
בוגרים	55 A	1381 A	9404 A	2906.A	6024.A	152 A	25.A	16971 A	71 A	31 A	3440 A
צעירים	46 B	2014 B	13244 B	2532.B	3956.B	69 B	32 B	11131 B	63 B	39 B	2123 B
P	0.0389	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0299	<.0001	<.0001	0.0158	0.0348

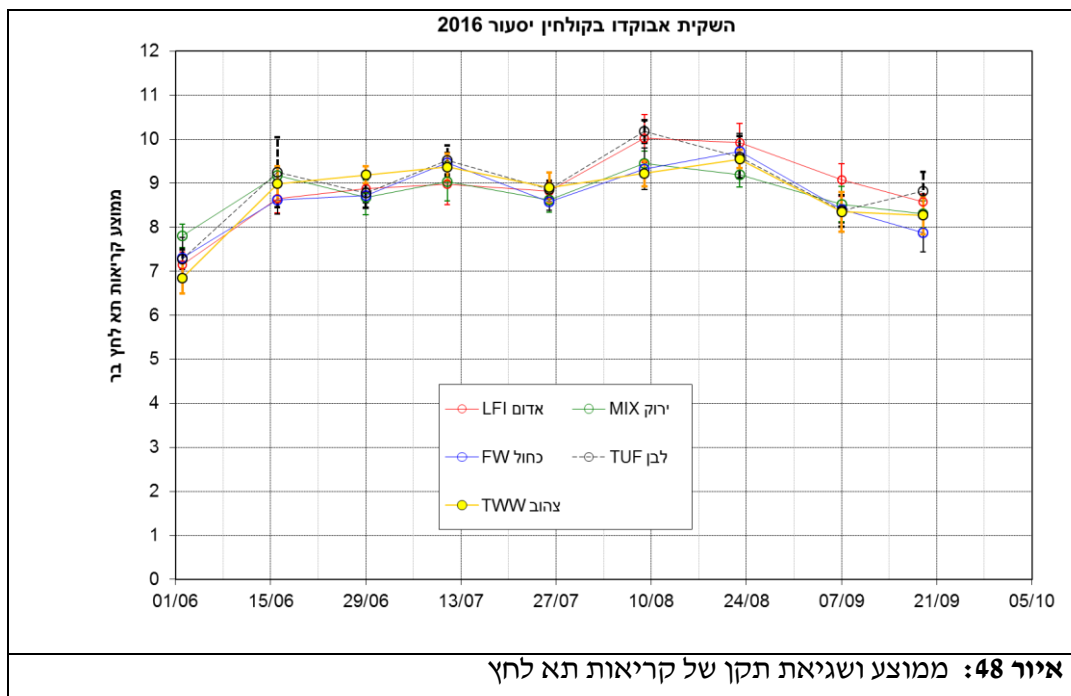
טבלה 9: ריכוז המינרלים במ"ג/ק"ג בעלים מטיפולי TWW ו-FW במטע האבוקדו יסעור. התוצאות ממטע עכו הם ממוצע של דגימות סתיו בשלוש שנים עוקבות.

טיפול	Cl	B	Fe	Ca	Zn	Mn	Mg	S	K	P	Na	אתר
TWW	3502	39	67	14433	31	107	5217	2676	11187	1571	56	יסעור
	2700	23	54	14000	-	87	5400	2200	9400	1700	28	עכו
FW	1913	34	67	13316	28	96	4344	2440	11382	1734	51	יסעור
	1400	16	58	20000	-	127	6800	2100	6400	1600	36	עכו

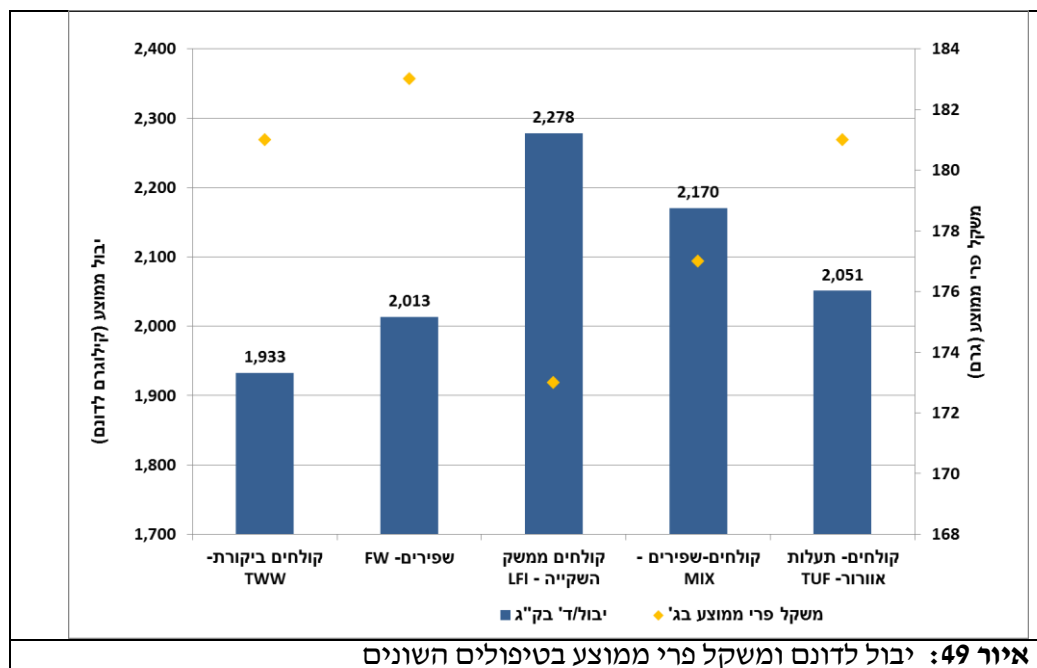
טבלה 10: תחום ריכוזי המינרלים בעלי אבוקדו, נמוך וגבוה עפ"י Lahav and Kadman (1980).

תחום	Na	P	K	S	Mg	Mn	Zn	Ca	Fe	B	Cl
lower	100	800	7500	2000	2500	30	50	10000	50	50	700
upper	200	2500	20000	6000	8000	500	200	30000	200	100	2300

תא לחץ: במהלך עונת ההשקיה לא נמצאו הבדלים מובהקים בקריאות תא הלחץ בעצים של הטיפולים השונים (איור 48).



יבול: לא נמצאו הבדלים מובהקים בין הטיפולים במשקל הפרי הכללי לדונם, במשקל לעץ, במספר הפירות לעץ ובמשקל הפרי הממוצע (איור 49).



6. סיכום ומסקנות

במהלך השנה הראשונה של המיזם הוקמה חלקת הניסוי במטע האבוקדו של קיבוץ יסעור. בחלקה 5 טיפולים ב- 6 חזרות באקראיות גמורה. בטיפולים נבחנו פתרונות אגרוטכניים למניעת או מזעור ההשפעות השליליות של ההשקיה בקולחים בקרקעות עם תכולת חרסית גבוהה.

מקור הקולחים הינו ממאגר יסעור אליו מוזרמים ממט"ש כרמיאל ומתאפיינים ריכוזי אשלגן גבוה.

בתום השנה הראשונה כל הציוד למעקב אחר תהליכים בקרקע ובעץ הותקנו במתכונת שתוכננה והחוקרים התחילו לצבור נתונים שמוצגים באופן חלקי בדו"ח הנוכחי.

התוצאות בדיקות הקרקע מדיגום סתווי מראות השפעה מזיקה של ההשקיה בקולחים על מספר תכונות (מוליכות חשמלית, ESP/SAR ומוליכות הידראולית) שיש להן השפעה חשובה על איכות הקרקע ועל התפתחות מטע האבוקדו ותנובתו. בעזרת המידע שנצבר מהתוצאות שהתקבלו במהלך שנת המחקר המדווחת ניתן יהיה להעריך האם הטיפולים שנבדקים במחקר אכן ימנעו נזק לקרקע ולמטע מהשקיה בקולחים.

ריכוזי החמצן בבית השורשים בעומק 35 ס"מ היו נמוכים ודומים בטיפולים שהושקו בממשק רגיל בכל איכויות המים שנבדקו. לעומת זאת בטיפול תעלות האוורור (טוף) נמדדו ריכוזי חמצן גדולים באופן ניכר. ערכי רדוקס בעומק 35 ס"מ עדיין ראשוניים להבחנה של השפעות הטיפולים.

מטרת העבודה בשנה הראשונה למחקר הייתה ליישם מודל פיסיקלי מורחב של זרימה והסעה למערכת זרימה מציאותית (סקאלת שדה, תלת-ממדית, הטרוגנית) הכוללת מטע המושקה במים מושבים ולבחון את תגובת מערכת הזרימה לסוג התווך הנקבובי הממלא את תעלות האוורור.

תוצאות המחקר, המוגבלות לעונת השקיה אחת, מראות שנוכחות תעלות האוורור משפיעה על פירוס הרטיבות והמליחות ורמת האוורור בקרקע, ולכן על קליטת המים ע"י שורשי העצים. לעומת זאת השפעת תעלות האוורור על רמת ספיחת הנתרן בקרקע, ולכן על המוליכות ההידרולית של הקרקע, יחסית נמוכה.

התוצאות מראות שביחס לקליטת מים ע"י שורשי העצים, תעלות אוורור עם תווך נקבובי יחסית גס-גרגר (חול) יעילות יותר מאלה עם תווך נקבובי שמרקמו גס יותר (טוף). זה נובע מכך שהתכונות ההידרוליות של החול מאפשרות שיפור רמת האוורור בבית השורשים תוך שמירה על מוליכות הידראולית לא-רוויה מספיק גבוהה לקיום שטפי מים הנדרשים בבית השורשים. צרוף זה אינו מתקיים בתעלות האוורור המכילות טוף.

המדידות הפיסיולוגיות בעצים בשנת המחקר הראשונה מראים באופן ברור את הירידה בכושר תובלת מים בעצים בטיפול TUF בזרימה בגזע וגם בשורשים. ייתכן שבהמשך העצים האלה, שנפגעו בזמן חפירת התעלות, יתאוששו ונוכל לראות את ההשפעה של אוורור הקרקע בשיפור מצבם.

מדידות שורשים בעזרת שיטת המיני-ריזוטרון הניבו תמונה ברורה של הבדלים בהתפתחות שורשים בטיפולים השונים המאשרים שהשורשים הינם האיבר הכי רגיש, לפחות בטווח הקצר, בטיפול השקיה באיכויות מים שונות ובטיפולים שמשנים את הכימיה ומאפיינים אחרים של הקרקע. מספר הרב ביותר של שורשים נמצא ב-40 ס"מ העליונים של טיפול TWW. בעומקים 80-120 מספר הרב ביותר של שורשים נמצא בטיפול LFI. ב-20 ס"מ העליונים של הקרקע לא נמצא אף שורש אחד ב-TUF, שכולו

מורכב מטוף. המגמות באורך של השורשים היו דומות למגמות עבור מספר שורשים. עבור טיפול MIX השורשים היו עבים יותר בעומקים 0 עד 20 ו-100 עד 120 ס"מ. השורשים הרחבים ביותר נמצאו בטיפול TUF בעומקים 60 עד 80 ס"מ.

כפי שניתן לשער מהתוצאות של מספר ואורך שורשים, השטח של שורשים היה הכי גבוה בטיפולים MIX ו- TWW בעומקים 80-120 ו-20-60 בהתאמה. נפח השורשים היה הכי גבוה עבור LFI בעומקים 80-120. אפיון התפתחות השורשים בשיטת גלילי רשת (Ingrowth Cores) הראה שהשונות בין התוצאות של החזרות השונות אמנם גודלה אך דומה לממצאים במדידות השורשים באותה שיטה במטע בעכו במסגרת המיזם הקודם וכך גם הערכים שהתקבלו לגבי קצב הצמיחה אשר מעידות שההבדלים בין הטיפולים אינם מובהקים עדיין. ייתכן שבהמשך ההבדלים ילכו ויתבהרו, ככל שתהיה השפעה של הטיפולים גם על צמיחת הנוף של העצים. המדידות הנמוכות בטיפול TUF מוסבר כנראה בכך שבטיפול זה היה על השורשים לצמוח אל הגליל משולי התעלה, בעוד שבשאר הטיפולים השורשים כבר היו סביב הגליל. הנחתנו היא שבמהלך הניסוי יגיעו השורשים גם בתעלות עד לגליל והנתונים ישקפו הבדלים בקצב צמיחה.

המסקנה ממצאי בדיקת ריכוז המינרלים בעץ היא שאבוקדו נמנה על המינים שמסוגלים למנוע הגעת יוני נתרן לעלים יתכן שע"י דחיקת נתרן מהשורש בחזרה לקרקע אך גם ע"י מידור הנתרן ברקמות השורש והגזע. קיימות דוגמאות דומות לכך ממינים אחרים בעיקר מינים עשבוניים שבהם נערכו הבדיקות. מידור נתרן בשורש נמצא בשעועית, בתירס ובגפן. מידור נתרן בגבעול נמצא בפלפל ובמינים נוספים. מסקנה יישומית מהתוצאות שנתקבלו באבוקדו בהקשר לנתרן היא שאנליזה מינרלית של עלים אינה מתאימה לגלות את כמות הנתרן שהעץ קלט וכנראה גם לא את מידת הרגישות של העץ לריכוזים גבוהים של נתרן.

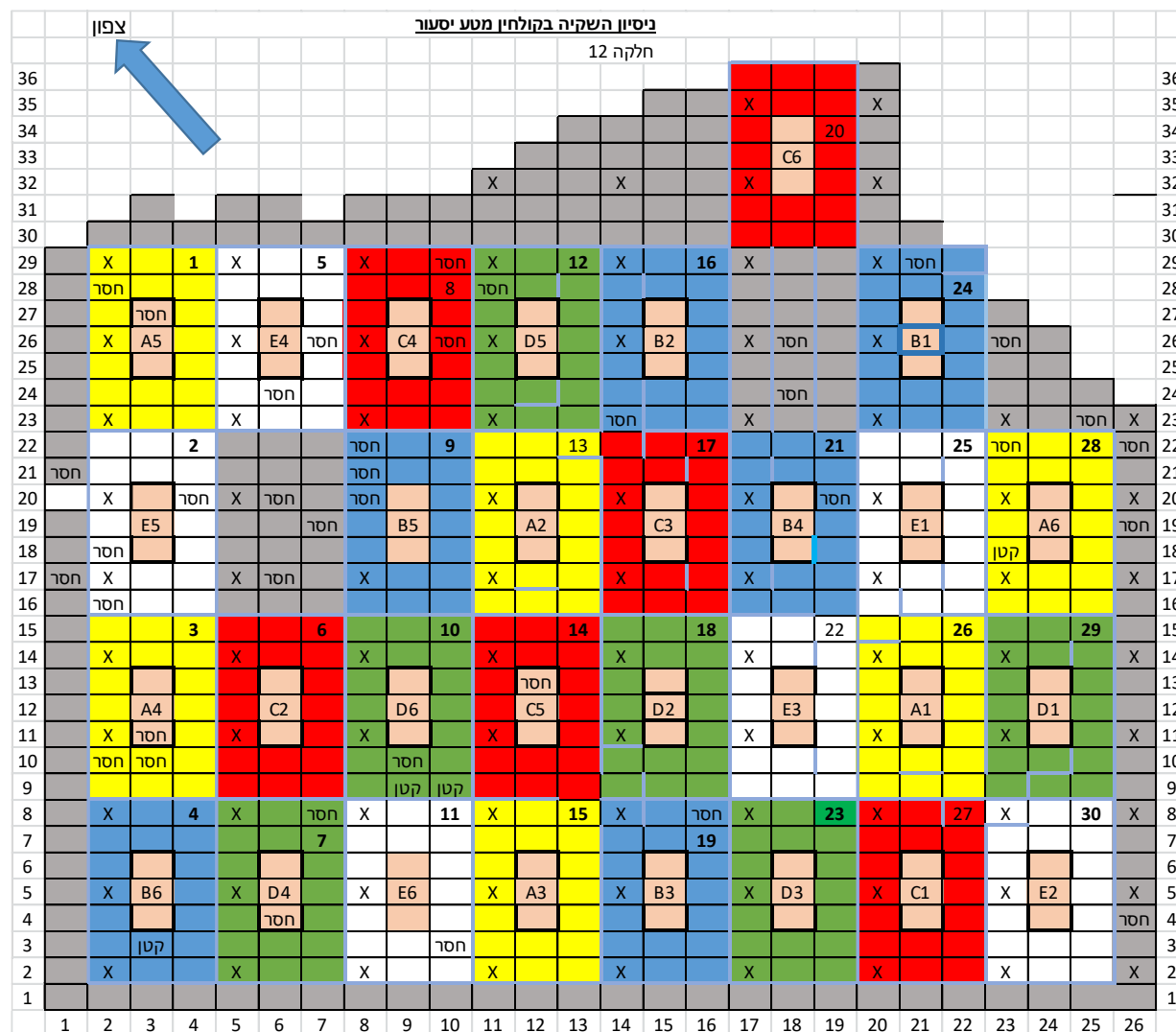
במהלך השנה הראשונה של הפעלת הטיפולים במיזם לא נמצאו הבדלים בפוטנציאל המים בעץ וגם לא ביבול (משקל הפרי, מספר הפירות ומשקל פרי ממוצע).

7. רשימת ספרות:

- Eshel, G., Levy, G.J., Mingelgrin, U. and Singer, M.J. (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., Fine, P., Goldstein, D., Azenkot, A., Zilberman, A., Chazan, A., and Grinhut, T. (2014). Long term irrigation with treated wastewater (TWW) and soil sodification. *Biosys. Engin.* 128: 4-10.
- Levy, G.J., Dag, A., Raviv, M., Zipori, I., Medina, Sh., Saadi, I., Krasnovski, A., Eizenberg, H., Laor, Y. 2017. Annual spreading of olive mill wastewater over consecutive years: Effects on cultivated soil physical properties. *Land Degrad. Develop.* (submitted).
- Bardhan, G., D. Russo, D. Goldstein and G.J. Levy, Changes in the hydraulic properties of a clay soil under long-term irrigation with treated wastewater, *Geoderma*, 264,1-9, doi:10.1016/j.geoderma.2015.10.004, 2015.
- Naasz, R., Michel, J.-C., Charpentier, S. 2008. Modeling oxygen and water flows in peat substrate with root uptakes. *Acta Horticulturae*, 779, 191-197, 1984.

- Russo, D., Consequences of salinity-induced-time-dependent soil hydraulic properties on flow and transport in salt-affected soils. *Procedia Environmental Sciences* 19: 623-632, DOI: 10.1016/j.proenv.2013.06.071, 2013.
- Russo, D., and E. Bresler, Analysis of the saturated-unsaturated hydraulic conductivity in a mixed Na/Ca soil system. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41(4): 706-710, 1977.
- Russo, D., J. Zaidel, and A. Laufer, Numerical analysis of flow and transport in a combined heterogeneous vadose zone-groundwater system. *Adv. Water Resour.* 24: 49-62, 2001.
- Russo, D., J. Zaidel, and A. Laufer, Numerical analysis of transport of interacting solutes in a three-dimensional unsaturated heterogeneous soil. *Vadose Zone Journal* 3: 1286-1299, 2004.
- Russo, D., J. Zaidel and A. Laufer, Numerical analysis of solute transport from trickle sources in a combined desert soil-imported soil flow system. *Vadose Zone Journal* 7:53-66, doi:10.2136/vzj2007.0050, 2008.
- Russo, D., A. Laufer, G. Bardhan, and G. J. Levy, 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. *Journal of Hydrol.* 512: 605-618. doi:10.1016/j.jhydrol.2015.04.013, 2015.
- Salgado, E., and R. Cautin, Avocado root distribution in fine and coarse-textured soils under drip and micro-sprinkler irrigation, *Agricultural Water Management* 95, 817 – 824, 2008.
- 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. *Israel J. Plant Sci.* In Press.

נספח 1: תוכנית חלקת הניסוי



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

טבלה מסכמת של ביצוע המיזם בשנה א'

ממד להתקדמות או השלמת הפעילות – התוצאות מוצגות בגוף הדו"ח	אבן דרך
נבחרה חלקה, נעשה מיפוי של העצים, כולל זנים ועצים חסרים. סומנו החזרות ולפי הטיפולים.	התאמת החלקה והטיפולים
האלקטרודות הותקנו והמדירות החלו.	התקנת אלקטרודות redox וחמצן
הותקנו חיישנים למדידת רטיבות ומוליכות חשמלית	התקנת טנסיומטרים ומשאבים
נמערכות למדידת שורשים בשתי שיטות הותקנו	התקנת מערכות למעקב אחר התפתחותה שורשים
המדירות החלו בהתאם לתוכנית ובהתאם לקצב רכישת הצידוד, כיול והתקנתו	מעקבים ומדירות לפי התוכנית
נעשה ניתוח של התוצאות שנאספו בשנה הראשונה.	ניתוח תוצאות
הדו"ח בהנוכחי מוגש בהתאם למועד הקבוע על פי הנחיות המדען הראשי.	דו"ח ביניים

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 האגרוטכניות הבאות למניעה ואו מזעור של נזקים לקרקע ולעצים מהשקיה בקולחים בקרקעות כבדות.
עיקרי התוצאות
התוצאות בדיקות הקרקע מדיגום סתווי מראות השפעה מזיקה של ההשקיה בקולחים על מספר תכונות (מוליכות חשמלית, ESP/SAR ומוליכות הידראולית). ריכוזי החמצן בבית השורשים בעומק 35 ס"מ היו נמוכים ודומים בטיפולים שהושקו בממשק רגיל בכל איכויות המים שנבדקו. לעומת זאת בטיפול תעלות האוורור (טוף) נמדדו ריכוזי חמצן גדולים באופן ניכר. ערכי רדוקס בעומק 35 ס"מ עדיין ראשוניים להבחנה של השפעות הטיפולים. תוצאות המחקר, המוגבלות לעונת השקיה אחת, מראות שנוכחות תעלות האוורור משפיעה על פירוס הרטיבות והמליחות ורמת האוורור בקרקע, ולכן על קליטת המים ע"י שורשי העצים. לעומת זאת השפעת תעלות האוורור על רמת ספיחת הנתרן בקרקע, ולכן על המוליכות ההידרולית של הקרקע, יחסית נמוכה. המדידות הפיסיולוגיות בעצים בשנת המחקר הראשונה מראים באופן ברור את הירידה בכושר תובלת מים בעצים בטיפול TUF בזרימה בגזע וגם בשורשים. מדידות שורשים בעזרת שיטת המיני-ריזוטון הניבו תמונה ברורה של הבדלים בהתפתחות שורשים בטיפולים השונים המאשרים שהשורשים הינם האיבר הכי רגיש. התעלה, בעוד שבשאר הטיפולים השורשים כבר היו סביב הגליל. הנחתנו היא שבמהלך הניסוי יגיעו השורשים גם בתעלות עד לגליל והנתונים ישקפו הבדלים בקצב צמיחה. המסקנה ממציא בדיקת ריכוז המינרלים בעץ היא שאבוקדו נמנה על המינים שמסוגלים למנוע הגעת יוני נתרן לעלים יתכן שע"י דחיקת נתרן מהשורש בחזרה לקרקע אך גם ע"י מידור הנתרן ברקמות השורש והגזע. קיימות דוגמאות דומות לכך ממינים אחרים בעיקר מינים עשבוניים שבהם נערכו הבדיקות. במהלך השנה הראשונה של הפעלת הטיפולים במיזם לא נמצאו הבדלים בפוטנציאל המים בעץ וגם לא ביבול (משקל הפרי, מספר הפירות ומשקל פרי ממוצע).
מסקנות מדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו. האם הושגו מטרות המחקר לתקופת הדו"ח?
מסקנות יוסקו בסוף השנה השניה של המחקר לאחר שיהיה סט מלא של מדידות.
בעיות שנותרו לפתרון ו/או שינויים (טכנולוגיים, שיווקיים ואחרים) שחלו במהלך העבודה; התייחסות המשך המחקר לגביהן, האם יושגו מטרות המחקר בתקופה שנותרה לביצוע תוכנית המחקר?
לא נתגלו בעיות בשנה הראשונה של המחקר.
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 ללא הגבלה: (סמן אחת מהאופציות)
ללא הגבלה (בספריות ובאינטרנט)
האם בכוונתך להגיש תוכנית המשך בתום תקופת המחקר הנוכחי? כן* - לא -
*יש לענות על שאלה זו רק בדו"ח שנה ראשונה במחקר שאושר לשנתיים, או בדו"ח שנה שניה במחקר שאושר לשלוש שנים

**משרד החקלאות – דף שער לדו"ח מדעי לתוכניות מחקר
לקרן המדען הראשי**

קוד זיהוי	א. נושא המחקר (בעברית)
0004 - 16 - 21	בחינת טיפולים למניעה ותיקון הנזק מהשקיה בקולחים במטעים בקרקעות כבדות

ג. כללי			
מוסד מחקר של החוקר הראשי			
מ"פ הערבה התיכונה			
סוג הדו"ח		תאריכים	
שנתי	תקופת המחקר	עבורה מוגש הדו"ח	
	התחלה	סיום	תאריך משלוח הדו"ח למקורות המימון
		שנה / חודש	שנה / חודש
		02 / 2016	02 / 2017
			04 / 2017

ב. צוות החוקרים		
שם פרטי	שם משפחה	חוקר ראשי
חוקרים משניים		
1	בר טל	אשר
2	שנקר	משה
3	לוי	גיא
4	אשל	עמרם
5	כהן	שבתאי
6	רוסו	דוד
7	פורמן	אלכס
8	שוורץ	אמנון
9	אפרת	יהונתן

ד. מקורות מימון עבורם מיועד הדו"ח		
שם מקור המימון		קוד מקור מימון
קרן המדען הראשי	□□□□□	□□□□□
	□□□□□	□□□□□
סכום שאושר למחקר בשנת תיקצוב הדו"ח בשקלים		225,000

ה. תקציר
ה. תקציר שים לב - על התקציר להיכתב בעברית לפי סעיף ה' שבהנחיות לכתיבת דיווחים מטרת המחקר הכללית הינה מציאת מענה לתופעת הפגיעה במטעים המושקים בקולחים בקרקעות כבדות. במהלך השנה הראשונה של המיזם הוקמה חלקת הניסוי במטע האבוקדו של קיבוץ יסעור. בחלקה 5 טיפולים ב- 6 חזרות באקראיות גמורה. בטיפולים נבחנו פתרונות אגרוטכניים למניעת או מזעור ההשפעות השליליות של ההשקיה בקולחים בקרקעות עם תכולת חרסית גבוהה. נערכו בדיקות מים וקרקע. הותקנו חיישני לבדיקת רטיבות הקרקע, ריכוז החמצן בקרקע ומדידות של פוטנציאל רדוקס. בצמח נבדה תכולת המינרלים באברים שונים, זרימת המים בעץ, התפתחות שורשים, תא לחץ והיבול והרכבו. כמו כן, נבנה מודל לבחינת הסעת מים במומסים בקרקע. התוצאות בדיקות הקרקע מדיגום סתווי מראות השפעה מזיקה של ההשקיה בקולחים על מספר תכונות הקרקע. ריכוזי החמצן בבית השורשים בעומק 35 ס"מ היו נמוכים ודומים בטיפולים שהושקו בממשק רגיל בכל איכויות המים שנבדקו. לעומת זאת בטיפול תעלות האוורור (טוף) נמדדו ריכוזי חמצן גדולים באופן ניכר. ערכי רדוקס בעומק 35 ס"מ עדיין ראשוניים להבחנה של השפעות הטיפולים. תוצאות המחקר, המוגבלות לעונת השקיה אחת, מראות שנוכחות תעלות האוורור משפיעה על פירוס הרטיבות והמליחות ורמת האוורור בקרקע, ולכן על קליטת המים ע"י שורשי העצים. לעומת זאת השפעת תעלות האוורור על רמת ספיחת הנתרן בקרקע, ולכן על המוליכות ההידרולית של הקרקע, יחסית נמוכה. המדידות הפיסיולוגיות בעצים בשנת המחקר הראשונה מראים באופן ברור את הירידה בכושר תובלת מים בעצים בטיפול עם התעלות בזרימה גזע וגם בשורשים. מדידות שורשים בעזרת שיטת המיני-ריזוטרון הניבו תמונה ברורה של הבדלים בהתפתחות שורשים בטיפולים השונים המאשרים שהשורשים הינם האיבר הכי רגיש, לפחות בטווח הקצר. המסקנה ממציא בדיקת ריכוז המינרלים בעץ היא שאבוקדו נמנה על המינים שמסוגלים למנוע הגעת יוני נתרן לעלים יתכן שע"י דחיקת נתרן מהשורש בחזרה לקרקע אך גם ע"י מידור הנתרן ברקמות השורש והגזע. במהלך השנה הראשונה של הפעלת הטיפולים במיזם לא נמצאו הבדלים בפוטנציאל המים בעץ וגם לא ביבול (משקל הפרי, מספר הפירות ומשקל פרי ממוצע).

ה. אישורים

הנני מאשר שקראתי את ההנחיות להגשת דיווחים לקרן המדען הראשי והדו"ח המצ"ב מוגש לפיהן

1/4/17



חוקר ראשי

מנהל המחלקה

מנהל המכון
(פקולטה)

אמרכלות
(רשות המחקר)

רשות
המחקר

תאריך
(שנה) (חודש) (יום)