

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

תקציר

במטרה למצוא מענה לתופעת הדעיכה בביצועי המטעים המושקים בקולחים בקרקעות חרסיות הוקמה חלקת הניסוי במטע האבוקדו של קיבוץ יסעור ובה 5 טיפולים בהם נבחנים פתרונות אגרוטכניים למניעה, או מזעור, ההשפעות השליליות של ההשקיה בקולחים.

נערכו בדיקות מים וקרקע ומדידות רציפות של רטיבות, ריכוז החמצן ופוטנציאל רדוקס. בצמח נבדקו זרימת המים בעץ, פוטנציאל מים בעלים, וכן היבול. בנוסף, נבנה מודל לבחינת הסעת מים ומומסים בקרקע לבחינת ממשקים למזעור הבעיה.

למרות שהקולחים מכילים ריכוז DOC גבוהה בהרבה מאשר בשפירים אין הבדל מובהק ב- DOC בתמיסת הקרקע בין טיפולי מקור המים. ישנם הבדלים מובהקים בריכוזי ה- TDN לפי הסדר קולחים < מהולים > שפירים בהתאמה לריכוזי המים. להשקיה באינטרול ארוך לא הייתה השפעה על ארבעת המדדים הללו יחסית לטיפול הביקורת המשקי. לתעלות הטוף הייתה השפעה מובהקת על המדדים, במיוחד ה- DOC, שהיה נמוך באופן ניכר ומובהק מאשר בטיפול קולחים משקי בחתך הקרקע חוץ מהשכבה 30-60 ס"מ. ה- TDN והחנקן חנקתי בטיפול תעלות הטוף היו גבוהים באופן ניכר ומובהק מאשר בטיפול קולחים משקי בשכבות העמוקות.

למי המקור יש השפעה ניכרת ומובהקת על הרכב תמיסת הקרקע בסוף עונת ההשקיה, בעיקר על המוליכות החשמלית, ריכוזי הכלוריד, הנתרן וה- SAR כאשר סדר הריכוזים הוא קולחים < מהולים > שפירים. הרטיבות במהלך כ- 10 ימים מראה ממשק ההשקיה מובחן היטב. מעניין במיוחד הוא טיפול הטוף, בו הרטיבות עולה בעומק הקרקע בעוד שבפני הקרקע (לא מתחת לטפטפת) הרטיבות בעת השקיה כמעט ואינה עולה. בכל הטיפולים נראה שהרטיבות בעומק עולה בצורה משמעותית מאד לקראת סוף אירועי ההשקיה, לזמן מאד קצר.

תחום ערכי הרדוקס בטיפולים השונים צר יחסית ואינו חורג כמעט מהתחום המוגדר כמחומצן. בתקופת ההשקיה הפיזור ריכוז החמצן היה בטווח צר יותר והערכים אחידים יותר. בתקופה זו ערכי החמצן נעו לרוב בין 13% ל 16% בכל טיפולי הקרקע. בטיפול הטוף ערכי החמצן בתקופת ההשקיה נעו לרוב בין 17% ל- 19% וזאת הודות לתכונות הטוף – המרקם הגס והנקבובים הגדולים.

התנודות הגבוהות בריכוזי החמצן, בהתאם למחזורי ההשקיה, אפיינו את כל טיפולי הקולחים והם כללו ירידות לזמן קצר לערכים של 7-8% בטיפול הקולחים ולערכים מעט פחות נמוכים בטיפולים LFI ו-MIX. בטיפול השפירים הירידות היו מתונות יותר, ובטיפול הטוף כמעט לא נמדדו ערכים נמוכים מ-12%. ממוצעי הטיפול בתקופה המוצגת היו 12.1% בקולחים, 13.3% בשפירים, 13.1% ב-LFI, 14.9% בטיפול ה-MIX ו-16.6% בטיפול הטוף.

הטיפולים שעבורם בוצעו הסימולציות תלת-מימדיות הם: 1. ביקורת REF (השקיה בקולחים TWW), 2. FW (השקיה במים שפירים) 3. TUF (השקיה בקולחים TWW בתעלות שמולאו בטוף) ו-4. TUFp (השקיה ב-4 פולסים ביום).

בטיפול הקולחים REF, הטרנספירציה האקטואלית המצטברת, לא עלתה מעל 52% מהטרנספירציה הפוטנציאלית המצטברת באותה תקופה, כאשר בשנה הרביעית הייתה ירידה קלה לעומת השנה השנייה. בהשקיה במים שפירים (FW) קליטת המים בעונת ההשקיה בשנה הרביעית הייתה גבוהה ב-12.6% מאשר בביקורת, בדומה להשפעה בשנה השנייה. לעומת זאת לטיפול תעלות האוורור (TUF) הייתה השפעה חיובית גדולה יותר בשנה הרביעית מאשר בשנייה, שיפור של 24% לעומת 9.5% יחסית לטיפול הביקורת (REF). בדומה לכך הטיפול בתעלות אוורור בתדירות השקיה גבוהה TUFp שיפר בשנה הרביעית את קליטת המים יחסית לביקורת ב-35% לעומת 28.4% בשנה השנייה.

במידות זרימה בגזע במאי ויוני הצריכה הכי גבוהה של מים נמדדה בטיפול השפירים (FW) ולאחר מכן בטיפול הטוף (TUF) (לא מובהק). טיפולי הקולחים, המיחול והקולחים בתדירות נמוכה צרכו פחות מים בתחילת העונה עד יולי. בחודשים יולי ואוגוסט לא היו הבדלים מובהקים בין הטיפולים חוץ מאשר טוף TUF שבו הצריכה הייתה גבוהה מאשר בטיפולים האחרים.

היחס בין מנת ההשקיה להתאדות ייחוס מהווה את המקדם גידול המשתנה, כולל מקדם שטיפה, לאורך העונה, לפי המלצות ומימוש בשטח. בטיפול טוף המקדם עלה ממאי עד יוני ויולי והגיע לסביבות 0.7 כאשר בטיפולים האחרים המקדם עלה לסביבות 0.55 עד 0.6 ובטיפול LFI חלה עליה נוספת בספטמבר. ערכים נמוכים אלה מצטרפים לערכים הנמוכים שדיווחנו בשנים קודמות. התבוננות באופי המהלך היומי יכולה גם להעיד על הבדלים מצב המים של העץ. במיוחד ירידה מוקדמת בצריכת מים אחה"צ יכולה להעיד על עקת מים מסוימת. בתוצאות עבוד שנת 2019 ניתן להבחין בהתנהגות כזאת בטיפול LFI במאי, המעיד אולי על עקת מים בטיפול זה. ביתר הטיפולים ובמשך שאר העונה אין עדויות להבדלים מיוחדים באופי המהלך היומי. אין הבדלים מובהקים ביבול ובאחוז הסירוגיות בהאס. מנתוני היבול המצטברים ל-4 עונות נראה יתרון מסוים ביבול לטיפולי הקולחים ממשק, המיחול ותעלות הטוף (לא מובהק). טיפול תעלות הטוף היה נחות עד עונה זו, אולי בגלל ממשק לא מתאים שבו השקנו במספר פעימות ליום לעומת עונה אחרונה שבה היה הממשק השקיה אחת בכל יום למעט יום שבת שבו לא היתה השקיה כלל וביום שישי ניתנה מנת מים כפולה. כמו כן ניתנה בטיפול הטוף מנה גדולה של כ-5% במים בגלל חשש שאין מספיק הדחת מלחים במנה יומית. בטיפול המים שפירים הפרי היה גדול יותר באופן מובהק מבשאר הטיפולים, וכן מסתמנת סירוגיות נמוכה יותר (לא מובהק). עד עונה זו הסתמן טיפול הקולחים ממשק כטוב יותר בתנאי הגידול הקיימים. בעונה אחרונה היבול בטיפול זה היה בינוני בין הטיפולים. יכול להיות שעקב מרווח האינטרוולים הגדול יותר, נוצרה עקה באירוע החום הגדול שהיה במאי 2019 שזהו כידוע מועד קריטי והוא מועד קובע יבול לעונה.

בתום השנה הרביעית של המחקר ניתן להתרשם שהתחילה להתבטא השפעת הטיפולים המשפרים במדדים קרקעיים (במיוחד מליחות, SAR וריכוז החמצן בקרקע) וצמחיים (במיוחד שטף המים בגזע) שנבחנו למעקב. בשנים הקודמות לא התקבלה השפעה חיובית של הטיפולים המשפרים על היבול, אך בשנה זו הייתה מגמה של שיפור ביבול במים שפירים והמיחול לעומת הקולחים.

מעריכים מומלצים לבדיקת הדוח המדעי:

1. פרופ' אבי שביב

2. פרופ' בני חפץ

3. ד"ר אדולפו לוין

אפריל 2020

ניסן תש"פ

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



חתימת החוקר:

תוכן עניינים

1	תקציר
2	מבוא ותיאור הבעיה
3	מטרות המחקר
3	חומרים ושיטות
8	תוצאות
36	סיכום ודיון
43	רשימת ספרות
44	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. ממצאי מיזם קודם באבוקדו, בחלקת הניסיונות בעכו, קשרו את הפגיעה בעצים לפגיעה במשטר האוויר של הקרקע ולירידה בפוטנציאל החימצן בבית השורשים הפעיל של העצים. בניסוי ביסעור, הירידה בריכוזי החמצן לערכים נמוכים הייתה למשך פרקי זמן קצרים מאלו שבעכו ולא הביאה לתהליכי חיזור נמרצים בבית השורשים. אולם גם בניסוי זה, בדומה לניסוי בעכו, אם כי בדרגת חומרה נמוכה יותר, נראה שפגיעה זו הובילה לפגיעה פיזיולוגית בתפקוד השורשים ואולי גם ברקמות ההובלה בחלקי העץ התחתונים (שורשים וביסי הגזע). הפגיעה בעץ השלם וביבול, שניכרה היטב בניסוי חלקת הניסיונות בעכו, לא הגיעה לידי ביטוי בשלוש השנים הראשונות של המחקר ביסעור. המחקר ביסעור נועד לבחון ממשקים שונים לתיקון הבעיה, אך מכיוון שרמת הפגיעה הייתה נמוכה יחסית, לא ניכרה בשלוש שנות הניסוי הראשונות השפעה חיובית על העץ השלם, ולא על היבול, באף אחד מהטיפולים שנועדו לתקן את הבעיה. אולם מאחר וגם החלקה ביסעור נטועה על גבי קרקע חרסיתית (כ-60% חרסית), ומאחר וגם בה ניכרה השפעת הקולחים על מדדי הקרקע, ובהתאם לניסיון המצטבר של החקלאים והמדריכים החקלאיים באזור, הוצעה השערה שהפגיעה בעצים תתפתח עם הזמן ותגיע לידי ביטוי בעצים וביבול. בהתאם להנחה זו, ומאחר ומערך הטיפולים והמעקב כבר קיים בחלקת הניסוי הוחלט על המשך הניסוי לשלוש שנים נוספות.

היפותזות המחקר שהוצבו בתחילת הניסוי ביסעור משמשות אותנו גם במחקר הנוכחי, המהווה המשך לשלוש השנים הראשונות: (1) ניתן לשפר את מצב האוויר בקרקעות כבדות שנפגעו מהשקיה רבת שנים בקולחים ע"י טיפולים אגרוטכניים; (2) השיפור באוויר הקרקע יביא למניעת הפגיעה הפיזיולוגית בפעילות השורשים והעץ כולו, ויאפשר המשך שימוש בקולחים כמקור מים עיקרי, ללא צורך בשינוי איכות הקולחים מעבר לתקנות המקובלות (תקנות הקולחים) וללא פגיעה בעצים. לגבי הטיפולים האגרוטכניים אנו מניחים ששיפור מצב האוויר 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. בניסוי הקודם, בחלקת הניסיונות בעכו, נמצא שירידת ריכוזי החמצן וירידת פוטנציאל הרדוקס מתרחשים זמן קצר לאחר ההשקיה ומתקיימים זמן מוגבל לאחריה, לכן אנו מניחים שהקטנת תדירות ההשקיה תביא לצמצום הזמן בו מתקיים חוסר חמצן בבית השורשים. מאידך, נמצא במחקר זה שירידת ריכוזי החמצן וירידת פוטנציאל הרדוקס גדולים יותר ככל שמנת המים גדולה יותר. לכאורה קיימת כאן סתירה – כדי לספק למטע כמות מים זהה בתדירות נמוכה יותר, נדרשת מנת מים גדולה יותר בכל מועד השקיה. לפתרון סתירה זו הוגדלו בטיפול זה מספר נקודות ההשקיה, כך שבכל מועד השקיה תינתן בכל נקודת השקיה (טפטפת) מנת מים זהה לזו הניתנת בטיפולים האחרים. באופן זה, מתאפשרת השקיה בתדירות נמוכה, כך שיהיה זמן רב יותר בו אין פגיעה בממשק האוויר, ויחד עם זאת מנת המים בכל טפטפת לא תגדל, ובכך מתקבל פתרון ממשקי שיביא לשיפור האוויר במטע המושקה בקולחים. לחילופין אנו מניחים ששיפור האוויר בנפח מצומצם, בתוך תעלות אוורור, יאפשר התפתחות ופעילות שורשים תקינה שתפצה על חוסר האוויר העיתי בנפח הקרקע הכללי. בנוסף, הצענו לבדוק את הייתכנות של הורדת ה-SAR של המים כדרך לשיפור הדרגתי של מבנה הקרקע ושיפור מצב האוויר בבית השורשים.

שתי הנחות עבודה נוספות הנחו אותנו בקביעת מבנה הניסוי: (1) לכנות שונות יש עמידות שונה לגבי מליחות ורמת אוורור, תכונות המושפעות מהשקיה בקולחים. בהתאם נבחרה חלקת המחקר, כך שהכנות בניסוי יהיו אחידות; (2) ההשפעה על רמת היבול במטע תהיה איטית, לכן זיהוי השפעות הטיפוליים צריך להיות גם בעזרת מדדים שתגובתם מהירה יותר – מדדי קרקע ומדדים פיזיולוגיים שונים בעץ.

1. **מטרות המחקר והתועלת הצפויה:** מטרת המחקר הכללית הינה מציאת מענה לתופעת הדעיכה בהתפתחות וברמת היבול של מטעים המושקים בקולחים בקרקעות חרסיתיות. עיקר המאמץ המחקרי הינו בבחינת פתרונות לבעיית האוורור ולאינטראקציות שבין בעיית האוורור לבעיות המליחות (פוטנציאל אוסמוטי) והרעילות הספציפית של נתרן וכלור. נבחנו השיטות האגרוטכניות הבאות למניעה ואו מזעור של הנזקים:

א. התקנת תעלות אוורור

ב. ממשק השקיה מותאם לקולחים – הקטנת תדירות ההשקיה והגדלת מספר נקודות הטפסוף.

ג. הקטנת ערך ה-SAR של הקולחים ע"י הקטנת ריכוז הנתרן (ע"י מיהול במים שפירים).

מטרות משנה הן:

א. לזהות ולאפיין את השינויים (עיתיים ורצופים) בריכוזי החמצן, 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. לבנות מודל תלת-מימדי של פירוס תכונות הקרקע הרלוונטיות לזרימה והסעה, בהתבסס על מדידות של תכונות אלה ותוך שימוש בכלים גיאוסטטיסטיים כדי: (i) לנתח זרימת מים והסעת מומסים בחתך הקרקע במטע (פרדס ומטע אבוקדו) המושקה בקולחים באמצעות מודל פיזיקלי תלת-מימדי של זרימה והסעה, המביא בחשבון את האינטראקציה בין הזורם לקרקע והשפעתה על תכונות ההולכה של הקרקע; (ii) להעריך את ההשפעה ארוכת הטווח של שימוש בקולחים על תכונות הקרקע, על הולכת מים ומומסים ועל קליטת מים ע"י השורשים; (iii) לבחון 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.

2. חומרים ושיטות

א. מבנה הניסוי

הניסוי מתבצע בחלקה 12 בקבוץ יסעור. החלקה ניטעה בשנת 2009, בזנים האס על כנה דגניה 117 ואטינגר על כנה אשדות 17, ושיטחה כ-17 ד'. המטע נטוע בקרקע חרסיתית, בממוצע המרקם הינו 58% חרסית, 19% סילט ו-23% חול. על סמך התפלגות זו הוגדרה הקרקע על פי שיטת המיון האמריקאית כקרקע חרסיתית (עפ"י שיטת המיון הבי"ל, ISSS, חרסית כבדה). תכונות עיקריות נוספות: הקק"ח בתחום 50-35 מא"ק/100

גרם, גיר בתחום 10-24%, ותכולת הפחמן האורגני הממוצעת בשכבת הקרקע 0-30 ס"מ היא כ- 2.5% ובעומק 60-90 ס"מ כ- 2.0%. נבחנו 5 טיפולים (טבלה 1). הניסוי בוצע בשש חזרות במתכונת של אקראיות גמורה כאשר בכל חזרה שלוש שורות של 7 עצים, בכל חזרה 2-3 עצי אטינגר באחת משורות הגבול. עצי המדידה הם שלושת העצים המרכזיים בשורה המרכזית של כל חזרה (רק עצי האס). תוכנית חלקת הניסוי מוצגת בנספח 1. החלקה מושקית בטפטוף עילי, 2-4 שלוחות לשורה (טפטפות 'יונירעם' 0.7 או 1.6 ל'שעה, 'נטפים', במרווח של 0.3 מ'). ההשקיה תוכננה ליישום כמות מים זהה בכל הטיפולים, ואכן, ההבדלים בין הטיפולים היו קטנים (טבלה 2). כמויות דשן (בהתחשב בערך הדישוני של הקולחים) שניתנו בפועל לכל טיפול מוצגות בטבלה 3. הניסוי הוקם בשנת 2016 ואז הטיפולים הופעלו. קודם לכן, מאז הנטיעה, הושקה המטע בקולחים, בממשק השקיה אחיד. הדו"ח מציג תוצאות מהשנה הרביעית (הראשונה של החלק השני של המחקר).

טבלה 1: פירוט הטיפולים

מספר שלוחות	טיפול			
	קוד	סוג מים	אינטרוול השקיה	תיאור הטיפול
1.612 ל'ש'	TWW	קולחים	שלוש פעמים בשבוע	השקיה משקית, שתי שלוחות טפטוף לשורה
1.612 ל'ש'	FW	שפירים	שלוש פעמים בשבוע	השקיה משקית, שתי שלוחות טפטוף
1.613 ל'ש'	LFI	קולחים – ממשק השקיה	פעמיים בשבוע	אינטרוול ארוך, שלוש שלוחות טפטוף
0.714 ל'ש'	MIX	קולחים-שפירים	שלוש פעמים בשבוע	50% קולחים ו-50% מים שפירים, שתי שלוחות לשורה, כאשר כל שלוחה הינה חיבור של 2 שלוחות של טפטפות 0.7 ל'שעה
1.612 ל'	TUF	קולחים-תעלות אוורור	השקיה יומית פרט לשבת	שתי תעלות אוורור (אחת מכל צד של העץ במרחק 30 ס"מ מהגזע). התעלות ברוחב 25 ס"מ ועומק 30 ס"מ ומלאות בטוף 0-8 מ"מ, שלוחת טפטוף מעל כל תעלת אוורור.

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

כמות מים [מ ³ ד'] ואחוז מהכמות הנמוכה ביותר	טיפול	
	קוד	סוג מים
827.0 (105.2%)	TWW	קולחים
845.0 (107.5%)	FW	שפירים
786.1 (100%)	LFI	קולחים – ממשק השקיה
קולחים, 405.5 + שפירים, 420.3 – סה"כ, 825.8 (105.1%)	MIX	קולחים-שפירים
911.0 (115.9%)	TUF	קולחים – תעלות אוורור

טבלה 3: כמויות של יסודות ההזנה לפי פירוט המקור – דשן או מים, 2019

כמות יסודות הזנה [ק"ג/ד']									סוג הדשן	טיפול	
סה"כ			מים			דשן				קוד	סוג מים
K ₂ O	P ₂ O ₅	N	K ₂ O	P ₂ O ₅	N	K ₂ O	P ₂ O ₅	N			
39.9	3.8	35.9	25.4	3.8	6.9	14.5	--	29.0	12-0-6	קולחים	TWW
33.0	8.3	36.5	---	---	3.5	33.0	8.3	33.0	8-2-8	שפירים	FW
38.6	3.6	35.5	24.1	3.6	6.5	14.5	--	29.0	12-0-6	קולחים –ממשק השקיה	LFI
20.7	1.9	19.0	12.9	1.9	3.5	7.8	--	15.5	12-0-6	קולחים	MIX
16.5	4.1	18.2	---	---	1.7	16.5	4.1	16.5	8-2-8	שפירים	
37.2	6.0	37.2	12.9	1.9	5.2	26.8	4.1	32.0		סה"כ	
46.0	4.2	43.6	28.0	4.2	7.6	18.0	--	36.0	12-0-6	קולחים-תעלות אורור	TUF

ב. איכות המים

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

טבלה 4: איכות מי ההשקיה במהלך עונת ההשקיה, 2019.

קולחים	pH	מוליכות חשמלית	כלוריד	נתרן	סידן	מגנזיום	חנקן חנקתי	חנקן אמוניאקלי	חנקן קילדהל	זרחן כללי	אשלגן כללי	בורון	דו-פחמה SAR
		דצ"ס/מ'	מ"ג/ל'	מא"ק/ל'			מ"ג/ל'				מא"ק/ל'		
15.4.2019	8.4	1.3	217.5	7.7	2.8	2.6	1.4	6.6	7.6	1.8	25.4	0.1	6.4
4.6.2019	9.4	1.2	202.5	6.7	1.3	4.3	2.2	1.8	37.0	0.8	22.7	0.3	5.4
9.07.2019	8.9	1.1	150.7	6.0	4.3	2.1	5.4	2.8	25.7	2.3	23.6	0.1	5.2
18.8.2019	8.0	1.3	212.0	7.7	3.3	2.9	6.9	2.7	31.0	3.7	29.0	0.1	8.6
22.10.2019	7.7	1.6	223.6	8.4	3.2	3.0	4.3	7.7	10.0	2.0	27.2	0.1	9.2
ממוצע	8.5	1.3	201.3	7.3	3.0	3.0	4.0	4.3	22.3	2.1	25.6	0.1	7.0
סטיית תקן	0.68	0.17	29.31	0.95	1.10	0.82	2.26	2.64	12.95	1.05	2.58	0.10	1.84
שפירים	pH	מוליכות חשמלית	כלוריד	נתרן	סידן	מגנזיום	חנקן חנקתי				אשלגן כללי	בורון	דו-פחמה SAR
		דצ"ס/מ'	מ"ג/ל'	מא"ק/ל'			מ"ג/ל'				מא"ק/ל'		
	7.5	0.8	74.7	1.24	3.11	2.69	4.1				0.06	0.02	7.4

ג. מעקב בקרקע

אפיון השפעת הטיפול על ההרכב הכימי של תמיסת הקרקע

מטרת הפעילות הייתה לאפיין את השפעת הטיפולים על ההרכב הכימי של תמיסת הקרקע בכדי להבין את המנגנונים המשפיעים על תכונות הקרקע ועל העצים.

בדגימות הקרקע נבדקו המדדים הבאים:

- i. הרכב הפאזה המומסת נבדק ע"י מיצוי במים ביחס של 1:2 (מים:קרקע). נמדדו הפרמטרים הבאים: מוליכות חשמלית (EC), pH, נתרן (Na), אשלגן (K), סידן (Ca), מגנזיום (Mg), כלוריד (Cl), פחמן אורגני מומס במים (DOC), חנקן כללי מומס (TDN), מדידת בליעה UV254, וחושבו ערכי ה-SAR.
- ii. יסודות הזנה זמינים, חנקן אמוניאקלי וחנקתי במיצוי 1N KCl וזרחן במיצוי אולסן.

מעקב אחר רטיבות הקרקע:

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

- i. בטיפולים A (קולחים, TWW), B (שפירים, FW), C (קולחים בממשק תדירות השקיה נמוכה, LFI) ו-D (מיהול שולחים-שפירים, MIX), שתי קבוצות בכל טיפול בשורות 12 ו-21, 15 ו-18, 15 ו-21, 12 ו-18. בהתאמה. בכל אחד מהמקרים קבוצת החיישנים הוטמנה בין שניים מעצי המדידה שבמרכז החלקה.
- ii. בטיפול E (שוחת טוף, TUF) הוטמנה רביעיית חיישנים בשורות 18 ו-21 עפ"י הפירוט הנ"ל. בנוסף, בשורה 21 הוטמנה רביעיית חיישנים נוספת כ-1 מטר בכוון המעבר בין השורות, וכן הוטמנו שני חיישנים בתוך שוחת הטוף (בקירוב בעומקים של 30 ו-10 ס"מ מתחת לפני הקרקע). רביעיה נוספת הוטמנה בין השורות.

כל החיישנים חוברו לשני אוגרי נתונים (משותפים עם מדידות זרימה בגזע וריכוזי חמצן) במהלך חודש נובמבר 2016.

הטמנת החיישנים הייתה כרוכה בהפרה של הקרקע (לצורך חפירת בורות לחיישנים). אי לכך אין הרבה חשיבות למדידות שהתקבלו בחודשים הראשונים. במהלך השנה השנייה החלו להתקבל תוצאות משמעותיות, כפי שמוצג בהמשך, והן הולכות ומשתפרות ככל שעובר זמן והקרקע מתהדקת. החורף הגשום יחסית של 2018-19 הביא לייצוב נוסף של החיישנים. במהלך השנה הראשונה והשניה התמודדנו ממושכות בפגיעה במערכת ע"י נברנים וחזירי בר (הזזה של שלוחות הטפטוף, ובמקרים רבים אכילה של הכבלים), עד כדי החלפת חלק ניכר ממערכת התקשורת בכבלים משוריינים, פעולה שגולה לא מעט זמן ותקציב. עם זאת נראה שבהמשך המערכת הייתה יציבה ונתקלה במיעוט יחסי של בעיות.

מדידות פוטנציאל חימצון ומצב חמצן בבית השורשים ובדיקת יחסי אשלגן/נתרן:

1. רקע: המחקר הנוכחי הינו מחקר המשך למחקר בן שלוש שנים במטע אבוקדו במשק יסעור. המחקר התבסס על מחקר קודם שנערך בחוות הניסיונות בעכו, ובו נמצאה פגיעה קשה בעצים הנטועים בקרקע חרסיתית עקב השקיה בקולחים. במחקר בחלקת הניסיונות בעכו, נקבע שהפגיעה בעצים נבעה מפגיעה במצב האוויר בביית השורשים, שינויים שגרמו לתהליכי חיזור, אך בעיקר גרמו לפגיעה בתפקוד

הפיזיולוגי של השורשים ולפגיעה ברקמות ההובלה ובמשק המים של העץ השלם. בהתאם לתוצאות אלו, נבחרה חלקת אבוקדו ביסעור, חלקה נטועה על קרקע חרסיתית ומושקה בקולחים. בחלקה זו הוצבו טיפולי הממשק שתוארו לעיל ושנועדו לבדוק כיצד ניתן להמשיך ולהשקות קרקע חרסיתית בקולחים, תוך מניעה או מזעור של הנזק למטע. הנחת העבודה היתה ששרשרת תהליכים אחראית להתפתחות הנזק לעצים: ההשקיה בקולחים גורמת לנתרון הקרקע, ובמקביל מוסיפה לקרקע חומר אורגני מסיס הגורם לצריכת חמצן מוגברת. אף אחד מגורמים אלה לא יכול להיחשב כגורם פגיעה ישיר בצמח, אולם השפעתם המשולבת בקרקעות חרסיתיות עלולה להתבטא בירידת ריכוז החמצן, ועקב כך גם בפוטנציאל הרדוקס בבית השורשים של העצים, עד לרמות שעלולות להתבטא בתהליכי חיזור, גם אם זמניים, של מינרלי מנגן, ברזל, ואף גופרית, בסביבה זו. תהליכים אלה יכולים להשפיע על זמינות יסודות הזנה לצמח, הן בדרך של המסה או שקיעה של מינרלים שונים, עם השתנות מצב הרדוקס, והן בדרך של תחרות ואנטגוניזם בקליטה לצמח. במצבים פחות קיצוניים, כאשר משטר האוורור בקרקע פחות לקוי, תהליכים מתונים של ירידת רמות החמצן והרדוקס בבית השורשים צפויים לפגוע בתהליכי ניטריפיקציה ולהביא להצטברות ניטריט עד לרמות שמביאות לפגיעה במערכת השורשים. יתר על כן, החמצן דרוש לפעילות מטבולית תקינה של הצמח, כמקבל האלקטרונים הטרמינלי בתהליך נשימת השורשים. נשימת השורשים חיונית לייצור אנרגיה, ופגיעה בה פוגעת בשורת תהליכים בשורש, כולל צמיחת השורשים, קליטת מים וקליטת מינרלים, ובפרט היא פוגעת בכושר השורשים לסלקטביות בתהליכי הקליטה אל השורש וביעילות ההובלה הסלקטיבית של אשלגן מול נתרן. חוסר איזון בין שני היונים עלול לפגוע במערכות פיזיולוגיות נוספות, וביניהן ביעילות קליטת המים והובלתם בצמח.

2. **חומרים ושיטות:** בשלוש שנות המחקר הראשונות נערכו מדידות רציפות של ריכוזי החמצן ורמות פוטנציאל הרדוקס וה- pH בעומק 35 ס"מ ב- 15 תחנות מדידה, 3 תחנות עבור כל טיפול, בשתי נקודות, משני צדי העץ, בכל תחנה. המדידות בוצעו באמצעות חיישנים ייעודיים אשר הוחדרו לקרקע בתחילת הניסוי, במרחק של 5-8 ס"מ מהטפטפת ליד עץ מדידה במרכז שלוש חלקות מכל טיפול. הנתונים נרשמו אחת לחצי שעה, בעזרת אוגרי נתונים שהוצבו בשטח. פוטנציאל הרדוקס נמדד באמצעות אלקטרודות פלטינום בעלות פס רחב. בסמוך להן, במרחק של 1-2 ס"מ, הוצבה אלקטרודת pH ייעודית למדידה במוצקים למחצה (semi solids) ובמרחק כ-10 ס"מ הוצב חיישן חמצן (KE-50, Figaro Engineering Inc., Osaka, Japan) המודד את ריכוז החמצן הגזי בנקבובי הקרקע.

הדמיה של זרימת מים והסעת מומסים במטע המושקה בקולחים בקרקע חרסיתית עם תעלות אוורור: להשגת מטרות המחקר השתמשנו במודל זרימה והסעה (Russo et al., 2001; 2004; Russo, 2013) שפותח והותאם לפרדס מזרע (Russo et al., 2015; Bardhan et al., 2015). המודל מאפשר ניתוח כמותי של זרימה והסעה בקרקע כבדה, רוויה ולא רוויה, המכילה תלכידים, שתכונותיה משתנות במרחב, תוך התחשבות באינטראקציה בין הזורם לבין הקרקע. במסגרת השנה הראשונה של המחקר הנוכחי, המודל הותאם לתנאים במטע האבוקדו ביסעור, ז.א., שורות עצים הנטועות על גודדיות עם תעלות אוורור לאורך. בנוסף, במודל המשופר נלקחו בחשבון הפירוס המרחבי של שורשי האבוקדו (Salagado and Cautin, 2008), והשפעת פירוס תכולת האוויר בקרקע על קליטת המים ע"י שורשי העצים (Naasz et al., 2008).

ד. מעקב צמחי

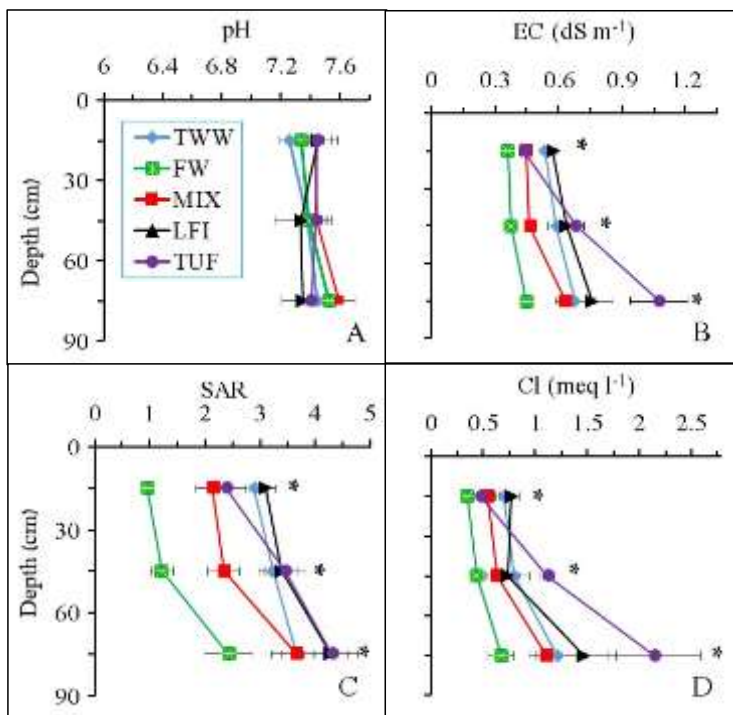
1. **צריכת מים של עצים:** צריכת מים (זרימה בגזע) נמדדה עם חיישני פיזור חום שנבנו במעבדה שלנו בבית דגן (Granier, 1985). החיישנים באורך 20 מ"מ ובעובי 2 מ"מ, הוכנסו ל-50 עצים בניסוי, 10 עצים לטיפול בשתי חלקות מכל טיפול. מרחק בין חיישן מחומם ללא מחומם הינו כ-10 ס"מ כאשר העליון מחומם. אחרי התקנה החיישנים כוסו בקצף פוליאוריתאן לבידוד, ומעליו בנייר אלומיניום. החיישנים חוברו לשלושה אוגרי נתונים תוצרת חברת Campbell Scientific ותוצאות הוקלטו כל 15 דקות. שיטות המדידה, הכיול, והחישוב מתוארים ע"י Paudel et al. (2015). ההתקנה בוצעה בתחילת יולי 2016 ותחילת עבודה סדירה, כאשר רוב מערכת נהיתה תקינה, היתה בחודש אוגוסט 2016. ב-2019 כל שלושת האוגרי נתונים בניסוי עבדו מתחילת השנה ועד ספטמבר. בהמשך רק אוגר אחד עבד רצוף עד סוף השנה. בשעונת ההשקיה האחרונה רק חלק מהחיישנים היו תקינים בגלל מיגבלות טכניות של קבוצות המחקר שהתקשתה לבנות חיישנים חדשים ולתחזק את המערכת הגדולה בשטח. התוצאות המובאת פה הן ממאי עד סוף ספטמבר, שזוהי העונה החשובה ביותר לגבי השקיה, והן כוללות ממוצעים של לפחות 3 עצים מכל טיפול.
- מדידות זרימה בגזע, כפי שהן נעשות במחקר זה, מבוססות על כיולים שנעשו במיני עצים שונים ובהנחה ששטף הזרימה דועך באופן ליניארי עם העומק בעצת העץ עד לעומק של 50 מ"מ, כפי שנצפה במינים רבים וגם בעצי אבוקדו (Cohen et al., 2008). כיול חיישני פולס חום בעץ אבוקדו על מאזניים במחלקה שלנו הראה שמקדם הכיול שלנו דומה לזה של מינים אחרים (Cuantarias, 1995), לכן יש להתייחס למדידות זרימה בגזע ככמותיות ולא רק לצורך זיהוי הבדלים יחסיים בין טיפולים.
2. **אקלים:** כמו בשנים קודמות נמדדו טמפרטורה ולחות אוויר, מהירות רוח וקרירת שמש מעל לנוף בעזרת חיישנים ייעודיים תקינים מחוברים לאוגר הנתונים האמצעי בניסוי, אך בגלל הצמיחה הנמרצת של העצים לפעמים עלים הגיעו לגובה של החיישנים ולכן, איננו מדווחים על התוצאות האלו. כפי שעשינו בעבר, לקחנו נתוני התאדות ייחוס לפי שיטת פנמן ממספר תחנות בקרבת יסעור ובדו"ח אנו מציגים התאדות ייחוס מתחנת עכו ממערב והישוב אשחר מצפון ליסעור.
3. **פוטנציאל המים בגזע:** לאפיון משק המים בעצים נמדד פוטנציאל המים בגזע בתדירות של פעם בשבועיים לאורך העונה. המדידות בוצעו ע"י צוות מו"פ צפון ובימים בודדים ע"י צוות מוולקני באמצעות תא לחץ על עלים באיזורים מוצלים של הנוף שכוסו בשקית פלסטיק מצופה נייר אלומיניום כשעה וחצי עד שעתיים לפני המדידה (בשעת הצהריים). נמדדו שני עלים לעץ ושני עצים לחזרה.
4. **יבול:** בכל החזרות מכל טיפול נקטפו באופן נפרד שלושה עצי המדידה, וכן עצי האטינגר שבשולי החלקות. נרשמו מספר הפירות לעץ ומשקל כל פרי בנפרד לקבלת התפלגות גודל הפרי.

ה. תוצאות ודיון

1. מעקב קרקע

- i. **פאזה מומסת (בדיקות בוצעו במיצוי מים: קרקע ביחס 1:2):** השפעת הטיפול על ערכי ה-pH, המוליכות החשמלית, ה-SAR וריכוז הכלוריד בתמיסת הקרקע בחתך בקרבת קו הטפטוף (15 ס"מ בניצב לקו) מוצגת באיור 1. בדומה לשנים הקודמות, לטיפולים לא הייתה השפעה על ערך ה-pH בגלל כושר ההתרסה (בופר) הגבוה של הקרקע. כצפוי, ובהתאמה לשנים הקודמות, לטיפול איכות המים, שפירים, מיהול וקולחים הייתה השפעה מובהקת ועקבית על המוליכות החשמלית, ריכוז הכלוריד וערך ה-SAR לכל אורך חתך הקרקע, כאשר סדר הערכים של שלושת המדדים הללו הוא קולחים < מיהול < שפירים בהתאמה להרכב מי המקור. בכל הטיפולים ריכוזי הכלוריד וערכי ה-SAR עולים עם העומק באופן בולט יותר מאשר ערכי ה-EC, בגלל

שהכלוריד הינו יון שאינו נספח לשטחי הפנים בקרקע ואילו ה-SAR מבטא יחס בין הנתרן שהינו קטיון חד ערכי והמשיכה שלו לקומפלקס הסופח נמוכה בניגוד לסידן ומגנזיום שהינם קטיונים דו ערכיים שערכי המשיכה שלהם לקומפלקס הסופח גבוהים יותר; לכן יש העשרה הולכת וגדולה של ריכוז נתרן עם העומק בהשוואה לקטיונים הדו ערכיים (איור 2) וכך גם עליה ב-SAR. לטיפול ממשק השקיה של אינטרוול ארוך הייתה השפעה דומה לזו של השקיה בקולחים על המוליכות החשמלית, ריכוז הכלוריד וה-SAR בחתך הקרקע.

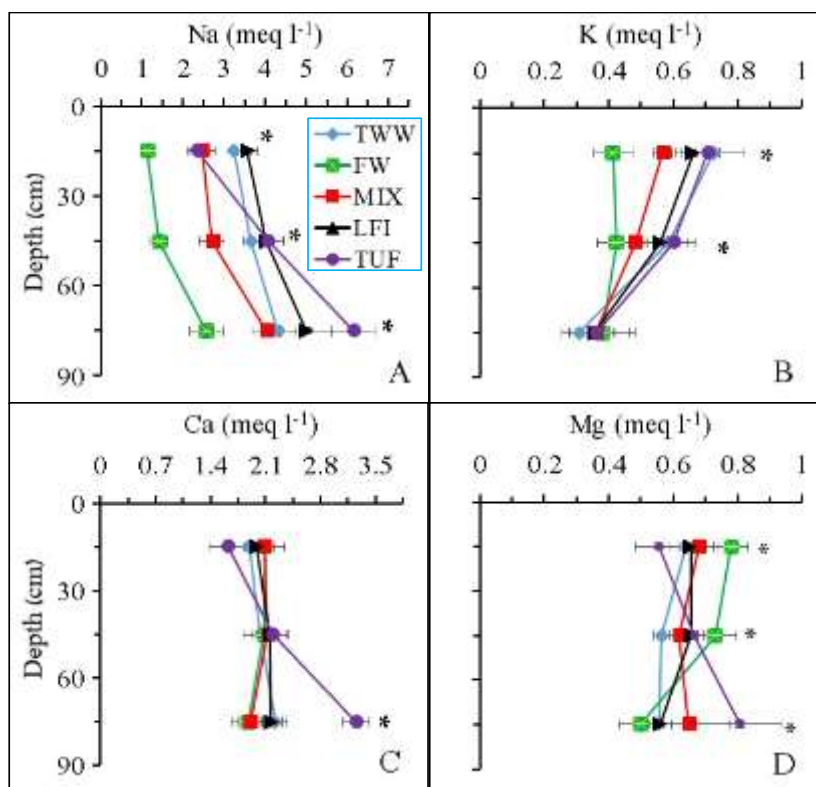


איור 1: השפעת טיפולי ההשקיה והקרקע על ערכי ה-pH, המוליכות החשמלית, ה-SAR וריכוז הכלוריד בתמיסת מיצוי של מים מזוקקים ביחס משקלי מים: קרקע של 1:2, בדיגום חתך הקרקע משכבות 0-30, 30-60 ו-60-90 ס"מ, בניסוי השקיה בקולחים במטע אבוקדו, אוקטובר 2018. הקווים האופקיים מציינים סטיות תקן.

בטיפול תעלות הטוף המוליכות החשמלית, ריכוז הכלוריד וה-SAR בשכבת הקרקע העליונה היו נמוכים מאשר בביקורת המשקית (השקיה בקולחים) ועלו עם העומק, כאשר ערכי המוליכות החשמלית וריכוז הכלוריד בטיפול הטוף גבוהים במובהק מהביקורת בעומק 60-90 ס"מ ואילו ה-SAR אינו שונה במובהק מהביקורת. גם תוצאה זו נמצאת בהתאמה לשנים הקודמות ומצביעה על שטיפת מלחים יעילה מהשכבה העליונה בטיפול הטוף בזכות המוליכות ההידראולית הגבוהה של מצע זה.

השפעת הטיפולים על ריכוזי הקטיונים נתרן, אשלגן, סידן ומגנזיום בתמיסת הקרקע בחתך בקרבת קו הטפטוף (15 ס"מ בניצב לקו) מוצגת באיור 2. השפעת טיפולי מקור המים על ריכוזי הנתרן בחתך דומה מאוד להשפעתם על ה-SAR, כי הטיפולים השפיעו בעיקר על ריכוז הנתרן בעוד הסידן לא הושפע כלל ואילו ריכוז המגנזיום בשתי השכבות העליונות הושפע באופן הפוך מהנתרן לפי הסדר שפירים <מיהול> קולחים. כתוצאה מכך השפעת מקור המים על ה-SAR הייתה באופן יחסי גדולה מאשר על הנתרן. לממשק של אינטרוול השקיה ארוך לא הייתה השפעה ריכוזי הנתרן, סידן ומגנזיום. לתעלות הטוף הייתה השפעה מובהקת על ריכוזי הקטיונים נתרן, סידן ומגנזיום ביחס לטיפול הביקורת המשקי. מעניין שבטיפול זה ריכוזי שלושת

הקטיונים עלו עם העומק, מגמה שעבור הנתרן הייתה בהתאמה לשאר הטיפולים, אך עבור סידן ומגנזיום הייתה ייחודית.

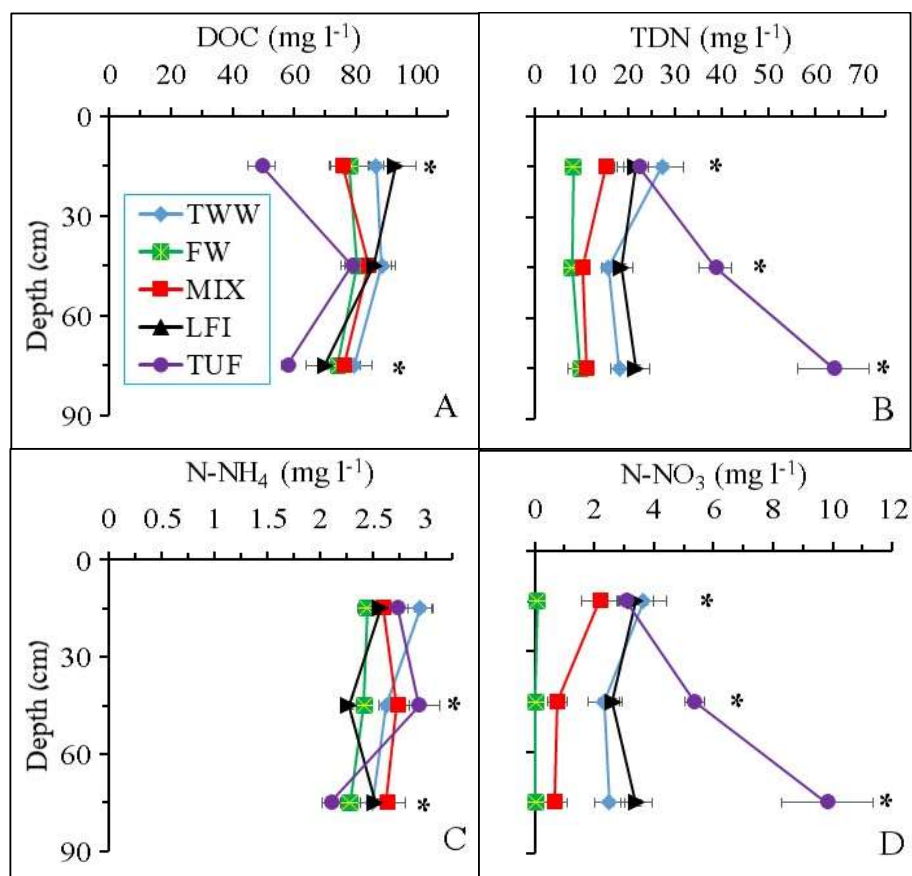


איור 2: השפעת טיפולי ההשקיה והקרקע על ריכוזי הנתרן, אשלגן, סידן ומגנזיום בתמיסת מיצוי של מים מזוקקים ביחס משקלי מים: קרקע של 2:1 בדיגום חתך הקרקע משכבות 0-30, 30-60 ו-60-90 ס"מ, בניסוי השקיה בקולחים במטע אבוקדו, אוקטובר 2018. הקווים האופקיים מציינים סטיות תקן.

השפעת טיפולי מקור המים על ריכוז האשלגן בתמיסת הקרקע דומה מאוד להשפעתם על הנתרן, כאשר סדר הריכוזים הוא קולחים <מיהול> שפירים <בהתאמה להרכב מי המקור> (איור 2). אולם השינוי בריכוז האשלגן עם העומק בקולחים ובמי המיהול הפוך מאשר בנתרן, הערכים הולכים ויורדים עם העומק ואילו בשפירים הריכוז בחתך היה אחיד, כך שבשכבה 60-90 ס"מ לא היה הבדל בריכוז האשלגן בטיפולים השונים. ההבדל בין פרוס האשלגן והנתרן בחתך נובע מהמשיכה החזקה יותר של אשלגן מאשר נתרן לקומפלקס הסופח בקרקע אשר המגבילה את תנועת האשלגן בחתך הקרקע. לטיפול אינטרוול השקיה ארוך ותעלות טוף לא הייתה השפעה על הריכוזים ומגמת השינוי בריכוז עם העומק של האשלגן.

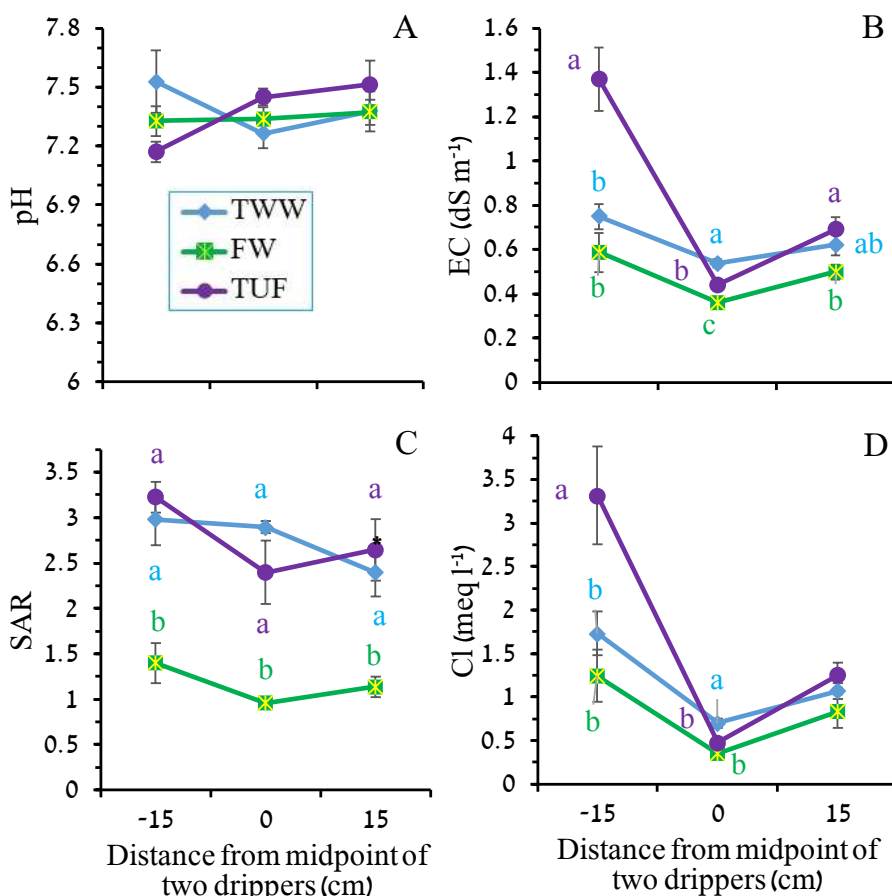
השפעת הטיפולים על ריכוזי הפחמן האורגני המסיס (DOC), החנקן המסיס הכללי (TDN) בתמיסת הקרקע וריכוזי החנקן המינרלי הזמין כאמון וחנקן בחתך הקרקע בקרבת קו הטפטוף (15 ס"מ בניצב לקו) מוצגת באיור 3. למרות שהקולחים מכילים DOC אין הבדל מובהק ב-DOC בתמיסת הקרקע בין טיפולי מקור המים. לעומת זאת ישנם הבדלים מובהקים בריכוזי ה-TDN וריכוזי החנקן הזמין ובמיוחד החנקן החנקתי בין טיפולי מקור המים לפי הסדר קולחים <מהולים> שפירים <בהתאמה לריכוז במי המקור>. להשקיה באינטרוול ארוך לא הייתה השפעה על ארבעת המדדים הללו יחסית לטיפול הביקורת המשקי. לתעלות הטוף הייתה השפעה מובהקת על המדדים המוצגים באיור 3, במיוחד ה-DOC, ה-TDN והחנקן חנקתי. ה-DOC בתעלות הטוף היה נמוך באופן ניכר ומובהק מאשר בטיפול קולחים משקי בחתך הקרקע חוץ מהשכבה 30-60

ס"מ. לעומת זאת ה- TDN והחנקן חנקתי בטיפול תעלות הטוף היו גבוהים באופן ניכר ומובהק מאשר בטיפול קולחים משקי בחתך הקרקע בשכבות 30-60 ו-60-90 ס"מ.



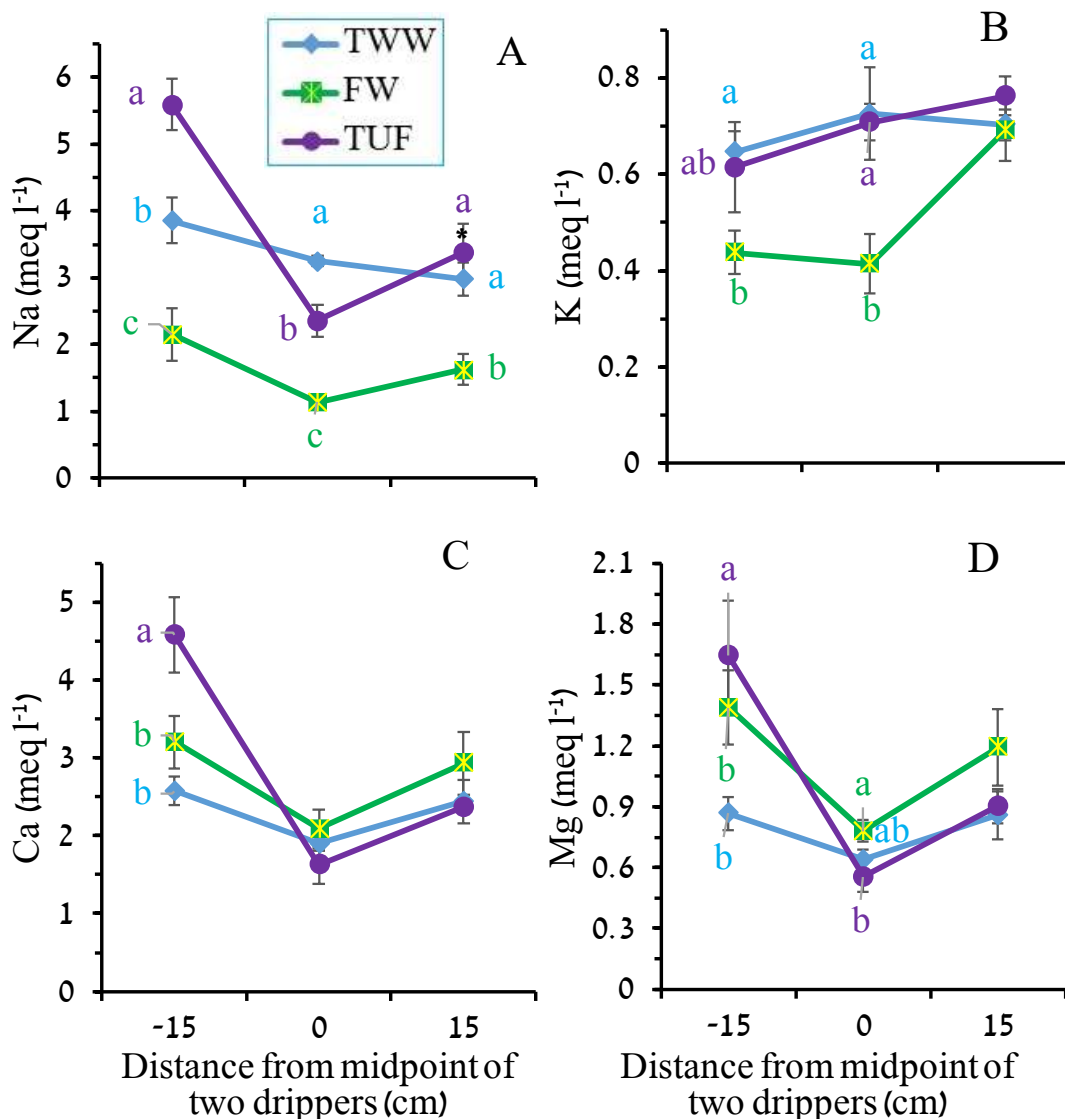
איור 3: השפעת טיפולי ההשקיה והקרקע על ריכוזי פחמן האורגני המסיס (A), וחנקן כללי מסיס (B) TDN בתמיסת מיצוי של מים מזוקקים ביחס משקלי מים: קרקע של 1: 2, ועל ריכוזי החנקן הזמין באמון (C) וחנקן (D) בתמיסת מיצוי של 1N KCl ביחס משקלי מים: קרקע של 1: 5, בדיגום חתך הקרקע משכבות 0-30, 30-60 ו- 60-90 ס"מ, בניסוי השקיה בקולחים במטע אבוקדו, אוקטובר 2018. הקווים האופקיים מציינים סטיות תקן.

השפעת מקור המים, קולחים לעומת שפירים וטיפול תעלת הטוף על פרוס ערכי ה-pH, המוליכות החשמלית, ה- SAR וריכוז הכלוריד בתמיסת הקרקע כתלות במרחק מקו הטפטוף מוצגת באיור 4. בדומה לתוצאות בחתך הקרקע לטיפולים לא הייתה השפעה על ערך ה- pH. לעומת זאת מקור המים השפיע על המוליכות החשמלית, ריכוז הכלוריד וה- SAR משני צדי קו הטפטוף לפי הסדר קולחים < שפירים. מעניינת השפעת תעלת הטוף על המוליכות החשמלית וריכוז הכלוריד שהיו גבוהים באופן ניכר במרחק 15 ס"מ מקו הטפטוף לכוון שורת העצים מאשר בממשק המשקי ואילו בשורת הטפטוף ההשפעה הפוכה אך קטנה בהרבה מאשר בשורת העצים, ואילו במרחק 15 ס"מ לכוון בין שורות העצים לא היה הבדל ניכר ומובהק בין טיפולים אלו.



איור 4: השפעת טיפולי ההשקיה והמרחק מהטפטפת על ערכי ה-pH, המוליכות החשמלית, ה-SAR וריכוז הכלוריד בתמיסת מיצוי של מים מזוקקים ביחס משקלי מים: קרקע של 1:2, בדיגום שכבת הקרקע העליונה 0-30 ס"מ, בניסוי השקיה בקולחים במטע אבוקדו, אוקטובר 2018. הקווים האנכיים מציינים סטיות תקן. 0 = קו הטפטוף, -15 = 15 ס"מ לכיוון שורת העצים, 15 = 15 ס"מ לכיוון בין שורות העצים.

השפעת מקור המים, קולחים לעומת שפירים וטיפול תעלת הטוף על פרוס ריכוזי הנתרן, אשלגן, סידן ומגנזיום בתמיסת הקרקע כתלות במרחק מקו הטפטוף מוצגת באיור 5. מקור המים השפיע על ריכוז הנתרן והאשלגן משני צדי קו הטפטוף לפי הסדר קולחים < שפירים < בהתאמה למקור המים. לעומת זאת סדר ריכוזי המגנזיום והסידן היה הפוך, שפירים < קולחים. מעניינת השפעת תעלת הטוף על ריכוזי הנתרן, סידן ומגנזיום שהיו גבוהים באופן ניכר במרחק 15 ס"מ מקו הטפטוף לכוון שורת העצים מאשר בממשק המשקי ואילו בשורת הטפטוף ההשפעה הפוכה אך קטנה בהרבה מאשר בשורת העצים, ואילו במרחק 15 ס"מ לכוון בין שורות העצים לא היה הבדל ניכר ומובהק בין טיפולים אלו. מקור המים השפיע על האשלגן בקרקע כצפוי לריכוז הגבוה יותר של אשלגן בקולחים, אך בשונה משאר המדדים ריכוז האשלגן היה גבוה יותר במרחק 15 ס"מ לכוון בין השורות ובנקודה זו לא היה הבדל בין הטיפולים.



איור 5: השפעת טיפולי ההשקיה והקרקע והמרחק מהטפטפת על ריכוזי הנתרן, אשלגן, סידן ומגנזיום בתמיסת מיצוי של מים מזוקקים ביחס משקלי מים:קרקע של 1:2, בדיגום שכבת הקרקע העליונה 0-30 ס"מ, בניסוי השקיה בקולחים במטע אבוקדו, אוקטובר 2018. הקווים האנכיים מציינים סטיות תקן. $0 = \text{קו הטפטוף}$, $-15 = 15$ ס"מ לכיוון שורת העצים, $15 = 15$ ס"מ לכיוון בין שורות העצים.

ניתן להסיק שלמי המקור יש השפעה ניכרת ומובהקת על הרכב תמיסת הקרקע בסוף עונת ההשקיה בכל חתך הקרקע מ-0 עד 90 ס"מ שבו נמצא בית השורשים, בעיקר על המוליכות החשמלית, ריכוזי הכלוריד, הנתרן וה- SAR כאשר סדר הריכוזים הוא קולחים < מהולים < שפירים.

למצע הטוף השפעה ניכרת ומורכבת על הרכב תמיסת הקרקע בעיקר על המוליכות החשמלית, ריכוזי הכלוריד, הנתרן וה- SAR, כאשר בשכבת הקרקע העליונה ובסמיכות לתעלת הטוף הערכים נמוכים מאשר בטיפול המשקי ואילו בעומק מתחת לבית השורשים 60-90 ס"מ ובמרחק מהתעלה הערכים גבוהים מאשר בטיפול המשקי.

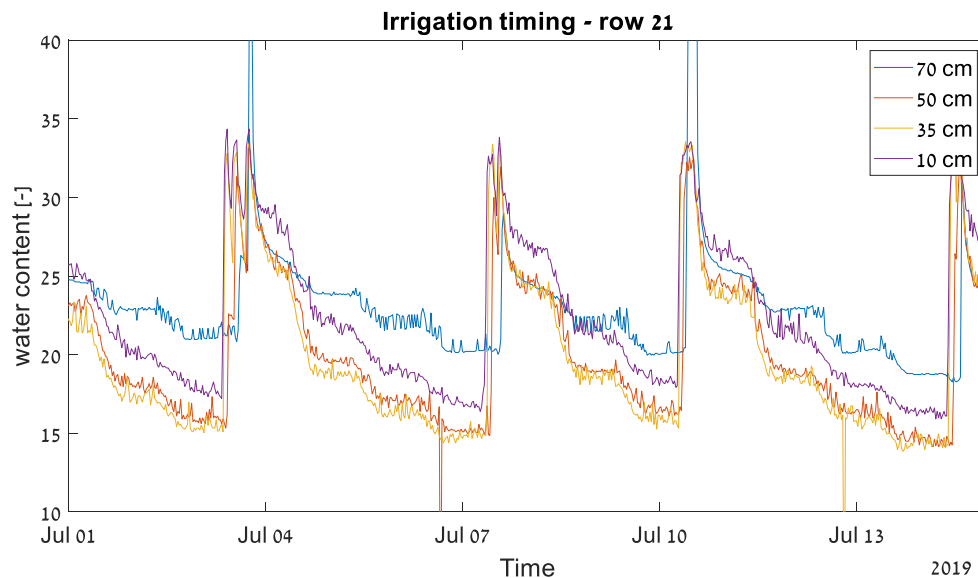
כללי

הטמנת החיישנים גרמה להפרה של הקרקע (עקב חפירת הבורות לחיישנים). אי לכך אין הרבה חשיבות למדידות המתקבלות בחודשים הראשונים ויש להמתין עד לחזרה של הקרקע להידוק הטבעי. להערכתנו במהלך השנה השנייה החלו להתקבל תוצאות משמעותיות, שהולכות ומשתפרות ככל שעובר הזמן. במהלך השנה הראשונה והשנייה התמודדנו ממושכות בפגיעה במערכת ע"י נברנים וחזירי בר, עד כדי החלפת חלק ניכר ממערכת התקשורת בכבלים משוריינים, פעולה שגזלה לא מעט זמן ותקציב. עם זאת נראה שהמערכת כעת יציבה ונתקלת במיעוט יחסי של בעיות.

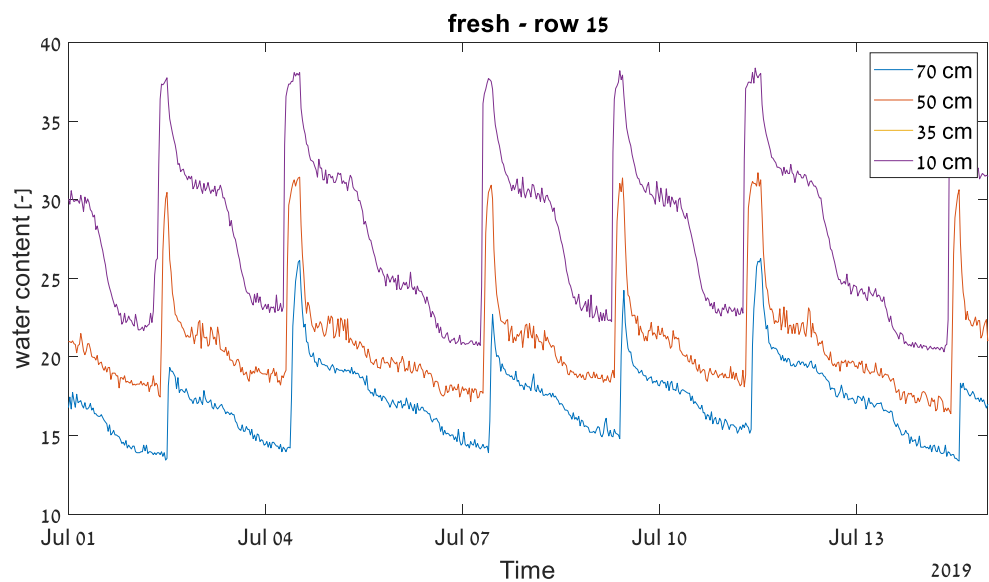
תוצאות

איורים 6 עד 9 מציגים שתי דוגמאות לרטיבות מהלך כ- 10 ימים בחודש יולי 2019 (עבור ממשק, שפירים, קולחים וטוף בהתאמה). ממשק ההשקיה מובחן היטב, עם זאת ניתן לראות שמיקום הטפטפות אינו תמיד אחיד, מה שגורם לחיישן לא תמיד לייצג את אותו מיקום ביחס לטפטפת. אנו נמנעים מלהציג איורים נוספים היות ואלו (כאמור) לא עומדים בזכות עצמם מחקרית ומועדים לשימוש חוקרים אחרים. מעניין במיוחד הוא טיפול הטוף, בו הרטיבות עולה בעומק הקרקע בעוד שבפני הקרקע (לא מתחת לטפטפת) הרטיבות בעת השקיה כמעט ואינה עולה.

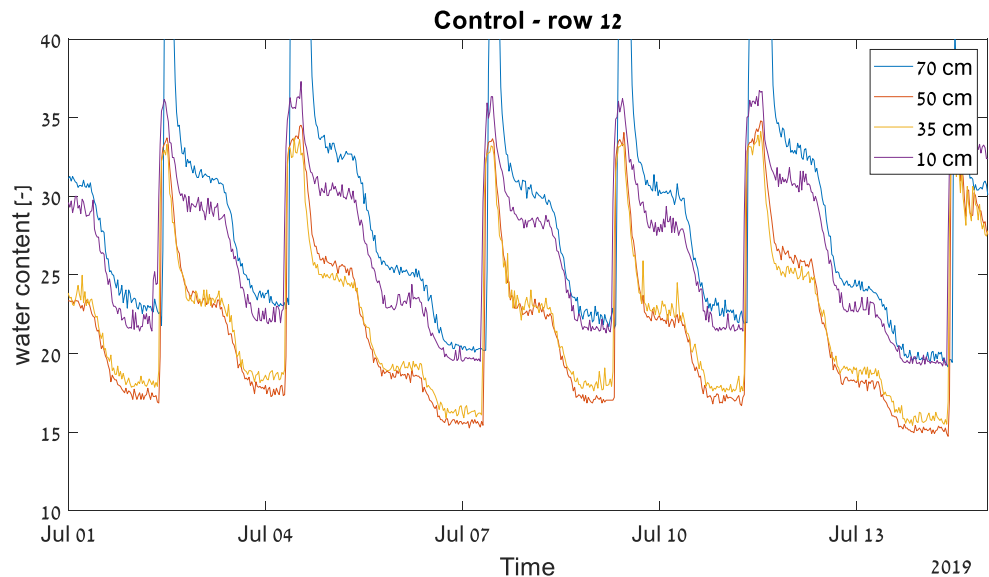
בכל הטיפולים נראה שהרטיבות בעומק עולה בצורה משמעותית מאד לקראת סוף אירועי ההשקיה, לזמן מאד קצר. קשה מאד להסביר תופעה זו בהקשר פיזיקלי מתחום הרצף. להערכתנו מדובר בסידוק של הקרקע המאפיין כנראה את אזורי השוליים הבלתי רטובים בחודשי הקיץ (התופעה כמעט ואינה מתרחשת בחודשי החורף שאינם מוצגים).



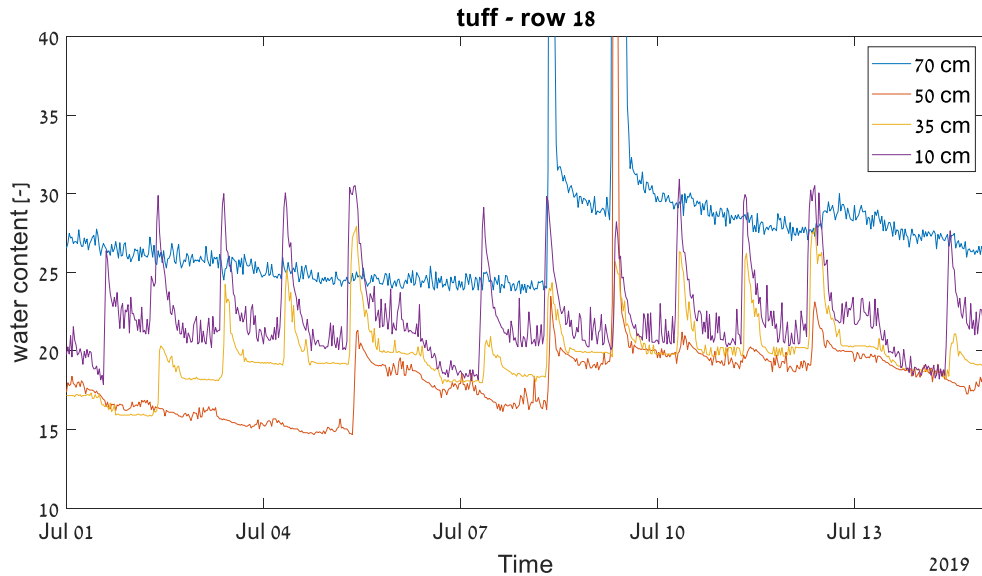
איור 6: רטיבות בטיפול הממשק במהלך יולי 2019



איור 7: רטיבות בטיפול השפירים במהלך יולי 2019



איור 8: רטיבות בטיפול הקולחים במהלך יולי 2019



איור 9: רטיבות בטיפול הטוף במהלך יולי 2019

מודל

מטרת המודל היא לבחון את תגובת המערכת (קרקע) למשטר ההשקיה (איכות מים ותזמון) מבחינת פירוק חומר אורגני וחנקן. הנחת היסוד היא כי התגובה השלילית של המטע לקולחים נובעת מתהליכים של פירוק חומר אורגני (פחמן) וחנקן שאינם אידאליים. מליחות (שהיא בעיקרה אוסף של מומסים אינרטיים) לעומת זאת כמעט ואינה מושפעת ממשטר ההשקיה והיא פונקציה בעיקר של איכות מי ההשקיה בהיבט הזה בלבד.

המודל החד ממדי כולל ארבע שכבות: זרימת מים (דארסי-ריצ'ארדס), הסעת מומסים ריאקטיבית (הסעה ודיספרסיה עם איברי ריאקציה), ריאקציה המבוטאת בעיקר כאוסף של ריאקציות מונו מרובות, וקליטת מים ע"י השורשים. המודל המוצג בהמשך הוא עקרוני, ופרטים ספציפיים (סוגי תהליכים, מומסים ספציפיים) מוצגים בנספח. יודגש שבכל שכבות המומס, הגז והפעילות המיקרוביאלית ניתן להפעיל את המשוואות על מספר רכיבים (למשל, בשכבות המומס מופעל המודל עבור מספר צורני חנקן, חמצן מומס ועוד; בשכבת הגז המידול הוא עבור חמצן; בשכבה הביולוגית המודל עוסק באוכלוסיות מיקרוביאליות שונות).

משוואת ריצ'ארדס נתונה ע"י

$$\frac{\partial \theta_w(h)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[K(h) \left(\frac{\partial h}{\partial z} + 1 \right) \right] - s_w \quad (1)$$

כאשר הסימן θ_w הינו הרטיבות הנפחית, t הזמן, h העומד המטריצי, K המוליכות ההידרולית, z הקואורדינטה האנכית (חיובית כלפי מעלה), ו- s_w איבר קליטת מים ע"י שורשים. התכונות ההידראוליות של הקרקע ניתנות ע"י משוואות van Genuchten (1980) ו- Mualem (1976).

$$\theta_w(h) = \begin{cases} \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + (\alpha h)^n \right]^m} & h < 0 \\ \theta_s & h \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$K(h) = K_s S_e^l \left[1 - (1 - S_e^{1/m})^m \right]^2 \quad (3)$$

$$S_e = \frac{\theta_w - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \quad (4)$$

כאשר θ_s הינו הרטיבות ברוויה, θ_r הרטיבות השאריתית, K_s המוליכות ההידרולית ברוויה, α, m, n פרמטרים אמפיריים הקשורים בעיקר לפילוג גודל הנקבובים ($m=1-1/n, n>1$), S_e דרגת הרוויה האפקטיבית, ו- l פרמטר הקשור לחיבוריות הנקבובים. תנועת מומסים נתונה ע"י

$$\frac{\partial \theta_w C_i}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\theta_w D_i^w \frac{\partial C_i}{\partial z} \right) - \frac{\partial q_w C_i}{\partial z} + \theta_w S_{c,i} \quad (5)$$

כאשר C_i הינו ריכוז המרכיב i , D_i^w מקדם דיספרסיה הידרודינמית, q_w שטף המים, ו- $S_{c,i}$ איבר מבלע/מקור כללי (המורכב ממספר סוגי מבלעים/מקורות), הנתון באופן כללי ע"י

$$\theta_w S_{c,i} = \theta_w r_i - p_{a,i} + \Gamma_i - \rho_s \frac{\partial S_i}{\partial t} \quad (6)$$

כאשר r_i איבר מבלע/מקור מיקרוביאלי, $p_{a,i}$ איבר פאסיבי לקליטת מומסים, Γ_i איבר מעבר בין הפאזה הגזית והנוזלית (בשיווי משקל), ρ_s הצפיפות הגזית, ו- S_i ריכוז ספוח. ריאקציות ביוכימיות מוצגות ע"י מכפלה של ריאקציות מונו (Monod, 1949). ההנחה היא שמספר סובסטרטים משפיעים על קצב הריאקציה (Molz et al., 1986), הנתונה עבור מרכיב p ע"י

$$r^p = \mu_{\max}^p X_m I_b(X_m) I_{nc}^p(C_i) \left[\frac{C_1}{K_1^p + C_1} \right] \left[\frac{C_2}{K_2^p + C_2} \right] \dots \left[\frac{C_n}{K_n^p + C_n} \right] \quad (7)$$

כאשר r^p קצב הריאקציה, $\mu_{\max}^p$ קצב מקסימלי, X_m ביומסה של אוכלוסיה m , $C_1, C_2, \dots, C_n$ ריכוזי סובסטרטים רלוונטים בפאזה הנוזלית, $K_1^p, K_2^p, \dots, K_n^p$ קבועי חצי רוויה, בהתאמה, $I_b(X_m)$ ו- $I_{nc}^p(C_i)$ מקדמי ביומסה ועיכוב (Kindred and Celia, 1989), למשל בגירעון חמצן, הנתונים ע"י

$$I_b(X_m) = \left[\frac{k_{b,m}}{k_{b,m} + X_m} \right] \quad (8)$$

$$I_{nc}^p(C_i) = \left[\frac{k_{I,C_i}^p}{k_{I,C_i}^p + C_i} \right] \quad (9)$$

כאשר $k_{b,m}$ מקדם עיכוב ביומסי, ו- k_{I,C_i}^p מקדם עיכוב עבור מרכיב מסויים. סכום הריאקציות נתון ע"י

$$r_i = \sum_p y_i^p r^p \quad (10)$$

כאשר y_i^p הקצב עבור ריאקציה ספציפית.

הדינמיקה של הביומסה מתוארת ע"י נוסחה 11.

$$\frac{dX_m}{dt} = Y_m r^p - X_m d_m \quad (11)$$

כאשר Y_m היבול המיקרוביאלי (גידול מסה) עבור מיקרוב m ותהליך p , d_m קצב הדעיכה/תמותה. קליטת השורשים (למים) נתונה ע"י

$$s_w(h, z, t) = \alpha(h, z, t) b(z, t) T_p(t) \quad (12)$$

כאשר $\alpha(h, z, t)$ פונקציית משקל של העומק עפ"י Feddes et al. (1978), הזמן והעומד, $b(z, t)$ פונקציית קליטה מנורמלת עפ"י Hoffman and van Genuchten, (1983), ו- $T_p(t)$ הטרנספירציה הפוטנציאלית. קליטת מומסים תוארה ע"י Šimůnek and Hopmans, 2009 ואינה מפורטת כאן. תנועת גזים מתוארת ע"י

$$\frac{\partial \theta_g G_i}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\theta_g D_i^g \frac{\partial G_i}{\partial z} \right) - \frac{\partial q_g G_i}{\partial z} - \Gamma_i \quad (13)$$

$$\theta_g D_i^g = \theta_g D_{i,g} \tau_g \quad (14)$$

$$\tau_g = \frac{\theta_g^{7/3}}{\theta_s^2} \quad (15)$$

כאשר G_i ריכוז בפאזה הגזית של רכיב i , θ_g נקבוביות מאווררת, D_i^g מקדם דיפוזיה בפאזה הגזית, q_g שטף מסי של גז, $D_{i,g}$ מקדם דיפוזיה מולקולרית, τ_g פתלתלות בפאזה הגזית. המעבר בין הפאזות הוא עפ"י חוק הנרי, כאשר קבוע המעבר הוא

$$H_i = \frac{C_i}{G_i} \quad (16)$$

ספיחה מתוארת ע"י מודל לינארי

$$\rho_s \frac{\partial S_i}{\partial t} = \rho_s \gamma_i (K_{di} C_i - S_i) \quad (17)$$

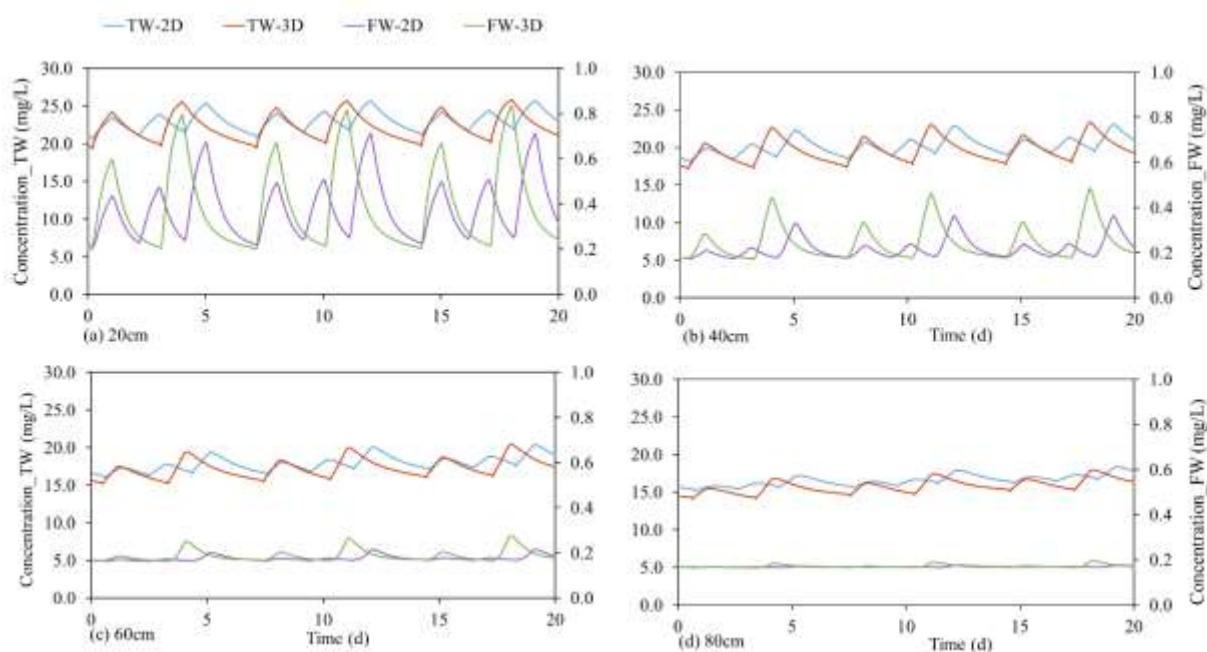
כאשר γ_i מקדם מעבר, ו- K_{di} מקדם החלוקה.

תוצאות ראשוניות

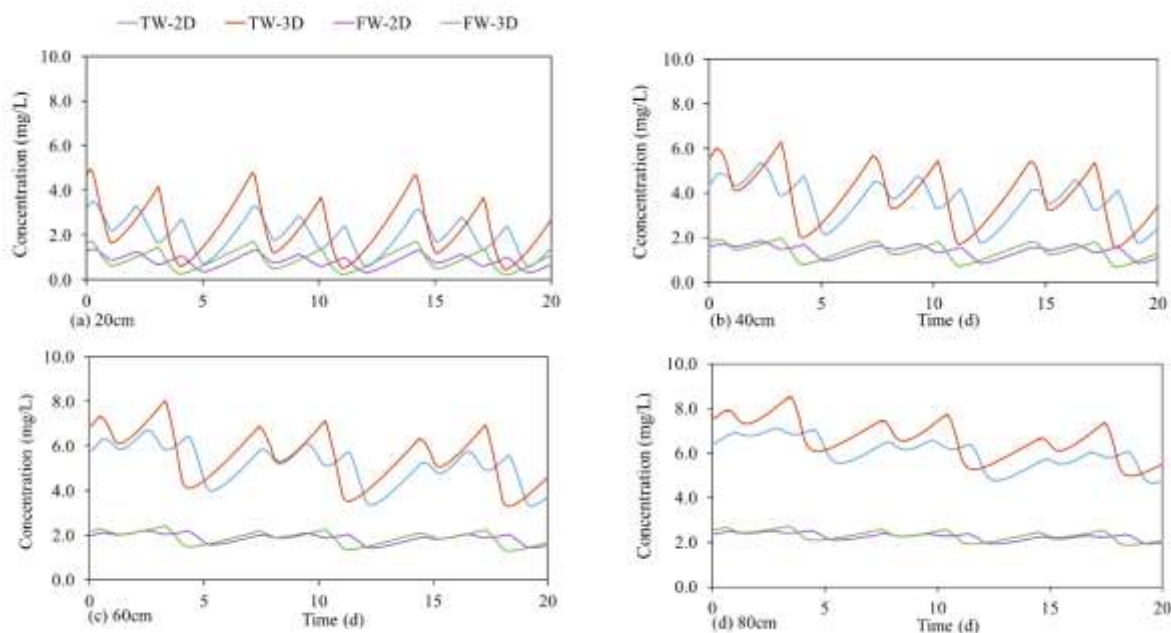
התוצאות הראשוניות (איורים 10-18) מראות ריכוזים של אלמנטים שונים בעומקים שונים עבור התרחישים השונים. האיורים הבאים מראים הבדלים ברורים בין התרחישים השונים. עם זאת יש לציין שהמודל טרם כוייל ולכן אין אנו רוצים להתחייב לניתוח של התוצאות.

איור 10 מציג ריכוזי אמוניום בטיפולים השונים. מבלי להתייחס לערכים המוחלטים, בבירור נראה הבדל משמעותי בין הריכוז בטיפול ההשקיה כל יומיים וטיפול ההשקיה כל שלושה ימים, כאשר בטיפול ההשקיה כל שלושה ימים הדינמיקה יותר קיצונית (ההבדל בין קולחים ושפירים נובע בעיקרו מתנאי

השפה). ריכוזי הניטראט (איור 11) מציגים תמונה עקבית. טרם חושבה התנהגות החומר האורגני – שם
 אנו צופים שיתבטא ההבדל המשמעותי בין הטיפולים.

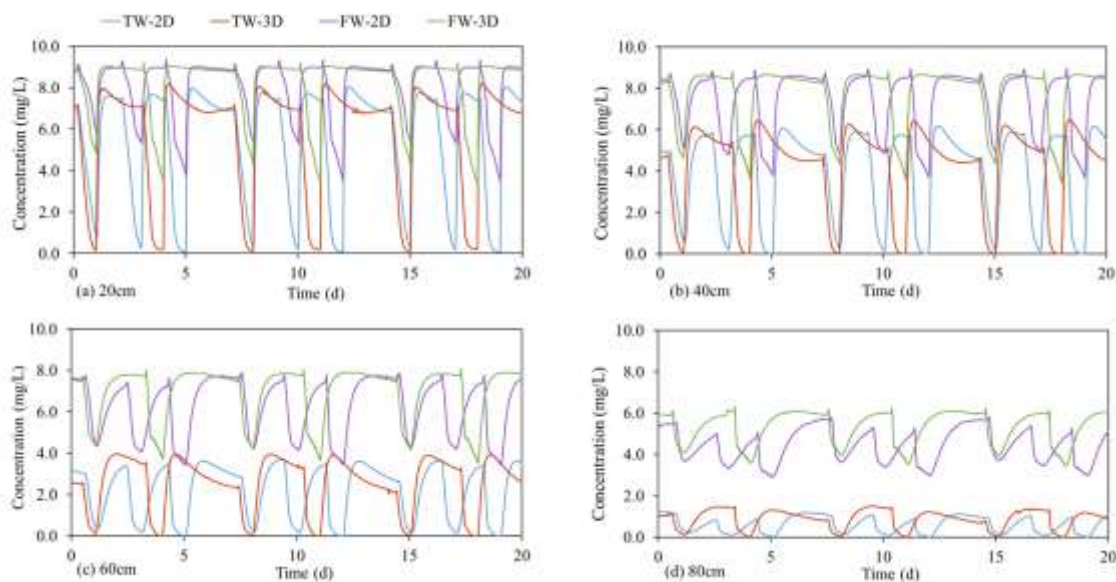


איור 10: ריכוז אמון בתמיסת הקרקע בשכבות הקרקע השונות (עומקים 20, 40, 60 ו-80 ס"מ) בהשקיה כל יומיים (2D) או כל שלושה ימים (3D) במים שפירים או קולחים.

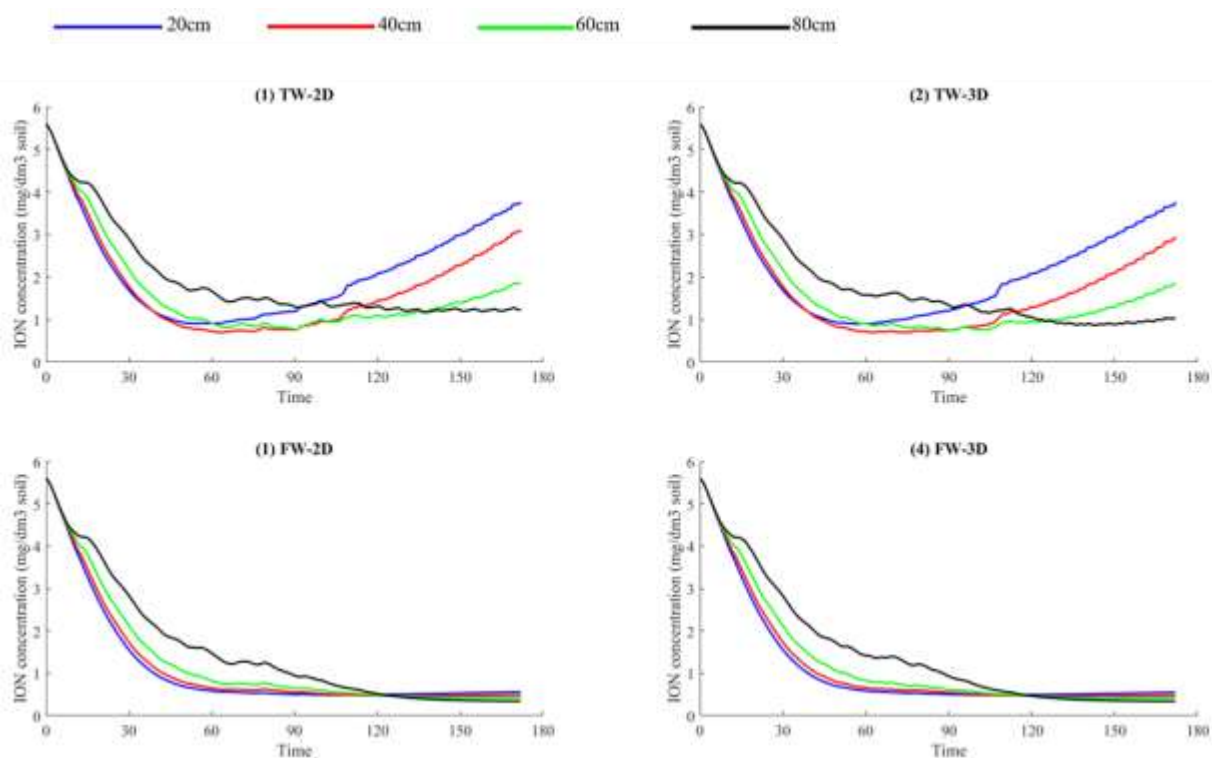


איור 11: ריכוז חנקן בשכבות הקרקע השונות (עומקים 20, 40, 60 ו-80 ס"מ) בהשקיה כל יומיים (2D) או כל שלושה ימים (3D) במים שפירים או קולחים.

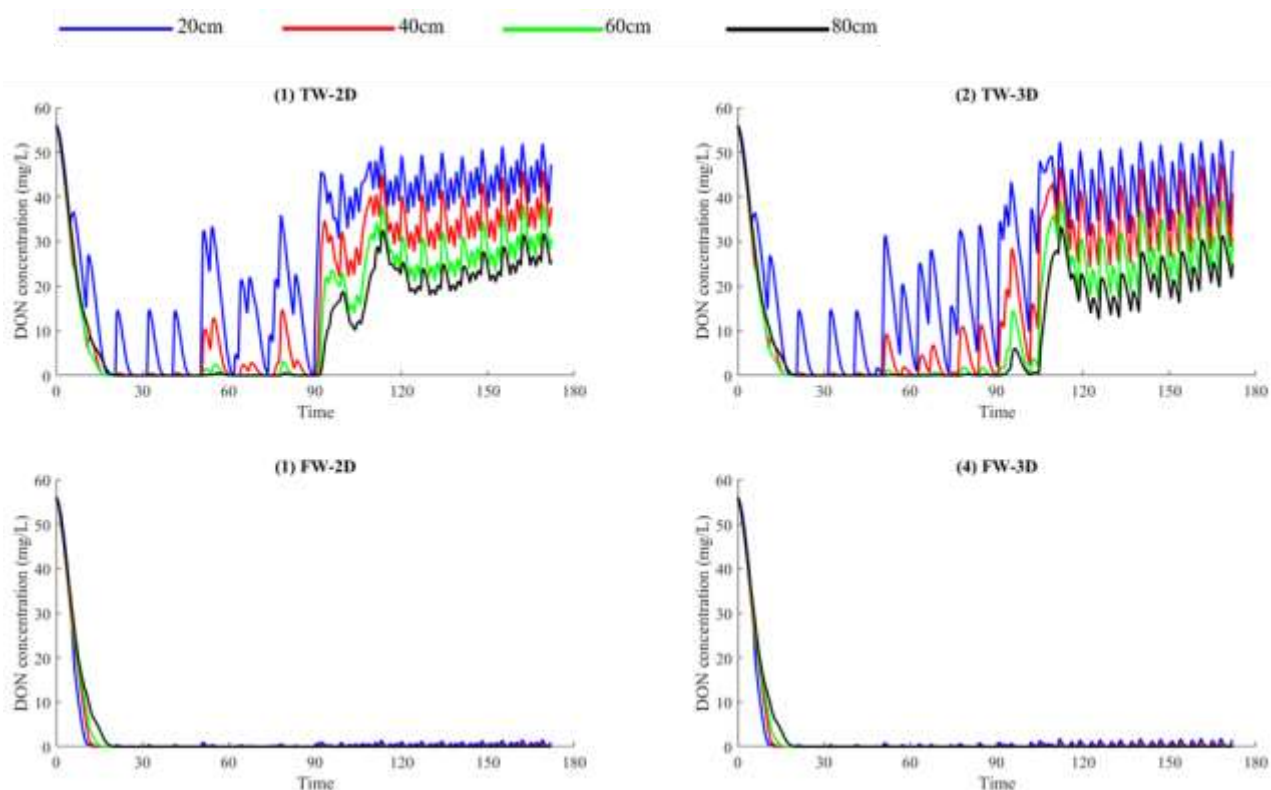
איור 12 מציג את ריכוז החמצן בתרחישים השונים. ההבדל הבולט ביותר הוא בין הקולחים והשפירים, אולם הסתכלות מקרוב מראה שבטיפול ההשקיה מדי שלושה ימים יש הרבה יותר זמן מאוורר לקרקע, ומכאן צפוי הבדל משמעותי בתהליכי ניטריפיקציה, וכן בתהליכי פירוק חומר אורגני. כאמור, תוצאות אלו טרם עובדו. איורים 14-18 מציגים למעשה את אותם נתונים בהסתכלות שונה.



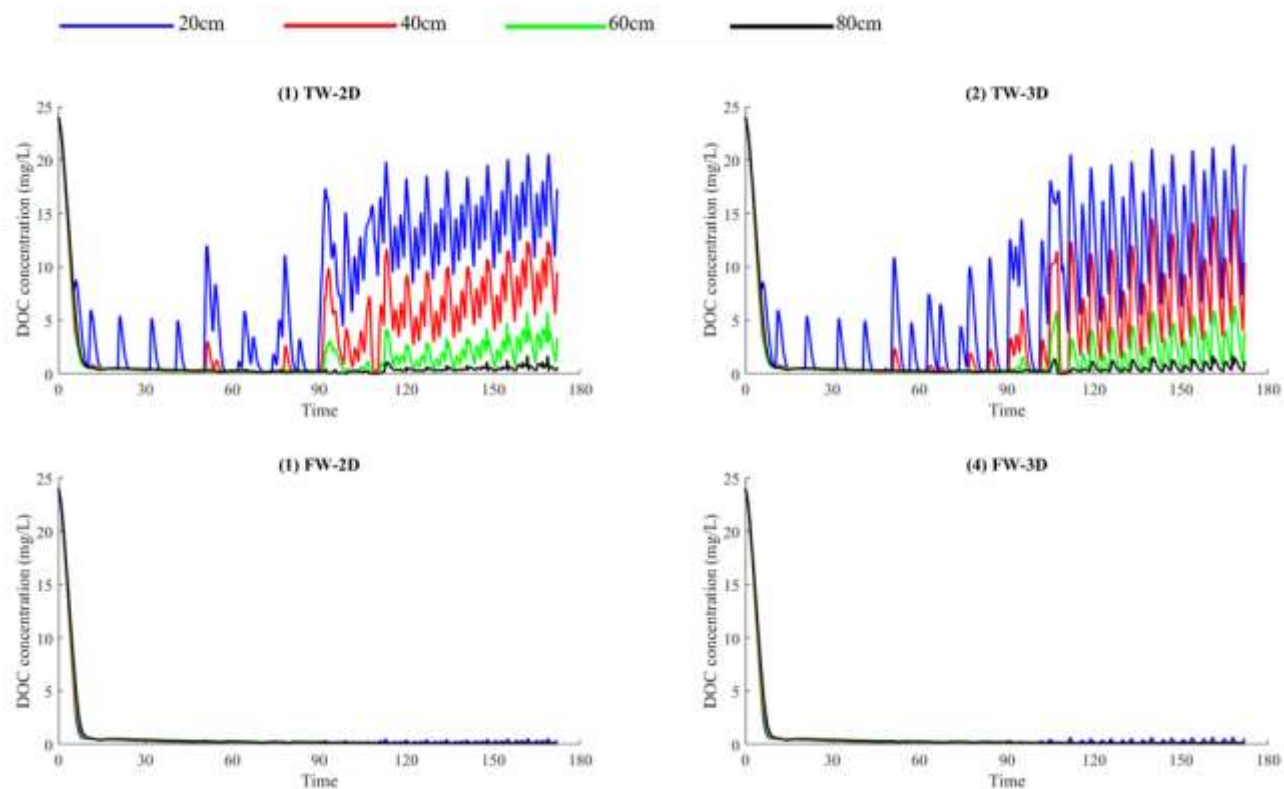
איור 12: ריכוז חמצן בשכבות הקרקע השונות (עומקים 20, 40, 60 ו-80 ס"מ) בהשקיה כל יומיים (2D) או כל שלושה ימים (3D) במים שפירים או קולחים.



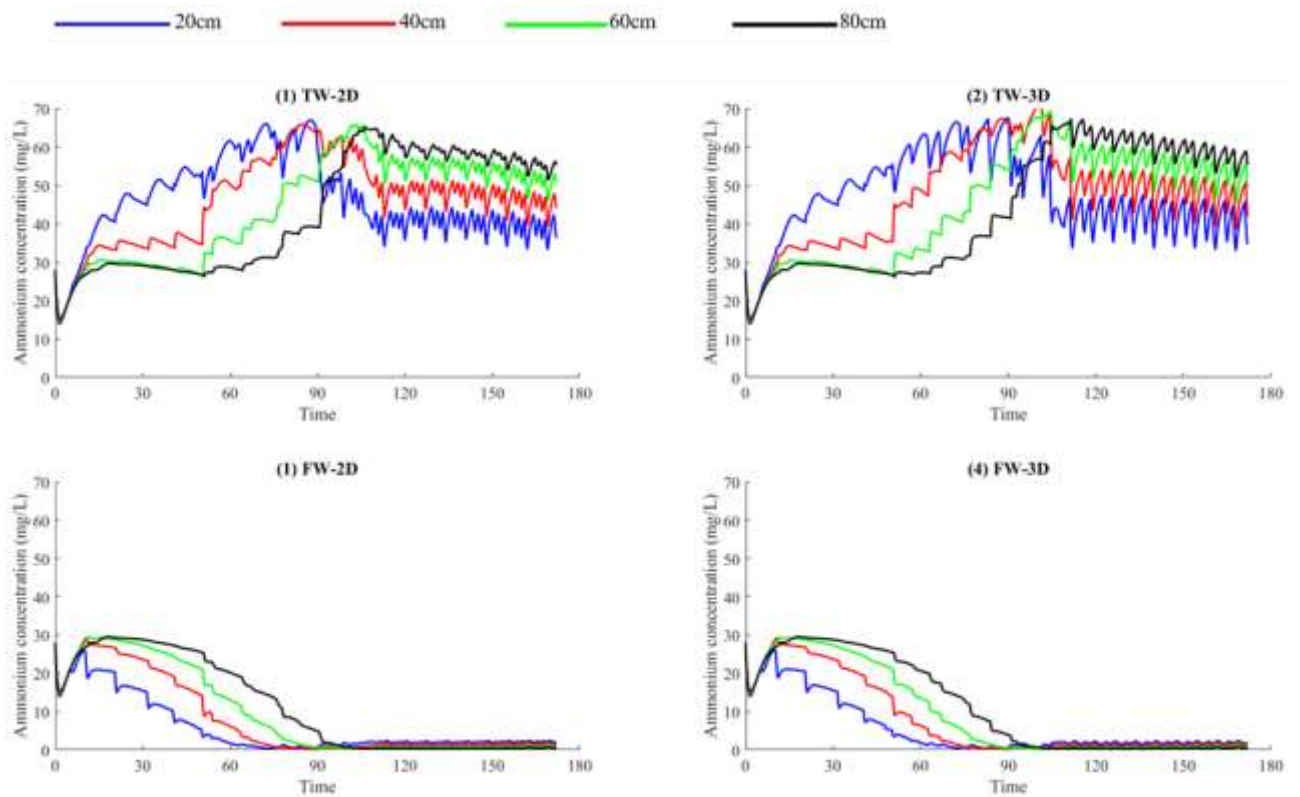
איור 13: ריכוז יונים בתרחישים שונים



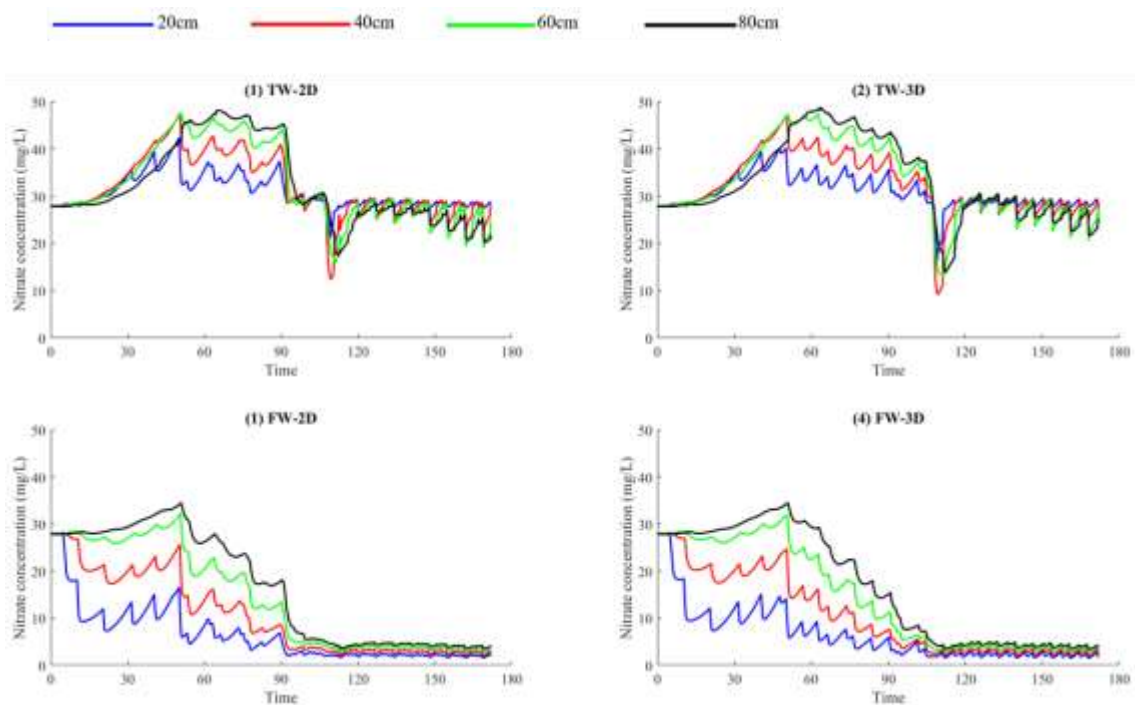
איור 14: ריכוז חנקן מומס בתרחישים שונים



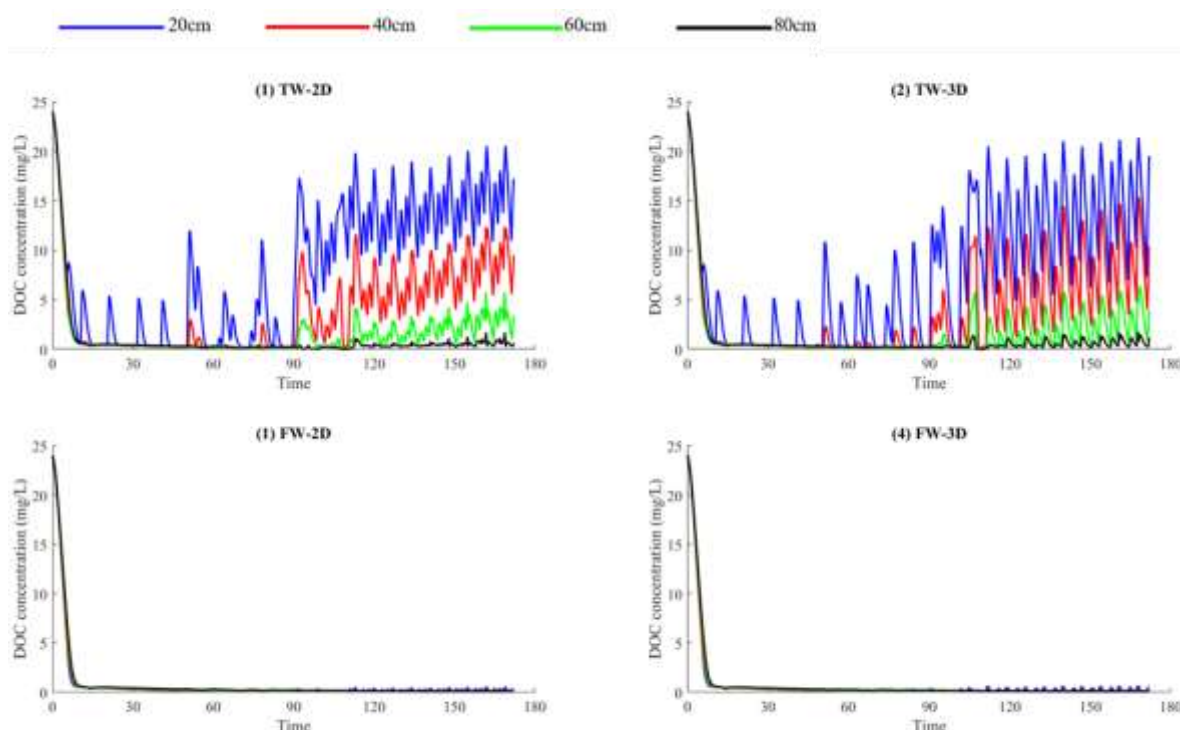
איור 15: ריכוז פחמן מומס בתרחישים שונים



איור 16: ריכוז אמוניום בתרחישים שונים



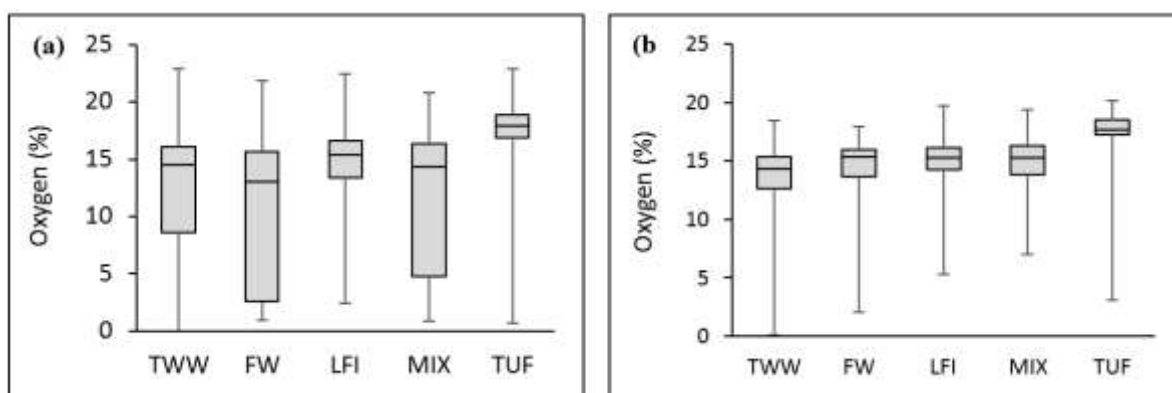
איור 17: ריכוז חנקן בתרחישים שונים



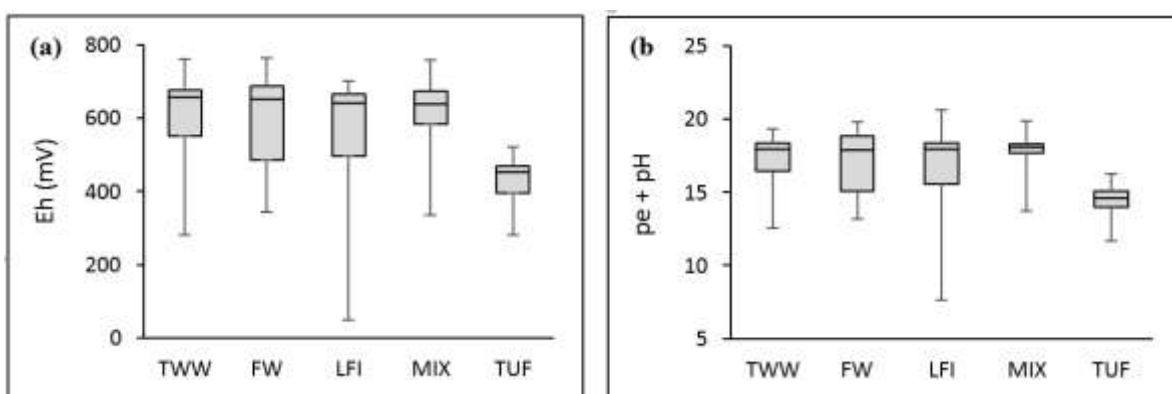
איור 18: ריכוז פחמן אורגני מומס בתרחישים שונים

אין מסקנות תפעוליות העולות במישרין ממדידות הרטיבות. לא ניתן להבחין אמפירית או סטטיסטית בהבדלים ברורים בין טיפול הקולחים וטיפול השפירים (או טיפולי הממשק והמהילה). תוצאות ראשוניות של המודל מראות שינוי בקצב צבירת (ופירוק) החומר האורגני בעיקר בתרחישים של שפירים (או תערובת) וממשק השקיה, אך היות והמודל אינו מכויל מעבר לרמת התאמת הפרמטרים הכללית, הרי שמדובר בלא יותר מהתאמה לציפיות.

iii. **רמות חמצן ורדוקס בבית השורשים:** סיכום התוצאות של כל מדידות החמצן והרדוקס, כולל ערכים שנמדדו בשנים הקודמות, (סה"כ כ- 700,000 ערכים מדודים עבור כל מדד), מובא באיורים 19 ו-20, בהתאמה. מוצגים טווח הנתונים, ערכי החציון ותחום הערכים של הרבעון (25% מהנתונים) שמעל החציון ושל הרבעון שמתחתיו. בולטת השונות הגבוהה, בעיקר בריכוזי החמצן. לגבי החמצן בולט גם טווח הערכים הרחב, המכסה את כל תחום הערכים האפשרי בסביבה. לעומת זאת תחום ערכי הרדוקס צר יחסית ואינו חורג כמעט מהתחום המוגדר כמחומצן. השונות הגבוהה בריכוזי החמצן נובעת בעיקר מהנתונים שנמדדו בחודשי החורף, אז מדידות רבות בכל הטיפולים הראו ריכוזי חמצן נמוכים מ- 5-10%. בתקופת ההשקיה הפיזור היה בטווח צר יותר והערכים אחידים יותר כפי שניתן לראות מההשוואה של האיורים 19a ו-19b. בתקופה זו ערכי החמצן נעו לרוב בין 13% ל- 16% בכל טיפולי הקרקע. בטיפול הטוף ערכי החמצן בתקופת ההשקיה נעו לרוב בין 17% ל- 19% וזאת הודות לתכונות הטוף – המרקם הגס והנקבובים הגדולים. מהסתכלות כללית על נתוני הרדוקס עולה כי בטיפול הטוף נמדדו ערכי רדוקס נמוכים יותר בהשוואה לשאר הטיפולים, וזאת על אף שריכוזי החמצן בטיפול זה היו הגבוהים ביותר. הסיבה לכך היא ככל הנראה הרכבו הכימי של הטוף אשר מכיל מינרלים של ברזל מחוזר (Fe^{II}). כלומר לערכי הרדוקס הנמוכים בטיפול זה אין זיקה לרמות חמצן נמוכות. ניתן לראות גם כי טווח הערכים בטיפול זה קטן יותר מאשר בטיפולים האחרים, דבר המרמז על כך שלטוף יש כושר בופר חזק יותר לרדוקס מאשר לקרקע.

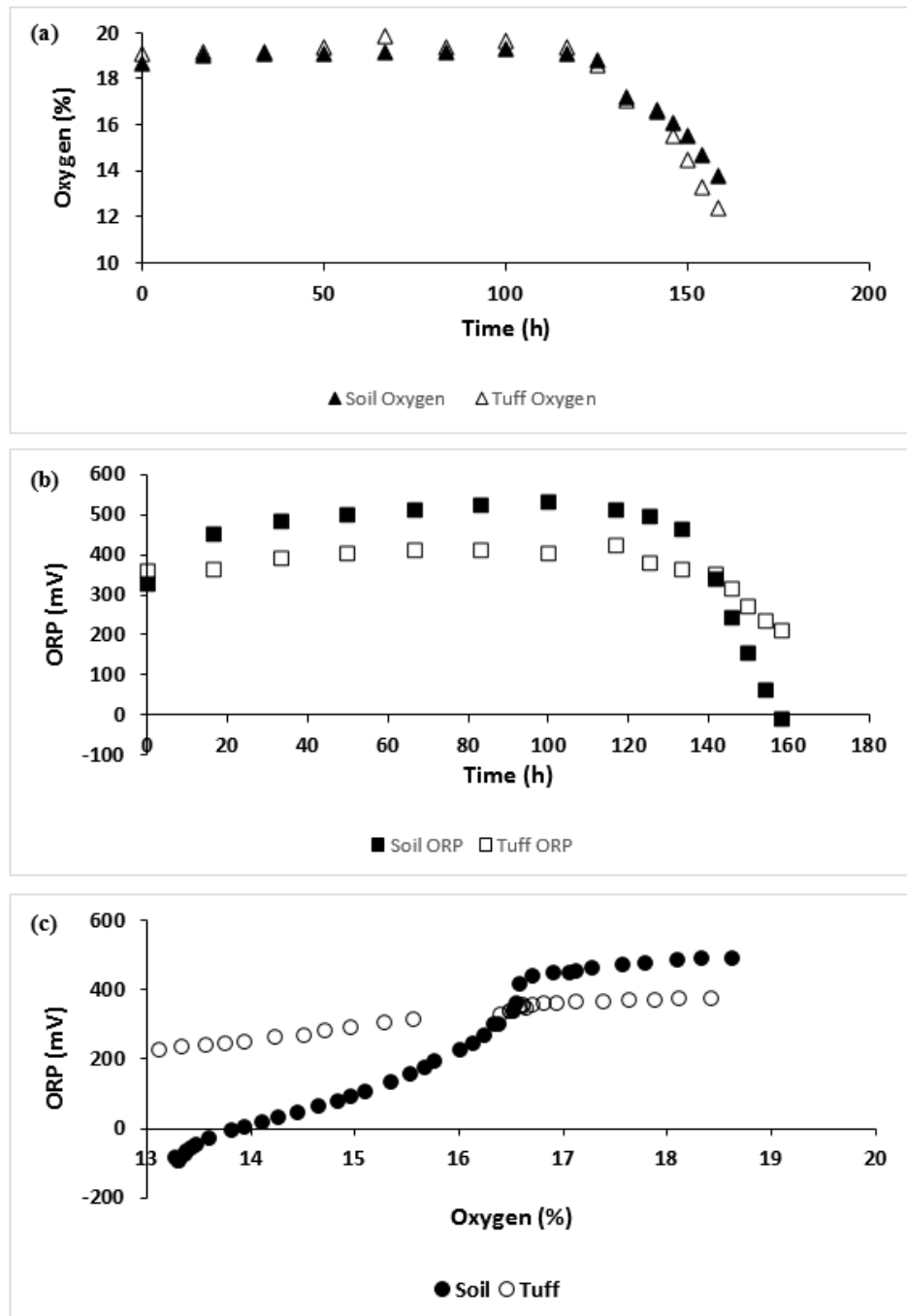


איור 19: ערכי קריאות החמצן לפי טיפולים במהלך כל הניסוי (a) ובשיאה של תקופת ההשקיה בחודשים יולי- ספטמבר (b)



איור 20: ערכי הרדוקס לפי טיפולים לאורך הניסוי בצורת מתח (a) ובצורת $pe + pH$ (b)

כדי לבדוק את הקשר בין רמת החמצן לבין תנאי הרדוקס בטוף בהשוואה לקרקע הודגרו דוגמאות טוף וקרקע במערכת מבוקרת בה נערכה הרטבה הדרגתית ממצב יבש למצב רטוב בעזרת בקבוק מאריוט בצורה כזו שהחמצן יישמר ברמה דומה בשני המצעים (לצורך כך היה צורך להפעיל בכל רגע נתון מתח מים נמוך יותר על מצע הטוף). השתנות רמות החמצן והרדוקס מוצגת באיור 21.



איור 21: ריכוז החמצן (a) ופוטנציאל הרדוקס (b) במהלך ניסוי הדגרת טוף וקרקע בתנאים מבוקרים, ותלות פוטנציאל הרדוקס בריכוז החמצן (c) בקרקע ובטוף.

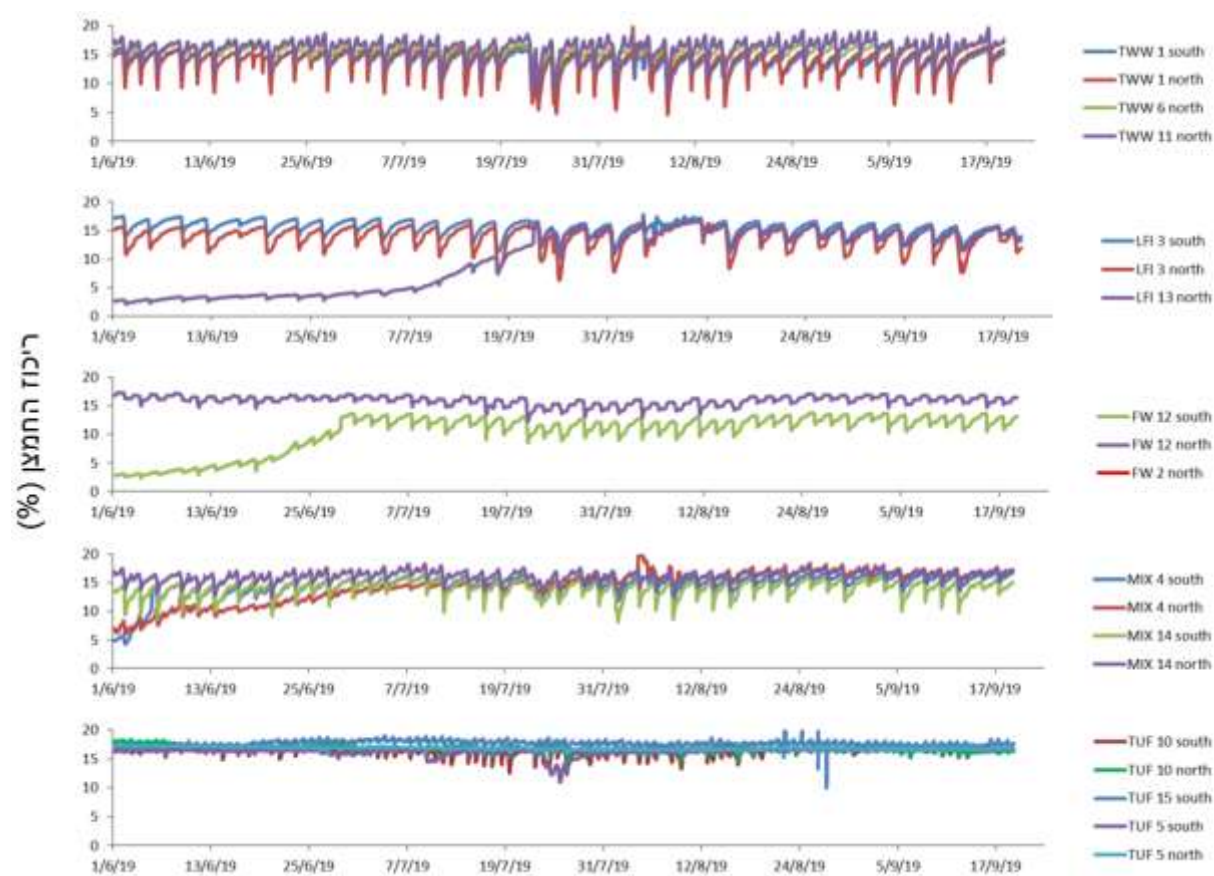
בשלב הראשון של הניסוי, כ-120 שעות מתחילת המדידות, ולפני תחילת ירידת ריכוז החמצן בשני המצעים, ערכי הרדוקס בטוף היו באופן קבוע נמוכים יותר מאשר בקרקע בכ-100 mV (איור 21b). פוטנציאל הרדוקס בטוף עמד בחלק זה של הניסוי באופן די יציב על כ-400 mV, דבר המאמת את מהימנות המדידות בניסוי השדה, שבו הערכים שנמדדו בטוף במצב מאוורר היו דומים (איור 20). ערך זה מייצג כנראה את פוטנציאל הרדוקס הטבעי של הטוף. בקרקע בתקופה זו פוטנציאל הרדוקס נע סביב 500 mV. לאחר כ-120 שעות

מתחילת הניסוי ועד כ- 160 שעות מתחילת הניסוי בוצעה הרטבה הדרגתית אשר גרמה לירידת ריכוז החמצן באופן דומה בשני המצעים (איור 21a). בשלב זה חלה ירידה בפוטנציאל הרדוקס בשני המצעים, אך בצורה חדה יותר בקרקע מאשר בטוף: בקרקע במהלך פרק זמן זה חלה ירידה בפוטנציאל הרדוקס מכ- 500 mV ל- 10 mV, בעוד בטוף, באותו הזמן ובירידה זהה בריכוז החמצן, חלה ירידה מכ- 400 mV ל- 210 mV בלבד (איור 21b). כאשר ריכוז החמצן ירד מתחת לכ- 16.5%, חל היפוך – פוטנציאל הרדוקס בקרקע הפך להיות יותר מחוזר מאשר בטוף. דבר זה מאשש את ההשערה שירידת ריכוז החמצן משפיעה בצורה שונה על פוטנציאל הרדוקס בקרקע לעומת פוטנציאל הרדוקס בטוף. ההיפוך בין הקרקע והטוף, המתקבל בערך ב- 350 mV (או $pH + pe = 13.4$, בהנחה ש- $pH=7.5$ בקירוב, כפי שעולה מהמידות בשדה) – בטווח הפוטנציאל שבו מתרחש חיזור ניטראט לניטריט.

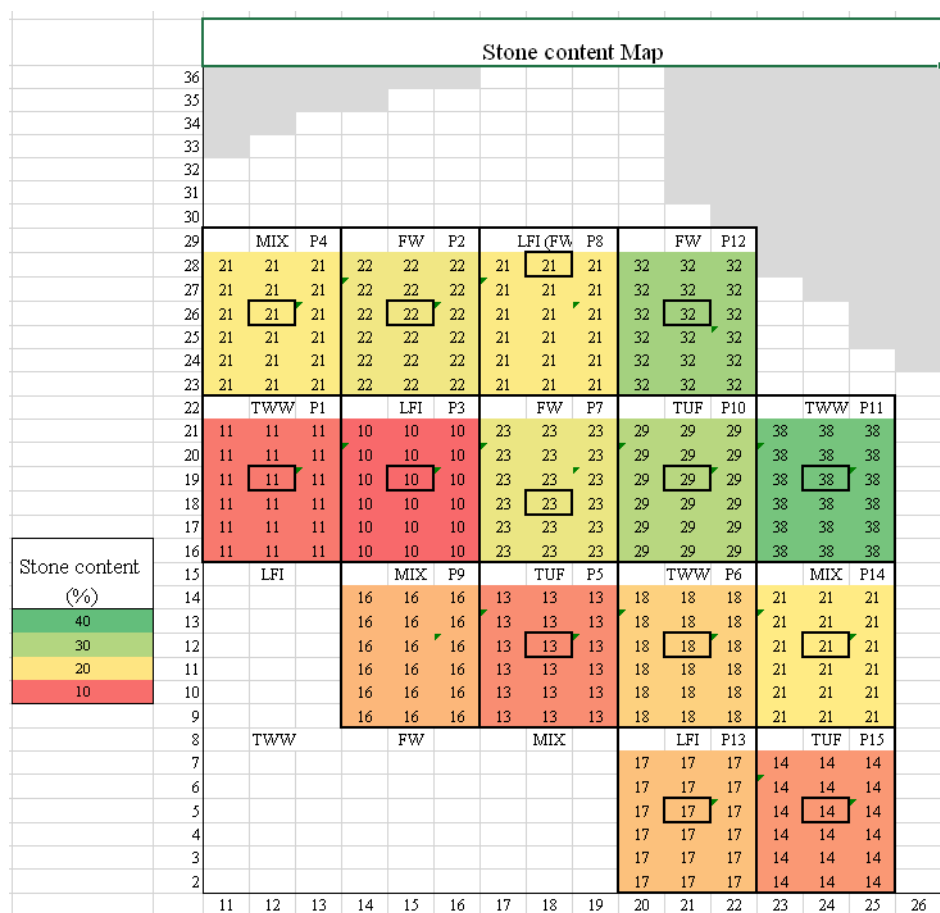
גם המדידות בשטח וגם המדידות בניסוי ההדגרה מצביעים על כך שבתחום הערכים המתקיים בחלקה, מדד ריכוז החמצן הוא הממד האינפורמטיבי יותר. במצבים חמורים יותר של חוסר אוורור, כגון אלו שהתקיימו בניסוי בחלקת הניסיונות בעכו, מדד הרדוקס עשוי להיות רגיש בתחומים נמוכים, בהם ריכוז החמצן איננו רגיש. מסיבה זו, וכן בגלל בעיות טכניות ותקציביות, הופסקו מדידות הרדוקס במהלך שנה זו.

ריכוזי החמצן שנמדדו בשנה האחרונה מוצגים באיור 22 עבור כל חמשת הטיפולים. מרבית החיישנים פעלו באופן תקין גם במהלך השנה הזו. מספר חיישנים יצאו מכלל פעולה, כנראה עקב הצפה בחורף. חיישנים אלו קראו ריכוז 0 באופן קבוע, והם אינם מוצגים. מספר חיישנים חזרו באופן הדרגתי לפעילות מלאה והם מוצגים בגרפים (למשל חיישן LFI 13 north). התנודות הגבוהות בריכוזי החמצן, בהתאם למחזורי ההשקיה, אפיינו את כל טיפולי הקולחים והם כללו ירידות לזמן קצר לערכים של 7-8% בטיפול הקולחים (TWW) ולערכים מעט פחות נמוכים בטיפולים LFI ו-MIX. בטיפול השפירים הירידות היו מתונות יותר, ובטיפול הטוף כמעט לא נמדדו ערכים נמוכים מ-12%. ממוצעי ריכוזי החמצן בטיפולים השונים בתקופה המוצגת היו 12.1% בקולחים, 13.3% בשפירים, 13.1% ב-LFI, 14.9% בטיפול ה-MIX ו-16.6% בטיפול הטוף.

כדי לבדוק מה הסיבה למצב האוורור והרדוקס שירדו באופן עקבי לערכים פחות נמוכים מאלו שנמדדו בחלקת הניסיונות בעכו, ביצענו בדיקת אבניות בעומק 30-5 ס"מ בכל חלקות המדידה. הבדיקה נעשתה עבור דגימה במשקל של כ-2 ק"ג שנלקחה ממרכז של כל חלקת מדידה (שלוש חלקות מכל טיפול), בראש הגדודית. הדוגמאות עברו ניפוי רטוב ותוצאותיהן מוצגות באיור 23. בולטת מאוד התכולה הגבוהה של האבנים בקרקע, בין 10% לבין 38% (משקלי), בהשוואה לרמת אבניות של שברי אחוז שנמצאה בחלקת הניסוי בעכו. כמו כן בולטת הווריאביליות הרבה, כאשר באופן כללי האבניות גדולה יותר בחלק הצפון-מזרחי של המטע. המרת הנתונים לאחוז נפחי, על סמך הנחת צפיפות גושית של 1.2 עבור הקרקע ו-2.65 עבור האבנים נותנת טווח של 4.33-14.7%. תכולת אבניות זו מספקת את ההסבר להבדלים בממשק האוורור והרדוקס בין חלקת הניסוי ביסעור לבין חלקת הניסוי בעכו.



איור 22: ריכוזי החמצן בעומק 35 ס"מ בטיפולים (מלמעלה למטה) קולחים, LFI, מים שפירים, MIX וטוף במהלך עונת ההשקיה 2019.



איור 23: אחוז משקלי של האבנים בעומק 5-30 ס"מ בחלקות השונות. כל חלקה אופיינה על פי ריכוז האבנים בנקודת דגימה במרכז.

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

iv.

בוצעו סימולציות תלת-ממדיות של זרימת מים ומומסים וקליטת המים לתקופה של ארבע שנים שכוללת עונות השקיה בקיץ ועונות גשם בחורף. הטיפולים שעבורם בוצעו הסימולציות הם: 1. ביקורת REF (השקיה בקולחים TWW), 2. FW (השקיה במים שפירים) 3. TUF (השקיה בקולחים TWW בתעלות שמולאו בטוף) ו-4. TUFp (כמו 3 אבל השקיה בפולסים, ארבע פעמים ביום). הטיפול הרביעי לא בוצע בפועל והסימולציה נועדה לבחון כיצד הגדלת תדירות ההשקיה הייתה תורמת לטיפול הזה.

באיור 24 מוצגות התוצאות של הטרנספירציה היחסית $T_r(t) = T_a(t)/T_p(t)$

כאשר $T_a(t)$ היא קצב הטרנספירציה האקטואלית בזמן, t ,

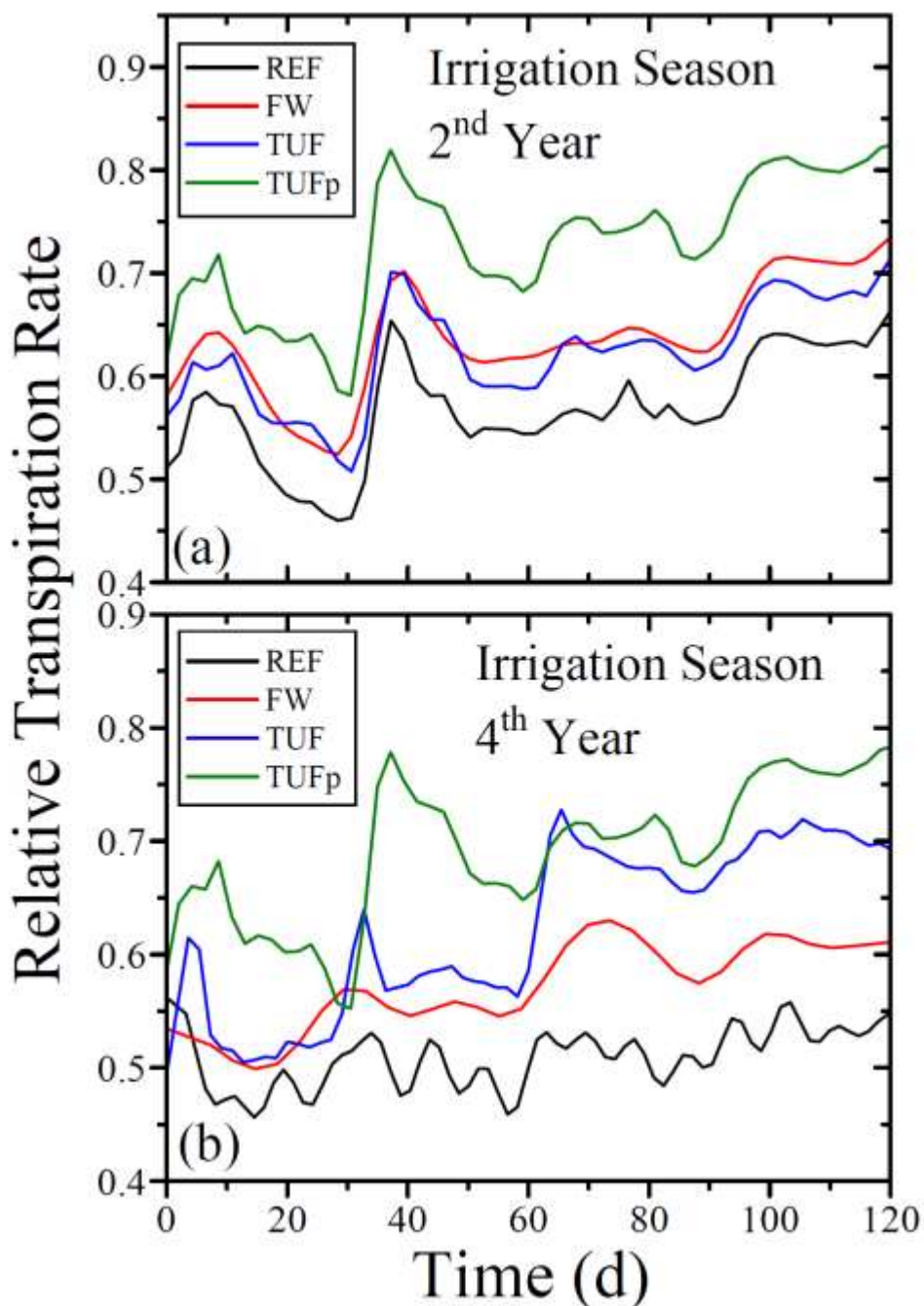
$$T_a(t) = \iiint (S_w(x_1, x_2, x_3; t)) dx_1 dx_2 dx_3$$

S_w הוא קצב קליטת המים ע"י שורשי העצים, $\underline{x} = (x_1, x_2, x_3)$ הוא וקטור הקואורדינטה המרחבית, ו-

$T_p(t)$ הוא קצב הטרנספירציה הפוטנציאלית.

התוצאות באיור הן עבור תקופה של 120 ימים בעונת ההשקיה השנייה (איור עליון) והרביעית (איור תחתון). יש לציין שבטיפול הקולחים REF, הטרנספירציה האקטואלית המצטברת, $T_a = \int T_a(t) dt$, לא עלתה מעל 52% מהטרנספירציה הפוטנציאלית המצטברת באותה תקופה, $T_p = \int T_p(t) dt$, כאשר בשנה הרביעית הייתה ירידה קלה לעומת השנה השנייה.

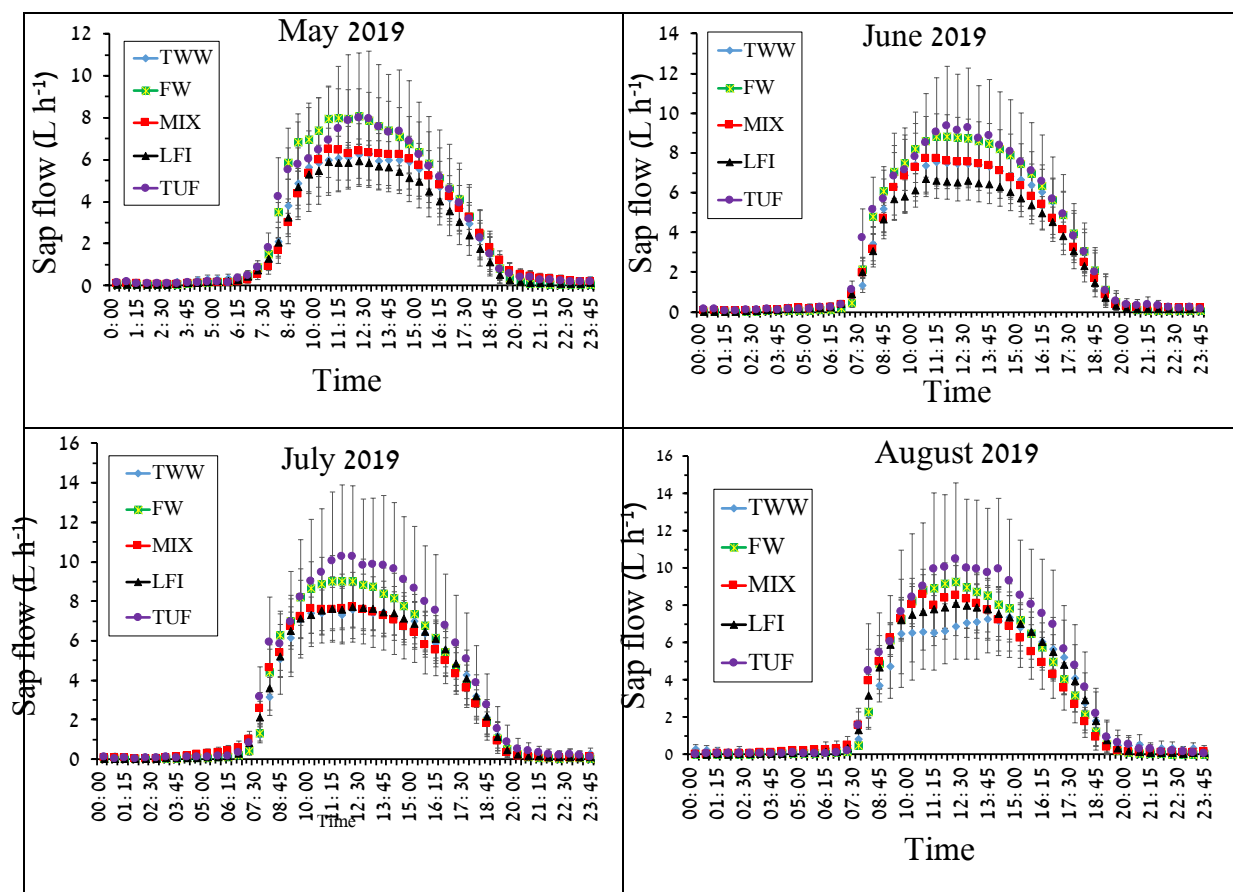
בנוסף, האיור מראה שיחסית לטיפול הביקורת (REF), להשקיה במים שפירים (FW) הייתה השפעה דומה על קצב הטרנספירציה בשנה הרביעית כמו בשנה השנייה, שיפור של 12.6% בקליטת המים בעונת ההשקיה. לעומת זאת לטיפול תעלות האוורור (TUF) הייתה השפעה חיובית גדולה יותר בשנה הרביעית מאשר בשנייה, שיפור של 24% לעומת 9.5% יחסית לטיפול הביקורת (REF). בדומה לכך הטיפול בתעלות אוורור בתדירות השקיה גבוהה TUFp שיפר בשנה הרביעית את קליטת המים יחסית לביקורת ב-35% לעומת 28.4% בשנה השנייה.

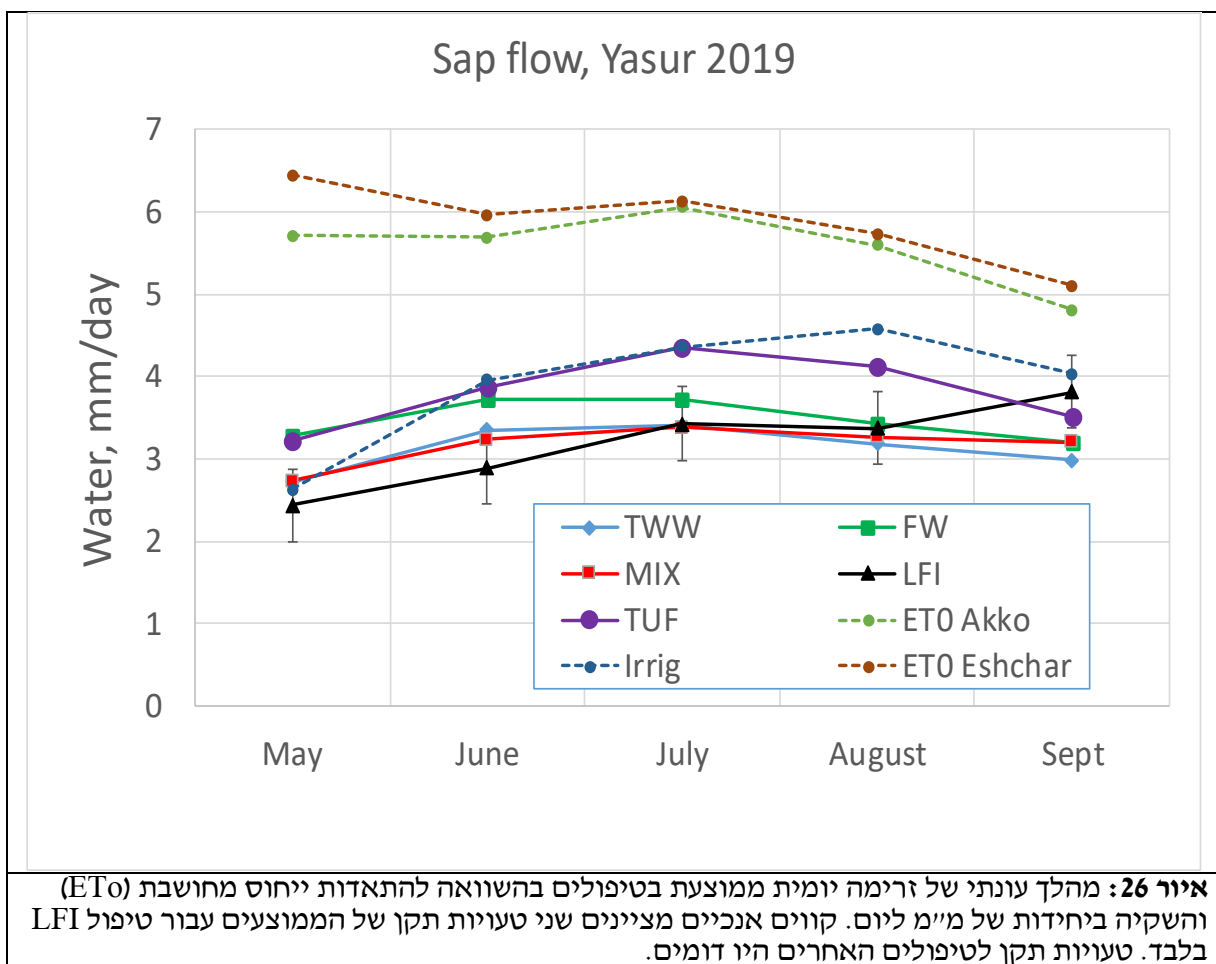
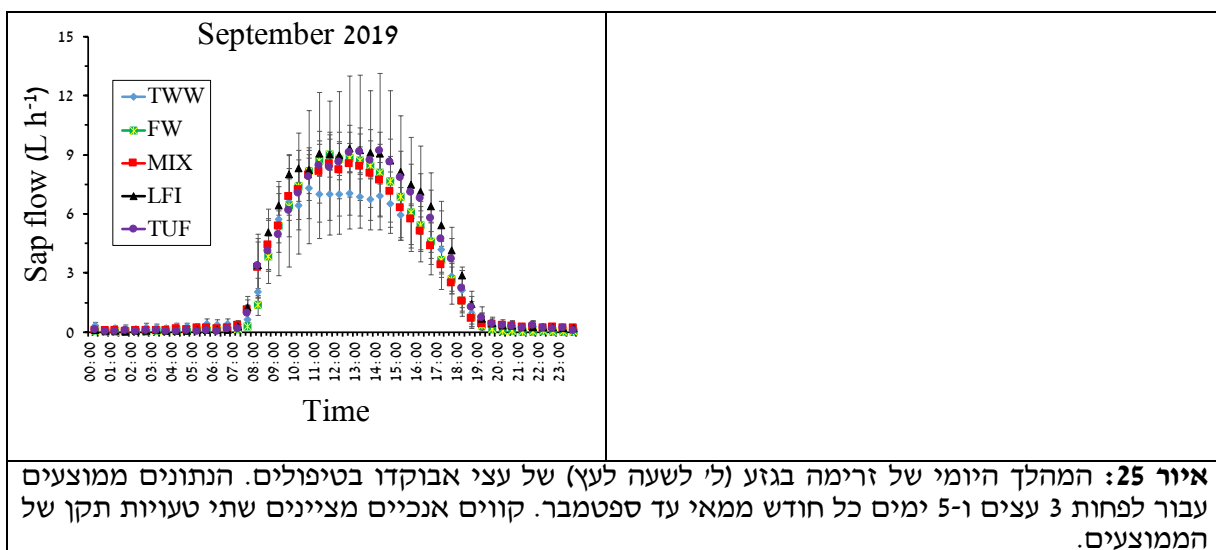


v. **איור 24:** סימולציה של קצב הטרנספירציה היחסי כתלות בזמן בעונת ההשקיה השנייה (עליון) ובעונת ההשקיה הרביעית (תחתון) מחושבת עבור ארבעת הטיפולים הבאים: 1. ביקורת REF (השקיה בקולחים TWW), 2. FW (השקיה במים שפירים), 3. TUF (השקיה בקולחים TWW בתעלות שמולאו בטוף) ו-4. TUFp (כמו 3 אבל השקיה בפולסים, ארבע פעמים ביום).

2. מעקב צמחי

i. **צריכת מים של עצים:** מהלכים יומיים ממוצעים מובאים באיור 25. מהלך עונתי של סה"כ צריכה יומית מובא באיור 26. במאי ויוני הצריכה הכי גבוהה נמדדה בטיפול השפירים (FW) ולאחר מכן בטיפול הטוף (TUF) אך הבדלים אלה אינם מובהקים. התוצאה עבור טיפול TUF מצטרפת למגמת העלייה שנצפתה בצריכת מים של טיפול זה (ראה בדו"חות קודמים). הצריכה בטיפול טוף הייתה הכי נמוכה בשנה הראשונה לאחר יישום הטיפולים (2016), התגברה עם הזמן עד שבסוף עונת 2018 הייתה דומה לזאת של שפירים, ועד אמצע קיץ 2019 עלתה על זה של טיפול השפירים בחודשים יולי, אוגוסט וספטמבר. הטיפולים של קולחים (TWW), מיהול (MIX) וקולחים בתדירות נמוכה (LFI) צרכו פחות מים משפירים בתחילת העונה עד יולי. בחודשים יולי ואוגוסט לא היו הבדלים מובהקים בין הטיפולים חוץ מאשר בטיפול הטוף שבו הצריכה הייתה גבוהה מאשר בטיפולים האחרים. בספטמבר הייתה ירידה יחסית בטוף, כך שטיפול זה לא היה שונה מהאחרים.

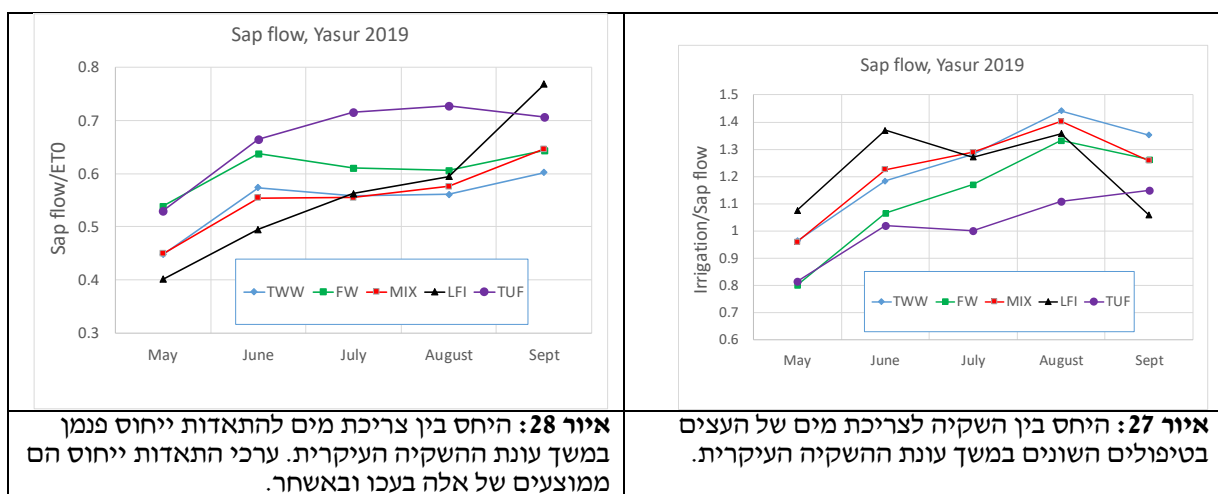




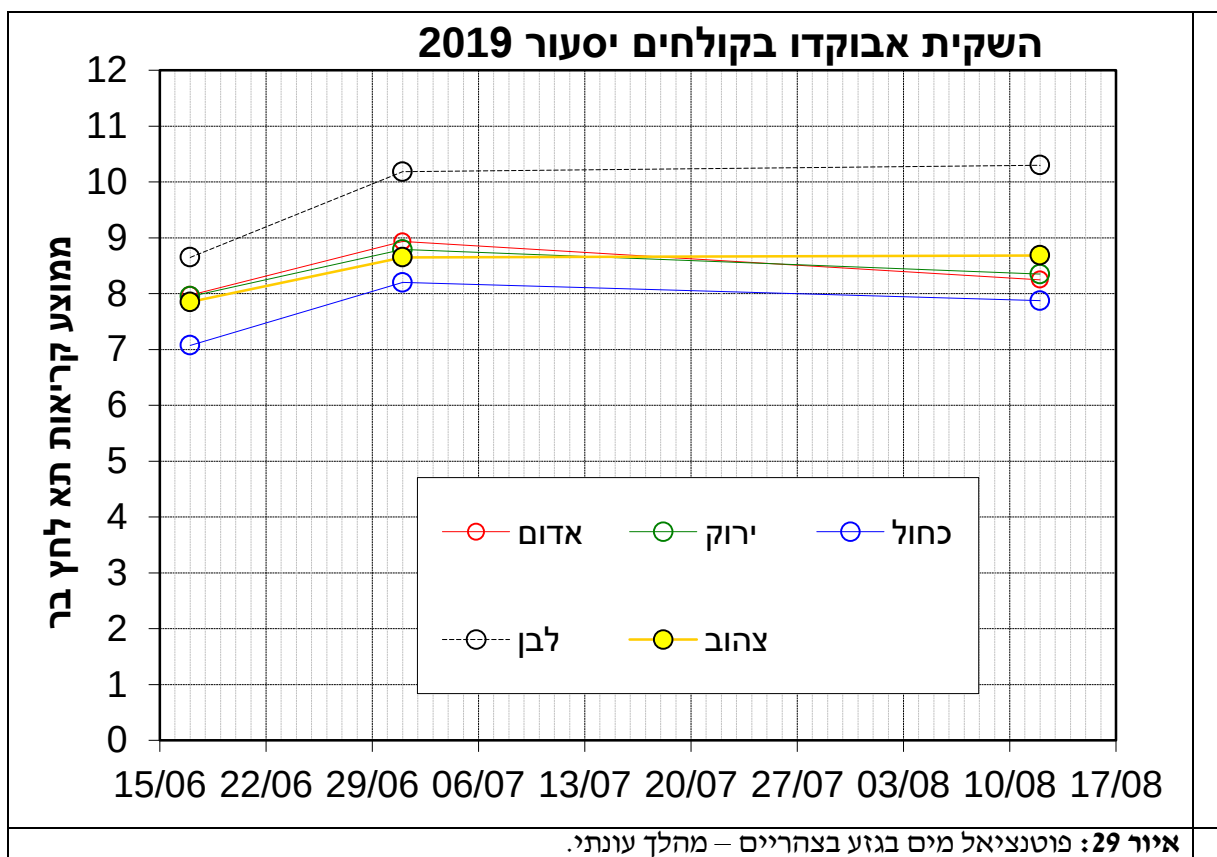
צריכת מים, כפי שמתקבלת ממדידות זרימה בגזע, הייתה קרובה למנת ההשקיה (איור 27) במאי בטיפולים קולחים, מיהול ו-LFI, ויותר גבוהה מההשקיה בשפירים וטוף. לאחר מכן ההשקיה הייתה יותר גבוהה מהצריכה ב-10 עד 40% בכל הטיפולים חוץ מאשר ב-TUF, שצרך יותר מים מההשקיה ורק באוגוסט וספטמבר ההשקיה ב-TUF עלתה על הצריכה.

היחס בין מנת ההשקיה להתאדות ייחוס מהווה את המקדם גידול המשתנה, כולל מקדם שטיפה, לאורך העונה, לפי המלצות ומימוש בשטח. מהלך מקדם זה מובא באיור 28. בטיפול טוף המקדם עלה ממאי עד יוני ויולי והגיע לסביבות 0.7 כאשר בטיפולים האחרים המקדם עלה לסביבות 0.55 עד 0.6 ובטיפול LFI חלה עליה נוספת בספטמבר. ערכים נמוכים אלה מצטרפים לערכים הנמוכים שדיווחנו בשנים קודמות וכפי שציינו שם, ייתכן שיש מקום לבחון בניסוי אחר מנות השקיה של אבוקדו.

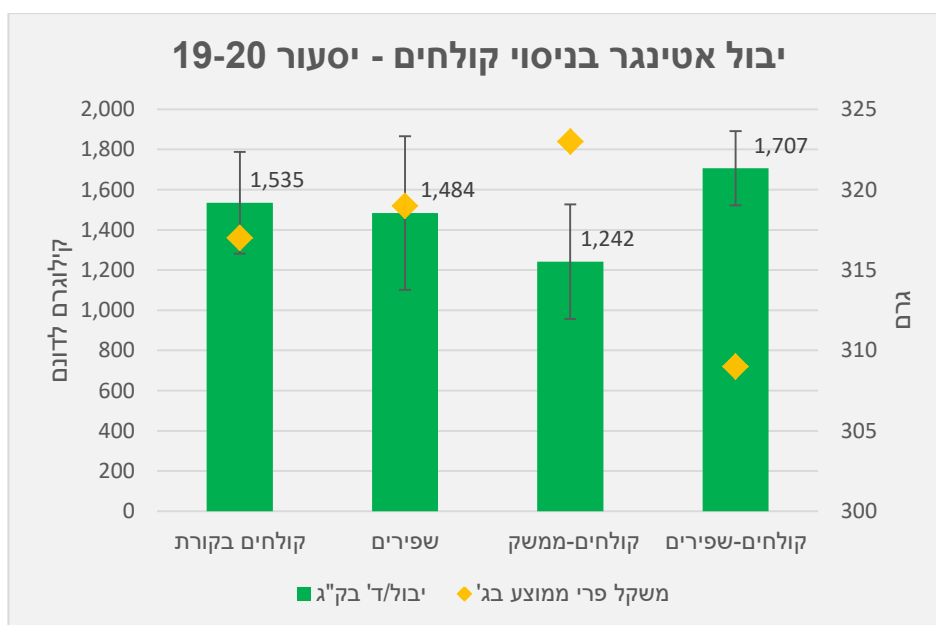
אופי המהלך היומי יכול להעיד גם על הבדלים מצב המים של העץ. במיוחד ירידה מוקדמת בצריכת מים אחה"צ יכולה להעיד על עקת מים מסוימת. בתוצאות עבור שנת 2019 ניתן להבחין בהתנהגות כזאת בטיפול LFI במאי, המעיד אולי על עקת מים בטיפול זה. ביתר הטיפולים ובמשך שאר העונה אין עדויות להבדלים מיוחדים באופי המהלך היומי.



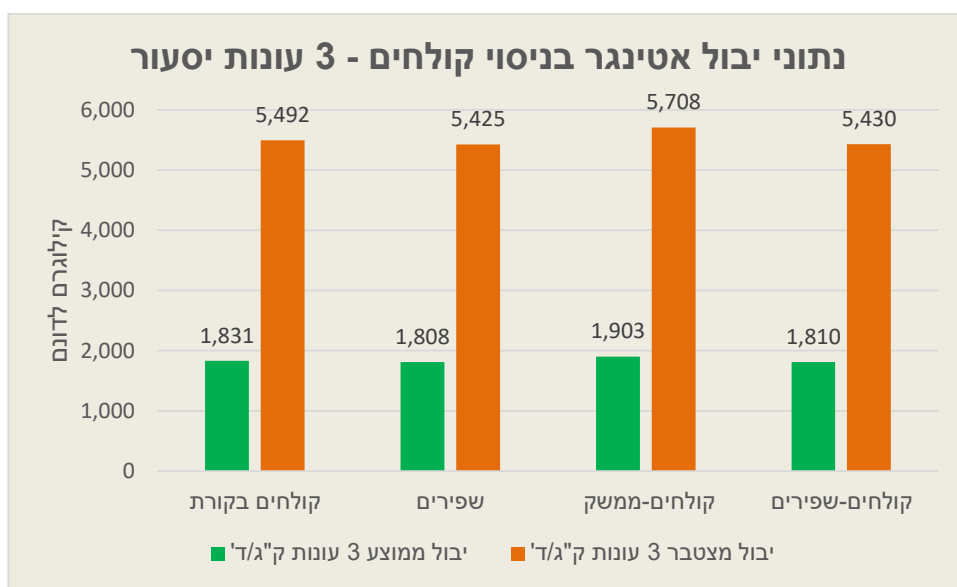
פוטנציאל מים שלילי בגזע בצהרי היום, שנחשב מדד אמין של מצב המים בצמח מובא באיור 29. ערכי מדד זה דומים למה שהתקבל ב-2018, כאשר הערכים הכי נמוכים הם עבור שפירים, ואלה לא שונים באופן מובהק מאלה של הטיפולים האחרים חוץ מאשר טיפול TUF שהשנה פוטנציאל המים בו היה יותר גבוהה מהאחרים באופן עקבי. אם הצריכה המוגברת של טיפול TUF (איור 30) נגרמה מצמיחה מוגברת ובאמת קרובה למנת ההשקיה, אכן מנת ההשקיה קצת נמוכה ותדירות נמוכה של השקיה עבור טיפול זה גרמו לעקה מתונה.



יבול: יבול האס ואטינגר עונת 2019-2020 וניתוח שנתי מצטבר מוצג באיורים 30 עד 33. יבולי האטינגר בעונת 2019-2020 (איור 30) הינם נמוכים למדי, זו תופעה שאנו רואים בכל הארץ ונראה שנובע מאירוע חום קיצוני בחצי השני של חודש מאי, כאשר החנטים יצאו מהפרחים ורבים לא שרדו בגל החום. גודל הפרי גדול יחסית, כנראה בגלל הקיץ הנוח שלא היה מאד חם ונשמרה בו לחות גבוהה יחסית, ואפשרה לפרי לגדול ללא עקת חום באופן יחסי לקיצים חמים.



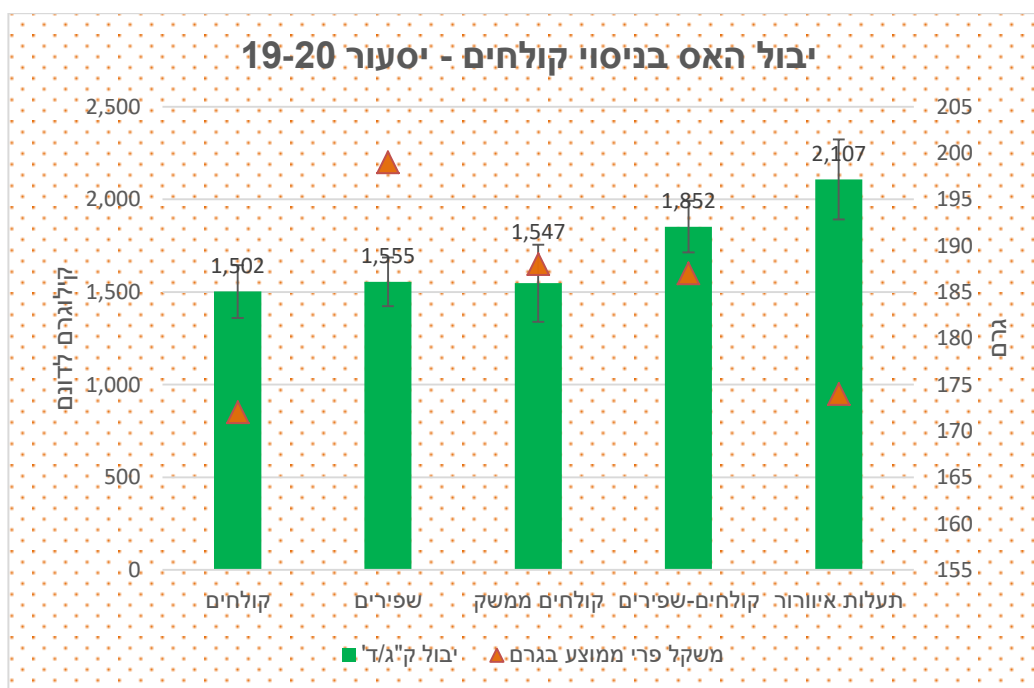
איור 30: יבול אטינגר 19-20 אין הבדלים סטטיסטיים ביבולים



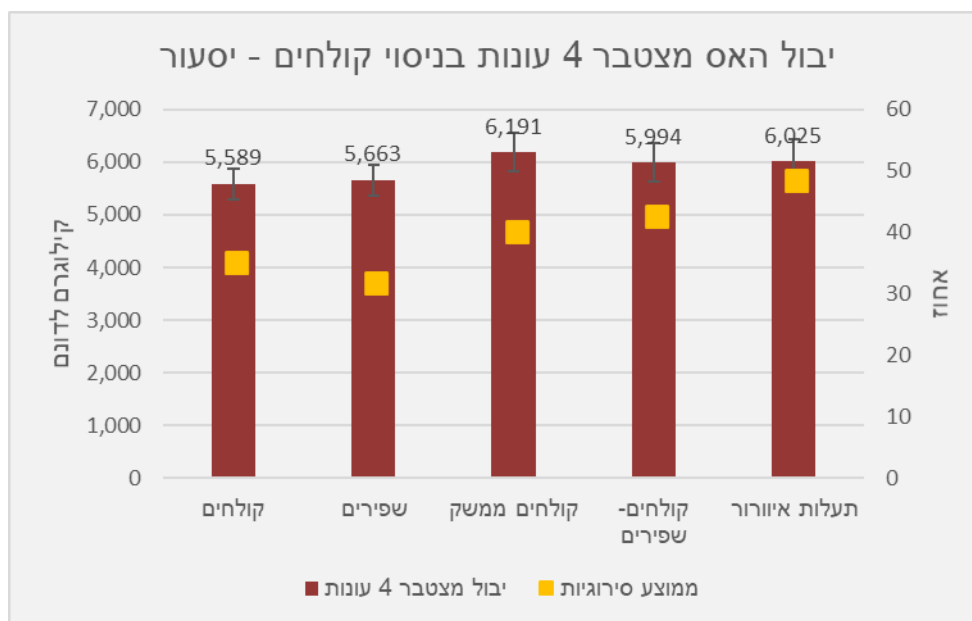
איור 31: יבול אטינגר 3 עונות (17-18, 18-19, 19-20)

מנתוני יבול מצטברים (איור 31) של 3 עונות (בשנה ראשונה של הניסוי, לא נאספו יבולי האטינגר לפי הטיפול), נראה יתרון מסוים לטיפול הקולחים ממשק של 280-210 ק"ג/ד' וזאת על אף יבול נמוך יחסית בעונה האחרונה. טיפול השפירים איננו מתבלט ביבול, אם כי נראה שהוא משפיע על גודל פרי. ניתן לראות זאת בהשוואה לנתוני יבול של טיפול הקולחים העונה שבו היבול דומה וגם בנתוני יבול עונה קודמת שבו גודל הפרי בטיפול השפירים היה גדול באופן מובהק מבשאר הטיפולים.

יבולי האס בעונה 2020-2019 ובמצטבר מוצגים באיורים 32 ו-33. בעונה 2020-2019 אין הבדל סטטיסטי בנתוני היבול, אך יש הבדל מובהק בגודל הפרי בין טיפול השפירים לטיפול הקולחים.



איור 32: יבול 19-20 (נקטף באמצע פברואר 2020)



איור 33: נתוני יבול מצטברים בהאס 4 עונות

אין הבדלים מובהקים בין הטיפולים, לא ביבול ולא באחוז הסירוגיות (איור 33). מנתוני היבול המצטברים ל-4 עונות נראה יתרון מסוים ביבול לטיפול הקולחים ממשק, המיהול ותעלות הטוף, אם כי אין שום הבדל מובהק. טיפול תעלות הטוף היה נחות עד עונה זו, אולי בגלל ממשק לא מתאים שבו השקנו במספר פעימות ליום לעומת עונה אחרונה שבה היה הממשק השקיה אחת בכל יום למעט יום שבת שבו לא היתה השקיה כלל וביום שישי ניתנה מנת מים כפולה. כמו כן ניתנה בטיפול הטוף מנה גדולה של כ- 5% במים בגלל חשש שאין מספיק הדחת מלחים במנה יומית. בטיפול המושקה במים שפירים יש פרי גדול יותר באופן מובהק מבשאר

הטיפולים, וכן מסתמנת סירוגיות נמוכה יותר משאר הטיפולים, אולם הבדל זה לא מובהק. עד עונה זו הסתמן טיפול הקולחים ממשק כטוב יותר בתנאי הגידול הקיימים. בעונה אחרונה טיפול זה היה בתוצאה בינונית. יכול להיות שעקב מרווח האינטרוולים הגדול יותר, נוצרה עקה באירוע החום הגדול שהיה במאי 2019 שזהו כידוע מועד קריטי והוא מועד קובע יבול לעונה.

3. סיכום ומסקנות

בתום השנה הרביעית של המחקר ניתן להתרשם שהתחילה להתבטא השפעת הטיפולים המשפרים כתגובות העצים ברמות היבול, אולם בעיקר במדדים קרקעיים וצמחיים שנבחרו למעקב (בחלקם רציף) במחקר זה. נבדקה השפעת הטיפולים על מאפייני תמיסת הקרקע. נמצא ששבדומה לשנים הקודמות לטיפולים לא הייתה השפעה על ערך ה-pH, אולם כצפוי ובהתאמה לשנים הקודמות לטיפול איכות המים, שפירים, מיהול וקולחים הייתה השפעה מובהקת ועקבית על המוליכות החשמלית, ריכוז הכלוריד וערך ה-SAR בכל חתך הקרקע, כאשר סדר הערכים של שלושת המדדים הללו הוא קולחים < מיהול < שפירים בהתאמה להרכב מי המקור. בכל הטיפולים ריכוזי הכלוריד וערכי ה-SAR עולים עם העומק. טיפול ממשק השקיה של אינטרוול ארוך לא השפיע על המוליכות החשמלית, ריכוז הכלוריד וה-SAR בחתך הקרקע לעומת טיפול הקולחים המשקי. בטיפול תעלות הטוף המוליכות החשמלית, ריכוז הכלוריד וה-SAR בשכבת הקרקע העליונה נמוכים מאשר בביקורת המשקית ועולים עם העומק, כאשר ערכי המוליכות החשמלית וריכוז הכלוריד בטיפול הטוף גבוהים במובהק מהביקורת בעומק 60-90 ס"מ ואילו ה-SAR אינו שונה במובהק מהביקורת. גם תוצאה זו נמצאת בהתאמה לשנים הקודמות ומצביעה על שטיפת מלחים יעילה משכבת הטוף. השפעת טיפולי מקור המים על ריכוזי הנתרן בחתך דומה מאוד להשפעתם על ה-SAR, כי הטיפולים השפיעו בעיקר על ריכוז הנתרן ואילו הסיידן לא הושפע כלל ואילו ריכוז המגנזיום בשתי השכבות העליונות הושפע באופן הפוך מהנתרן לפי הסדר שפירים < מיהול < קולחים. כתוצאה מכך השפעת מקור המים על ה-SAR הייתה באופן יחסי גדולה מאשר על הנתרן. לממשק של אינטרוול השקיה ארוך לא הייתה השפעה. לתעלות הטוף הייתה השפעה מובהקת על ריכוזי הקטיונים ביחס לטיפול הביקורת המשקי.

השפעת טיפולי מקור המים על ריכוז האשלגן בתמיסת הקרקע דומה מאוד להשפעתם על הנתרן, כאשר סדר הריכוזים הוא קולחים < מיהול < שפירים בהתאמה להרכב מי המקור (איור 2). אולם השינוי בריכוז האשלגן עם העומק בקולחים ובמי המיהול הפוך מאשר בנתרן, הערכים הולכים ויורדים עם העומק ואילו בשפירים הריכוז בחתך היה אחיד, כך שבשכבה 60-90 ס"מ לא היה הבדל בריכוז האשלגן בטיפולים השונים. ההבדל בין פרוס האשלגן והנתרן בחתך נובע מהמשיכה החזקה יותר של אשלגן מאשר נתרן לקומפלקס הסופח בקרקע. לטיפול אינטרוול השקיה ארוך ותעלות טוף לא הייתה השפעה על הריכוזים ומגמת השינוי בריכוז עם העומק של האשלגן.

למרות שהקולחים מכילים DOC אין הבדל מובהק ב-DOC בתמיסת הקרקע בין טיפולי מקור המים. לעומת זאת ישנם הבדלים מובהקים בריכוזי ה-TDN וריכוזי החנקן הזמין ובמיוחד החנקן חנקתי בין טיפולי מקור המים לפי הסדר קולחים < מיהול < שפירים בהתאמה לריכוזי המי המקור. להשקיה באינטרוול ארוך לא הייתה השפעה על ארבעת המדדים הללו יחסית לטיפול הביקורת המשקי. לתעלות הטוף הייתה השפעה מובהקת על המדדים, במיוחד ה-DOC, ה-TDN והחנקן חנקתי. ה-DOC בתעלות הטוף היה נמוך באופן ניכר ומובהק מאשר בטיפול קולחים משקי בחתך הקרקע חוץ מהשכבה 30-60 ס"מ. לעומת זאת ה-TDN והחנקן חנקתי בטיפול תעלות הטוף היו גבוהים באופן ניכר ומובהק מאשר בטיפול קולחים משקי בחתך הקרקע בשכבות 30-60 ו-60-90 ס"מ.

השפעת מקור המים, קולחים לעומת שפירים וטיפול תעלת הטוף על פרוס ערכי ה-pH, המוליכות החשמלית, ה-SAR וריכוז הכלוריד בתמיסת הקרקע כתלות במרחק מקו הטפטוף מראה שבבדומה לתוצאות בחתך הקרקע לטיפולים לא הייתה השפעה על ערך ה-pH. לעומת זאת מקור המים השפיע על המוליכות החשמלית, ריכוז הכלוריד וה-SAR משני צדי קו הטפטוף לפי הסדר קולחים > שפירים. מעניינת השפעת תעלת הטוף על מוליכות החשמלית וריכוז כלוריד גבוהים באופן ניכר במרחק 15 ס"מ מקו הטפטוף לכוון שורת העצים מאשר בממשק המשקי ואילו בשורת הטפטוף ההשפעה הפוכה אך קטנה בהרבה מאשר בשורת העצים, ואילו במרחק 15 ס"מ לכוון בין שורות העצים לא היה הבדל ניכר ומובהק בין טיפולים אלו.

מקור המים השפיע על ריכוז הנתרן והאשלגן משני צדי קו הטפטוף בטיפול של תעלות הטוף לפי הסדר קולחים > שפירים בהתאמה למקור המים. לעומת זאת סדר ריכוזי המגנזיום והסידן הייתה הפוכה, שפירים > קולחים. מעניינת השפעת תעלת הטוף על ריכוזי הנתרן, סידן ומגנזיום שהיו גבוהים באופן ניכר במרחק 15 ס"מ מקו הטפטוף לכוון שורת העצים מאשר בממשק המשקי ואילו בשורת הטפטוף ההשפעה הפוכה אך קטנה בהרבה מאשר בשורת העצים, ואילו במרחק 15 ס"מ לכוון בין שורות העצים לא היה הבדל ניכר ומובהק בין טיפולים אלו. מקור המים השפיע על האשלגן בקרקע כצפוי לריכוז הגבוה יותר של אשלגן בקולחים, אך בשונה משאר המדדים ריכוז האשלגן היה גבוה יותר במרחק 15 ס"מ לכוון בין השורות ובנקודה זו לא היה הבדל בין הטיפולים.

ניתן להסיק שלמי המקור יש השפעה ניכרת ומובהקת על הרכב תמיסת הקרקע בסוף עונת ההשקיה בכל חתך הקרקע מ-0 עד 90 ס"מ שבו נמצא בית השורשים, בעיקר על המוליכות החשמלית, ריכוזי הכלוריד, הנתרן וה-SAR כאשר סדר הריכוזים הוא קולחים > מהולים > שפירים.

למצע הטוף השפעה ניכרת ומורכבת על הרכב תמיסת הקרקע ובעיקר על המוליכות החשמלית, ריכוזי הכלוריד, הנתרן וה-SAR, כאשר בשכבת הקרקע העליונה ובסמיכות לתעלת הטוף הערכים נמוכים מאשר בטיפול המשקי ואילו בעומק מתחת לבית השורשים 60-90 ס"מ ובמרחק מהתעלה הערכים גבוהים מאשר בטיפול המשקי.

הרטיבות במהלך כ-10 ימים בחודש יולי 2019 (עבור ממשק, שפירים, קולחים וטוף בהתאמה) מראה ממשק ההשקיה מובחן היטב. מעניין במיוחד הוא טיפול הטוף, בו הרטיבות עולה בעומק הקרקע בעוד שבפני הקרקע (לא מתחת לטפטפת) הרטיבות בעת השקיה כמעט ואינה עולה. בכל הטיפולים נראה שהרטיבות בעומק עולה בצורה משמעותית מאד לקראת סוף אירועי ההשקיה, לזמן מאד קצר. קשה מאד להסביר תופעה זו בהקשר פיזיקלי מתחום הרצף. להערכתנו מדובר בסידוק של הקרקע המאפיין כנראה את אזורי השוליים הבלתי רטובים בחודשי הקיץ (התופעה כמעט ואינה מתרחשת בחודשי החורף שאינם מוצגים).

פותח מודל שבוחן את תגובת הקרקע למשטר ההשקיה (איכות מים ותזמון) מבחינת פירוק חומר אורגני וחנקן. הנחת היסוד היא כי התגובה השלילית של המטע לקולחים נובעת מתהליכים של פירוק חומר אורגני (פחמן) וחנקן שאינם אידאליים. מליחות לעומת זאת כמעט ואינה מושפעת ממשטר ההשקיה והיא פונקציה בעיקר של איכות מי ההשקיה בהיבט הזה בלבד. המודל כולל ארבע שכבות: זרימת מים, הסעת מומסים ריאקטיבית, ריאקציה המבוטאת בעיקר לאוסף של ריאקציות מונו מרובות, וקליטת מים ע"י השורשים. התוצאות הראשוניות מראות ריכוזים של יסודות שונים בעומקים שונים עבור התרחישים השונים. אין מסקנות תפעוליות העולות במישרין ממדידות הרטיבות. לא ניתן להבחין אמפירית או סטטיסטית בהבדלים ברורים בין טיפול הקולחים וטיפול השפירים (או טיפולי הממשק והמהילה). תוצאות ראשוניות של המודל מראות שינוי בקצב צבירת (ופירוק) החומר האורגני בעיקר בתרחישים של שפירים (או תערובת) וממשק

השקיה, אך היות והמודל אינו מכויל מעבר לרמת התאמת הפרמטרים הכללית, הרי שמדובר בלא יותר מהתאמה לציפיות.

סיכום התוצאות של כל מדידות החמצן והרדוקס, מציגים טווח הנתונים, ערכי החציון ותחום הערכים של הרבעון (25% מהנתונים) שמעל החציון ושל הרבעון שמתחתיו. בולטת השונות הגבוהה, בעיקר בריכוזי החמצן. לגבי החמצן בולט גם טווח הערכים הרחב, המכסה את כל תחום הערכים האפשרי בסביבה. לעומת זאת תחום ערכי הרדוקס צר יחסית ואינו חורג כמעט מהתחום המוגדר כמחומצן. השונות הגבוהה בריכוזי החמצן נובעת בעיקר מהנתונים שנמדדו בחודשי החורף, אז מדידות רבות בכל הטיפולים הראו ריכוזי חמצן נמוכים מ-5%. בתקופת ההשקיה הפיזור היה בטווח צר יותר והערכים אחידים יותר. בתקופה זו ערכי החמצן נעו לרוב בין 13% ל 16% בכל טיפולי הקרקע. בטיפול הטוף ערכי החמצן בתקופת ההשקיה נעו לרוב בין 17% ל- 19% וזאת הודות לתכונות הטוף – המרקם הגס והנקבובים הגדולים.

כדי לבדוק את הקשר בין רמת החמצן לבין תנאי הרדוקס בטוף בהשוואה לקרקע, הודגרו דוגמאות טוף וקרקע במערכת מבוקרת בה נערכה הרטבה הדרגתית ממצב יבש למצב רטוב בעזרת בקבוק מאריוט, בצורה כזו שהחמצן יישמר ברמה דומה בשני המצעים. נמצא שירידת ריכוז החמצן השפיעה בצורה שונה על פוטנציאל הרדוקס בקרקע לעומת פוטנציאל הרדוקס בטוף. ההיפוך בין הקרקע והטוף, המתקבל בערך ב-350 mV (או $pH + pe = 13.4$, בהנחה ש- $pH=7.5$ בקירוב, כפי שעולה מהמדידות בשדה) – בטווח הפוטנציאל שבו מתרחש חיזור ניטראט לניטריט.

גם המדידות בשטח וגם המדידות בניסוי ההדגרה מצביעים על כך שבתחום הערכים המתקיים בחלקה, מדד ריכוז החמצן הוא הממד האינפורמטיבי יותר. במצבים חמורים יותר של חוסר אוורור, כגון אלו שהתקיימו בניסוי בחלקת הניסיונות בעכו, מדד הרדוקס עשוי להיות רגיש בתחומים בהם ריכוז החמצן איננו רגיש. מסיבה זו, וכן בגלל בעיות טכניות ותקציביות, הופסקו מדידות הרדוקס במהלך שנה זו.

התנודות הגבוהות בריכוזי החמצן, בהתאם למחזורי ההשקיה, אפיינו את כל טיפולי הקולחים והם כללו ירידות לזמן קצר לערכים של 7-8% בטיפול הקולחים (TWW) ולערכים מעט פחות נמוכים בטיפולים LFI ו-MIX. בטיפול השפירים הירידות היו מתונות יותר, ובטיפול הטוף כמעט לא נמדדו ערכים נמוכים מ-12%. ממוצעי הטיפול בתקופה המוצגת היו 12.1% בקולחים, 13.3% בשפירים, 13.1% ב-LFI, 14.9% בטיפול ה-MIX ו-16.6% בטיפול הטוף.

הסיבה למצב האוורור והרדוקס שירדו באופן עקבי לערכים פחות נמוכים מאלו שנמדדו בחלקת הניסיונות בעכו, היתה התכולה הגבוהה של האבנים בקרקע בחלקה ביסעור שהינה בין 10% לבין 38% (משקלי), בהשוואה לרמת אבניות של שברי אחוז שנמצאה בחלקת הניסוי בעכו.

בוצעו סימולציות תלת-ממדיות של זרימת מים ומומסים וקליטת המים לתקופה של ארבע שנים שכוללת עונות השקיה בקיץ ועונות גשם בחורף. הטיפולים שעבורם בוצעו הסימולציות הם: 1. ביקורת REF (השקיה בקולחים TWW), 2. FW (השקיה במים שפירים) 3. TUF (השקיה בקולחים TWW בתעלות שמולאו בטוף) ו-4. TUFp (כמו 3 אבל השקיה בפולסים, ארבע פעמים ביום). הטיפול הרביעי לא בוצע בפועל בחלקת הניסוי והסימולציה נועדה לבחון כיצד הגדלת תדירות ההשקיה הייתה תורמת לטיפול הזה.

תוצאות הסימולציה הן עבור תקופה של 120 ימים בעונת ההשקיה השנייה והרביעית. יש לציין שבטיפול הקולחים REF, הטרנספירציה האקטואלית המצטברת, לא עלתה מעל 52% מהטרנספירציה הפוטנציאלית המצטברת באותה תקופה, כאשר בשנה הרביעית הייתה ירידה קלה לעומת השנה השנייה. בנוסף, יחסית לטיפול הביקורת (REF), להשקיה במים שפירים (FW) הייתה השפעה דומה על קצב הטרנספירציה בשנה

הרביעית כמו בשנה השנייה, שיפור של 12.6% בקליטת המים בעונת ההשקיה. לעומת זאת לטיפול תעלות האוורור (TUF) הייתה השפעה חיובית גדולה יותר בשנה הרביעית מאשר בשנייה, שיפור של 24% לעומת 9.5% יחסית לטיפול הביקורת (REF). בדומה לכך הטיפול בתעלות אוורור בתדירות השקיה גבוהה TUFp שיפר בשנה הרביעית את קליטת המים יחסית לביקורת ב-35% לעומת 28.4% בשנה השנייה.

במדידות זרימה בגזע בפועל במאי ויוני הצריכה הכי גבוהה נמדדה בטיפול השפירים (FW) ולאחר מכן בטיפול הטוף (TUF) אך הבדלים אלה אינם מובהקים. התוצאה עבור טיפול TUF מצטרפת למגמת העלייה שנצפתה בצריכת מים של טיפול זה. הצריכה בטיפול טוף התחילה כהכי נמוכה ב-2017, התגברה עם הזמן עד שבסוף עונת 2018 הייתה דומה לזאת של שפירים, ועד אמצע קיץ 2019 עלתה על זה של טיפול השפירים בחודשים יולי, אוגוסט וספטמבר. הטיפולים של קולחים, מיהול וקולחים בתדירות נמוכה (MIX, TWW & LFI) צרכו פחות מים משפירים בתחילת העונה עד יולי. בחודשים יולי ואוגוסט לא היו הבדלים מובהקים בין הטיפולים חוץ מאשר טוף TUF שבו הצריכה הייתה גבוהה מאשר בטיפולים האחרים. בספטמבר הייתה ירידה יחסית בטוף TUF, כך שהטיפול הזה לא היה שונה מהאחרים. צריכת מים, כפי שמתקבלת ממדידות זרימה בגזע, הייתה קרובה למנת ההשקיה במאי בטיפולים קולחים, מיהול ו-LFI, ויותר גבוהה מההשקיה בשפירים וטוף. לאחר מכן ההשקיה הייתה יותר גבוהה מהצריכה ב-10 עד 40% בכל הטיפולים חוץ מאשר ב-TUF, שצרך יותר מים מההשקיה ורק באוגוסט וספטמבר ההשקיה ב-TUF עלתה על הצריכה.

היחס בין מנת ההשקיה להתאדות ייחוס מהווה את המקדם גידול המשתנה, כולל מקדם שטיפה, לאורך העונה, לפי המלצות ומימוש בשטח. בטיפול טוף המקדם עלה ממאי עד יוני ויולי והגיע לסביבות 0.7 כאשר בטיפולים האחרים המקדם עלה לסביבות 0.55 עד 0.6 ובטיפול LFI חלה עליה נוספת בספטמבר. ערכים נמוכים אלה מצטרפים לערכים הנמוכים שדיווחנו בשנים קודמות וכפי שצינו שם, ייתכן שיש מקום לבחון בניסוי אחר מנות השקיה של אבוקדו. התבוננות באופי המהלך היומי יכולה גם להעיד על הבדלים מצב המים של העץ. במיוחד ירידה מוקדמת בצריכת מים אחה"צ יכולה להעיד על עקת מים מסוימת. בתוצאות עבוד שנת 2019 ניתן להבחין בהתנהגות כזאת בטיפול LFI במאי, המעיד אולי על עקת מים בטיפול זה. ביתר הטיפולים ובמשך שאר העונה אין עדויות להבדלים מיוחדים באופי המהלך היומי.

פוטנציאל מים שלילי בגזע בצהרי היום, שנחשב מדד אמין של מצב המים בצמח. ערכי מדד זה דומים למה שהתקבל ב-2018, כאשר הערכים הכי נמוכים הם עבור שפירים, ואלה לא שונים באופן מובהק מאלה של הטיפולים האחרים חוץ מאשר טיפול TUF שהשנה פוטנציאל המים בו היה יותר גבוהה מהאחרים באופן עקבי. אם הצריכה המוגברת של טיפול TUF נגרמה מצמיחה מוגברת ובאמת קרובה למנת ההשקיה, אכן מנת ההשקיה קצת נמוכה ותדירות נמוכה של השקיה עבור טיפול זה גרמו לעקה מתונה.

יבולי האטינגר בעונת 2019-2020 היו נמוכים למדי, תופעה שאנו רואים בכל הארץ ונראה שהיא נובעת מאירוע חום קיצוני בחצי השני של חודש מאי, כאשר הפרחים חנטו ורבים מהם לא שרדו בגל החום. גודל הפרי גדול יחסית, כנראה בגלל הקיץ הנוח שלא היה מאד חם ונשמרה בו לחות גבוהה יחסית, ואפשרה לפרי לגדול ללא עקת חום באופן יחסי לקיצים חמים. מנתוני יבול מצטברים של 3 עונות (בשנה ראשונה של הניסוי, לא נאספו יבולי האטינגר לפי הטיפולים), נראה יתרון מסוים לטיפול הקולחים ממשק של 210-280 ק"ג/ד' וזאת על אף יבול נמוך יחסית בעונה האחרונה. טיפול השפירים איננו מתבלט ביבול, אם כי נראה שהוא משפיע על גודל פרי. ניתן לראות זאת בהשוואה לנתוני יבול של טיפול הקולחים העונה שבו היבול דומה וגם בנתוני יבול עונה קודמת שבו גודל הפרי בטיפול השפירים היה גדול באופן מובהק מבשאר הטיפולים. אין הבדל סטטיסטי בנתוני היבול, אך יש הבדל מובהק בגודל הפרי בין טיפול השפירים לטיפול הקולחים. אין הבדלים מובהקים בין הטיפולים, לא ביבול ולא באחוז הסירוגיות בהאס. מנתוני היבול

המצטברים ל- 4 עונות נראה יתרון מסוים ביבול לטיפול הקולחים ממשק, המיהול ותעלות הטוף, אם כי אין שום הבדל מובהק. טיפול תעלות הטוף היה נחות עד עונה זו, אולי בגלל ממשק לא מתאים שבו השקנו במספר פעימות ליום לעומת עונה אחרונה שבה היה הממשק השקיה אחת בכל יום למעט יום שבת שבו לא היתה השקיה כלל וביום שישי ניתנה מנת מים כפולה. כמו כן ניתנה בטיפול הטוף מנה גדולה של כ- 5% במים בגלל חשש שאין מספיק הדחת מלחים במנה יומית. טיפול המושקה במים שפירים הפרי היה גדול יותר באופן מובהק מבשאר הטיפולים, וכן מסתמנת סירוגיות נמוכה יותר מבשאר הטיפולים, אולם ההבדל איננו מובהק. עד עונה זו הסתמן טיפול הקולחים ממשק (LFI) כטוב יותר בתנאי הגידול הקיימים. בעונה אחרונה טיפול זה היה בתוצאה בינונית. יכול להיות שעקב מרווח האינטרוולים הגדול יותר, נוצרה עקה באירוע החום הגדול שהיה במאי 2019 שזהו כידוע מועד קריטי והוא מועד קובע יבול לעונה. בטבלה 5 מוצגים הממצאים העיקרים של הטיפולים ביחס לפרמטרים שנמדדו.

טבלה 5: השוואה בין הטיפולים על פי הפרמטרים שנמדדו בניסוי

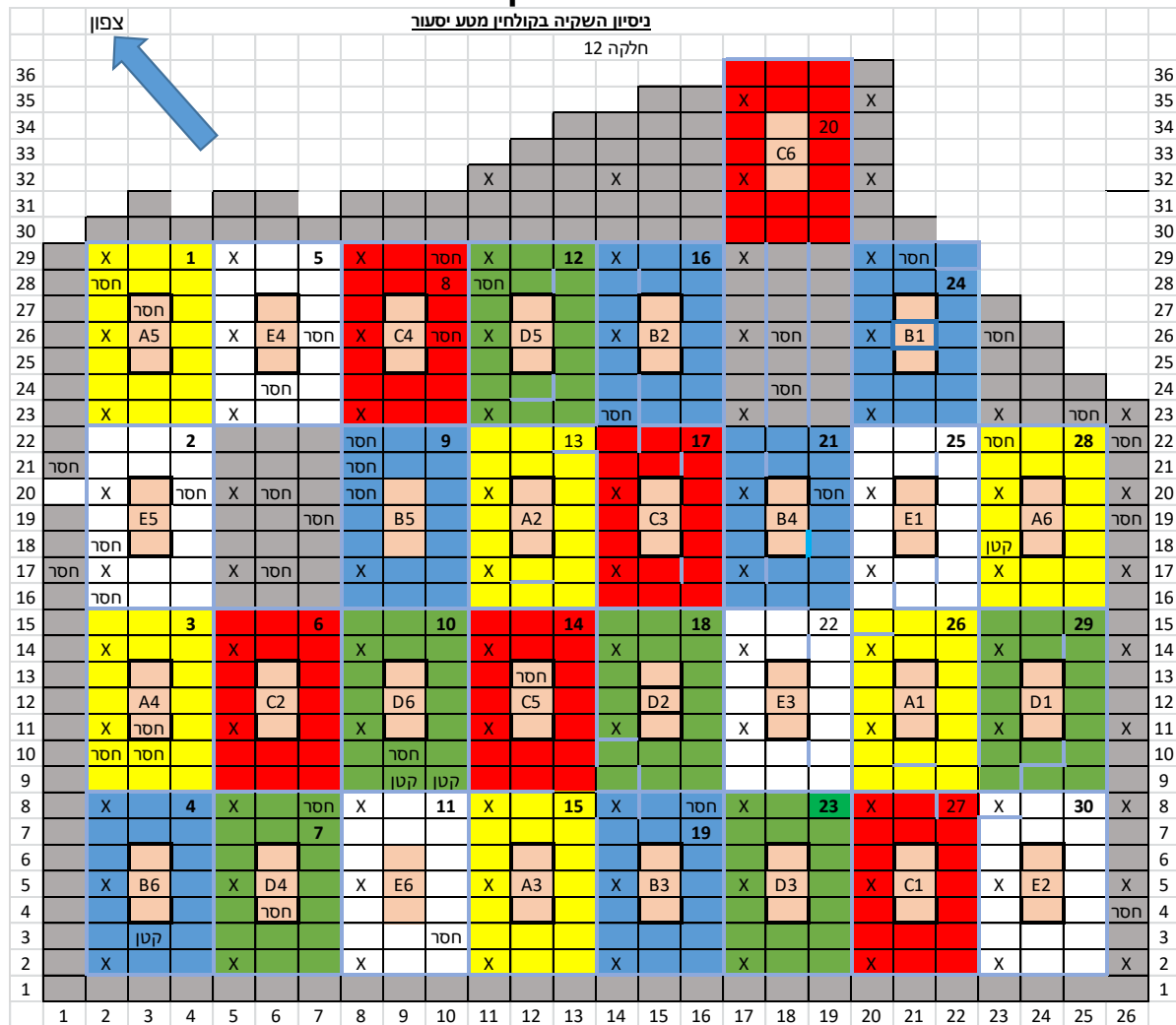
TUF	MIX	LFI	TWW	FW	טיפול / פרמטר
שטיפת מלחים עד עומק 90 ס"מ יעילה יותר. התפלגות שונה במרחב שמחייבת המשך מעקב.	התנהגות שונה משאר הטיפולים.	מצב ביניים בין שפירים וקולחים.	כמו בקולחים משקי	ריכוז גורמי מליחות נמוך בהשוואה לקולחים בעקבות הריכוז הנמוך יותר במי ההשקיה. ריכוז גורמי מליחות גבוה יותר בעקבות הריכוז הגבוה יותר במים.	הרכב תמיסת הקרקע עפ"י מיצוי הקרקע בשכבה 0-30 ס"מ
אין הבדל בין הטיפולים בריכוז ה- DOC					
	ריכוז ה- TDN קולחים = ממשק < מיהול < שפירים התנהגות האשלגן דומה לזו של הנתרן				
	עליה של מרכיבי המליחות עם העומק בהתאם להבדלים בשכבה העליונה				הרכב תמיסת הקרקע עפ"י מיצוי הקרקע בשכבה 60-90 ס"מ
בחורף שונות גבוהה עם ריכוזי חמצן נמוכים מ- 5%					ריכוז חמצן בקרקע
בקיץ ללא הבדלים מובהקים של הממוצע של הטיפולים עם ריכוזי חמצן בין 13% ל- 16%					
ריכוזי החמצן הגבוהים ביותר לאורך כל הזמן.	מצב ביניים בין קולחים ושפירים, כמצופה משיפור איכות המים כתוצאה מהמיהול.	רמת ביניים בין קולחים ושפירים.	ירידות חדות יותר של ריכוז החמצן לאחר ההשקיה (7-8%) והתאוששות איטית יותר.	ירידות מתונות של ריכוז החמצן לאחר ההשקיה והתאוששות מהירה יותר.	
עבור כל הטיפולים אינו חורג מהתחום הממוצן					תנאי redox מודל
יחס גבוה יותר מיתר הטיפולים, במיוחד בטיפול עם ההשקיה בפולסים, שנבדק במודל אבל לא קיים בפועל בניסוי.			הטרנספירציה האקטואלית המצטברת, לא עלתה מעל 52% מהטרנספירציה הפוטנציאלית המצטברת באותה תקופה היתה גבוה יותר מאשר בקולחים.	היחס בין הטרנספירציה האקטואלית המצטברת והטרנספירציה הפוטנציאלית המצטברת באותה תקופה היתה גבוה יותר מאשר בקולחים.	

טבלה 5 (המשך): השוואה בין הטיפולים על פי הפרמטרים שנמדדו בניסוי

TUF	MIX	LFI	TWW	FW	טיפול פרמטר
$TWW < LFI < MIX < TUF = FW$					צריכת מים (לפי זרימת המים בגזע)
מנתוני היבול המצטברים ל- 4 עונות נראה יתרון מסוים ביבול לטיפולי הקולחים ממשק, המיהול ותעלות הטוף. בטיפול המושקה במים שפירים הפרי היה גדול יותר באופן מובהק מבשאר הטיפולים, וכן מסתמנת סירוגיות נמוכה יותר מבשאר הטיפולים, אולם ההבדל איננו מובהק.					יבול

- Bardhan, G., D. Russo, D. Goldstein and G.J. Levy, 2015. Changes in the hydraulic properties of a clay soil under long-term irrigation with treated wastewater, *Geoderma*, 264, 1-9.
- Cantuarias, T. (1995). Transpiration rate and water status of a mature avocado orchard as related to wetted soil volume. MSc. Thesis. Hebrew Univ. of Jerusalem.
- Cohen, Y., Cohen, S., Cantuarias Aviles, T. and G. Schiller. (2008). Variations in the radial gradient of sap velocity in trunks of forest and fruit trees. *Plant and Soil* 305:49-59.
- Eshel, G., G.J. Levy, U. Mingelgrin, and M.J. Singer. 2004. Critical evaluation of the use of laser light scattering for particle size distribution analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68, 736-743.
- Lahav, E. and A. Kadman. 1980. Avocado Fertilization. International Potash Institute. Worblaufen-Bern, Switzerland.
- 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.* 29: 176-187
- 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.* 204:126-137
- Reuter, D.J. and J.B. Robinson (eds.). 1997. *Plant Analysis: an interpretation manual*. 2nd ed. CSIRO Publishing, Collingwood, Australia.
- Russo, D. 2013. Consequences of salinity-induced-time-dependent soil hydraulic properties on flow and transport in salt-affected soils. *Proc. Environ. Sci.* 19, 623-632.
- Russo, D. and E. Bresler. 1977. Analysis of the saturated-unsaturated hydraulic conductivity in a mixed Na/Ca soil system. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41, 706-710.
- Russo, D., J. Zaidel, and A. Laufer. 2001. Numerical analysis of flow and transport in a combined heterogeneous vadose zone-groundwater system. *Adv. Water Resour.* 24, 49-62.
- Russo, D., J. Zaidel, and A. Laufer. 2004. Numerical analysis of transport of interacting solutes in a three-dimensional unsaturated heterogeneous soil. *Vadose Zone J.* 3, 1286-1299.
- Russo, D., J. Zaidel and A. Laufer. 2008. Numerical analysis of solute transport from trickle sources in a combined desert soil-imported soil flow system. *Vadose Zone J.* 7, 53-66.
- Russo, D., A. Laufer, G. Bardhan, and G. J. Levy. 2015. Salinity control in a clay soil beneath an orchard irrigated with treated waste water in the presence of a high water table: a numerical study. *J. Hydrol.* 512, 605-618.
- Salagado, E., and R. Cautin. 2008. Avocado root distribution in fine and coarse-textured soils under drip and micro-sprinkler irrigation, *Agric. Water Manag.* 95, 817-824.
- Yalin, D., A. Schwartz, S. Assouline, K. Narkis, A. Eshel, A.G. Levin, A. Lowengart-Aycicegi, J. Tarchitzky, and M. Shenker. 2017. Insights from "The Hidden Half": The impact of root-zone oxygen and redox dynamics, on the response of avocado to long-term irrigation with treated wastewater in clayey soil. *Isr. J. Plant Sci.* 64, 92-109.

נספח 1: תוכנית חלקת הניסוי



מקרא

- קולחים, ביקורת (TWW)
- שפירים (FW)
- קולחים, ממשק השקיה (LFI)
- ערבוב קולחים-שפירים (MIX)
- קולחים, תעלות אוורור (TUF)
- שלושה עצי מדידה במרכז כל חלקה