תוכן עניינים

1. כותרת ושמות השותפים במחקר	2
2. תקציר	3
3. מבוא ותיאור הבעיה	4
מטרות המחקר	4
4. חומרים ושיטות	5
5. תוצאות	10
מדדי קרקע כימיים ופיזיקליים בפרדס מזרע	10
מדדי השקיה, ניקוז ומדדים כימיים בקרקע במים ובנקז בניסוי הליזימטרים בטכניון	20
מדדים פיזיולוגים בעצים	33
ניתוח של זרימת מים והסעת מומסים בקרקע חרסיתית המושקית בקולחים	40
6. דיון ומסקנות	48
7. סיכום עם שאלות מנחות	50
רשימת ספרות	53
נספחים	58
נספח 1. נתונים ותוצאות קרקע מפרדס מזרע	58
נספח 2. נתוני ותוצאות מים וקרקע מניסוי ליזימטרים בטכניון	70
נספח 3 : תוצאות סימולציה בפרדס מזרע	77

דו"ח סופי לתכנית מחקר מספר 301-0746-11

1. ברור נזקי הקרקע כתוצאה מהשקיה ארוכת טווח בקולחים והשפעתם על גדולי מטע

Investigating soil degradation due to long term irrigation with effluents and their effects on orchards

מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות

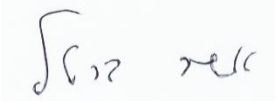
ע"י

אשר בר-טל המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מרכז וולקני, מינהל המחקר החקלאי.
פנחס פיין המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מרכז וולקני, מינהל המחקר החקלאי.
גיא לוי המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מרכז וולקני, מינהל המחקר החקלאי.
מנחם בן חור המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מרכז וולקני, מינהל המחקר החקלאי.
ברוריה הויאר המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מרכז וולקני, מינהל המחקר החקלאי.
מיכאל בוריסובר המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מרכז וולקני, מינהל המחקר החקלאי.
שבתאי כהן המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מרכז וולקני, מינהל המחקר החקלאי.
דוד רוסו המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מרכז וולקני, מינהל המחקר החקלאי.
נירית ברנשטיין המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מרכז וולקני, מינהל המחקר החקלאי.
יהונתן אפרת מכון יעקוב בלאושטיין לחקר המדבר, שדה בוקר, אוניברסיטת בן-גוריון.
אברהם שביב הפקולטה להנדסה אזרחית וסביבתית, טכניון.
אשר איזנקוט שרות שדה, שה"מ, משרד החקלאות והכפר.
אברהם זילברמן שרות שדה, שה"מ, משרד החקלאות והכפר.
יורם אייזנשטדט שה"מ, משרד החקלאות והכפר.

Asher Bar-Tal Institute of Soil, Water and Environmental Sciences, The Volcani Center, ARO, P.O.B. 6, Bet-Dagan 50250. E-mail: abartal@agri.gov.il
Pinchas Fine Institute of Soil, Water and Environmental Sciences, The Volcani Center, ARO, P.O.B. 6, Bet-Dagan 50250. E-mail: Finep@agri.gov.il
Guy J. Levy Institute of Soil, Water and Environmental Sciences, The Volcani Center, ARO, P.O.B. 6, Bet-Dagan 50250. E-mail: vwguy@agri.gov.il
Menachem Ben-Hur Institute of Soil, Water and Environmental Sciences, The Volcani Center, ARO, P.O.B. 6, Bet-Dagan 50250. E-mail: Meni@agri.gov.il
Bruria Heuer Institute of Soil, Water and Environmental Sciences, The Volcani Center, ARO, P.O.B. 6, Bet-Dagan 50250. E-mail: Bruriah@agri.gov.il
Michael Borisover Institute of Soil, Water and Environmental Sciences, The Volcani Center, ARO, P.O.B. 6, Bet-Dagan 50250. E-mail: vwmichel@agri.gov.il
Shabtai Cohen Institute of Soil, Water and Environmental Sciences, The Volcani Center, ARO, P.O.B. 6, Bet-Dagan 50250. E-mail: vwshep@agri.gov.il
David Russo Institute of Soil, Water and Environmental Sciences, The Volcani Center, ARO, P.O.B. 6, Bet-Dagan 50250. E-mail: vwrosd@agri.gov.il
Nirit Bernstein Institute of Soil, Water and Environmental Sciences, The Volcani Center, ARO, P.O.B. 6, Bet-Dagan 50250. E-mail: nirit@agri.gov.il
Jhonathan Efrat Jacob Blaustein Institute of Desert Research, Sdeh Boker, Ben Gurion University E-mail: yoni@bgu.ac.il
Avraham Shaviv Faculty of Civil and Environmental Engineering Technion, Haifa. E-mail: agshaviv@tx.technion.ac.il
Asher Azenkot Shaham, Ministry of Agriculture, P.O.B. 6, Bet-Dagan 50250.
E-mail: azasher@gmail.com
Avraham Silberman Shaham, Ministry of Agriculture (Retired), P.O.B. 6, Bet-Dagan 50250.
Yoram Izenshtadt Shaham, Ministry of Agriculture, P.O.B. 6, Bet-Dagan 50250.
E-mail: yorize@shaham.moag.gov.il

<u>הצהרת החוקר הראשי</u>

הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים.
הניסויים מהווים המלצות לחקלאים: לא



חתימת החוקר

2. תקציר

תאור הבעיה: בשנים האחרונות ישנם דיווחים רבים על פגיעה במטעים הנטועים בקרקעות כבדות ומושקים בקולחים בהשוואה להשקיה במים שפירים.
מטרת המחקר הנה זיהוי ואפיון השינויים שחלים בקרקע כבדה בעקבות השקיה ממושכת בקולחים ולקשור בינם לבין תגובת הצמח.
<u>חומרים ושיטות</u> - בפרדס אשכולית בקרקע חרסיתית במזרע היו בעונת ההשקיה הראשונה (מאי - נובמבר 2013) שני טיפולים: קולחים שניוניים ומים שפירים ובעונת ההשקיה השנייה (מאי - נובמבר 2014) נוסף עוד טיפול: קולחים שלישוניים (סינון בחול). סימולציה של תנועת מים ומלחים בקרקע נעשתה ע״י מודל מרחבי תלת-מימדי לחיזוי השפעת המליחות וערך ה- ESP של הקרקע על תנועת המים והמלחים בקרקע של מטע בסקלת השדה. הועמד ניסוי ליזימטרים שבו שלושה סוגי מים: שפירים, קולחים שלישוניים וקולחים שלישוניים מוגברי SAR, שנבחנו בשני סוגי קרקע: חמרה וגרומוסול ממזרע. הבדיקות הצמחיות שנעשו בפרדס נעשו גם בעצים בליזימטרים. גם בדיקות הקרקע היו דומות ובנוסף נעשה מעקב רציף של נפח הנקז ובוצעו אנליזות כימיות של הנקז מספר פעמים בכול שנה.
<u>תוצאות עיקריות</u> - 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 הפוטוסינתיזה והטרנספירציה ליחידת שטח עלה, ירידה בהתנגדות למעבר מים בעלה, עליה בפוטנציאל המים בעלים חשופים ובגזע (סימן לירידה בעקת המים), ירידה בריכוז פרולין בשורשים, ירידה בדליפת מומסים מהממברנות, וירידה בריכוזי הכלוריד והנתרן בעלים ובשורשים. מדדים אלה הצביעו על שיפור במצב הפיזיולוגי של העצים עם המעבר מהשקיה בקולחים להשקיה במים משפירים. יבול הפרי בשלוש שנות המחקר לא היה שונה במובהק בין שני הטיפולים, אולם בכל שנה היבול בשפירים היה גבוה מאשר בקולחים ובשנה האחרונה גודל הפרי בהשקיה בשפירים היה גבוה מאשר בקולחים. במדידות הקרקע בפרדס מצאנו שבתום שנתיים של טיפול יציבות התלכידים בהשקיה בשפירים הייתה גבוהה מאשר בקולחים בהתאמה עם ערכי SAR ו- ESP נמוכים יותר בהשקיה בשפירים. ההשקיה בשפירים הפחיתה את המליחות בקרקע (מוליכות חשמלית וריכוזי כלור, נתרן וסידן בקרקע), את ה- pH וריכוזי הביקרבונט, פחמן וחנקן אורגנים מסיסים. גם ריכוזי האשלגן בתמיסת הקרקע והזרחן במיצוי אולסן היו נמוכים יותר בהשקיה בשפירים מאשר בקולחים.
בליזימטרים נעשתה גם השוואה בין קרקע קלה (חמרה) לקרקע כבדה (גרומוסול ממזרע) ונמצא שההשפעה השלילית של השקיה בקולחים שלישוניים על מדדי הקרקע והצמח היו ניכרים יותר בקרקע הכבדה. בקרקע הקלה השקיה בקולחים בעלי SAR גבוה גרמה להשפעה שלילית על המדדים הפיזיולגיים. צריכת המים הכוללת בצמחי האשכולית בגרומוסול הייתה משמעותית נמוכה מזו שעל קרקע החמרה. טיפולי הקולחים בחמרה צרכו כשליש מים פחות מטיפול השפירים. מאזני חנקן נכנס למערכת ויוצא בנקז מלמדים על קליטת חנקן גבוה יותר ע״י העצים בחמרה מאשר בגרומוסול, וגם על יעילות קליטת חנקן גבוה יותר בטיפול השפירים מול הקולחים. מאזני החנקן מצביעים על תהליכי אובדן חנקן גבוהים מאד בדה-ניטריפיקציה בקרקע הגרומוסול. מאזני זרחן שנבדקו מעידים על ניידות גבוה מאד של הזרחן בקרקע החמרה עם אחוז שטיפה גבוה בנקז הליזימטרים ואילו בגרומוסול היתה שטיפה אפסית של הזרחן בנקז וניידות מאד מוגבלת בכל טיפולי ההשקייה של הזרחן כלפי מטה.
תוצאות סימולציה - עיקר הירידה במוליכות ההידרולית של הקרקע עקב האינטראקציה בין הזורם לקרקע מתרחשת בתקופת הגשמים המלווה במיהול תמיסת הקרקע בשכבת הקרקע העליונה. בתנאים של פרדס מזרע, הירידה במוליכות ההידרולית היא הפיכה, ולכן היא משתקמת במהלך תקופת ההשקיה בשני סוגי המים, המלווה בהתרכזות תמיסת הקרקע באזור בית השורשים, שמצידה, מהווה פיצוי להשפעה השלילית של הגדלת מנת ספיחת הנתרן בקרקע על המוליכות ההידרולית. תוצאות ההדמיה מראות שבתנאים של פרדס מזרע, הנטוע על קרקע חרסיתית בנוכחות מי תהום גבוהים, ההשקיה במים שפירים, אך בעיקר במים מושבים, עשויה לגרום להמלחה ולבעיות אוורור בבית השורשים, שעשויים לגרום להקטנת קליטת המים ע״י שורשי העצים ולפחיתה של היבול. עיקר הירידה בקליטת המים ע״י שורשי העצים מתרחשת בפרק זמן של פחות משנתיים, אך התהליך עשוי להמשך לאורך תקופה ארוכה יחסית, בקצב היורד עם הזמן. ההשקיה במים מושבים, מגדילה את שטפי המסה של המומסים מתחת לאזור בית השורשים ואת סכנת ההמלחה והזיהום של מי התהום. סימולציה שבחנה אפשרות של קביעת ריכוז מטרה של מלחים בבית השורשים הראתה שניתן לעשות זאת על ידי החלפת הקולחים במים שפירים בכול פעם שריכוז המלחים במרכז בית השורשים עולה על ערך הסף או על ידי השקיה בקולחים מהולים למליחות מתאימה המחושבת על ידי המודל.

3 מבוא ותיאור הבעיה

קולחים הפכו ב- 10-15 השנים האחרונות למקור מים חשוב להשקיית מטעים בישראל. היקף שטחי פרדסי ההדרים המושקים בקולחים (לא כולל מי השפד״ן) הוא כ- 60,000 דונם (השטח הכללי הוא 190,000 דונם).

לאחרונה ישנם דיווחים רבים על פגיעה במטעים המתבטאת בירידה הדרגתית ביבול עד מקרים קיצוניים שבהם הייתה פגיעה ב-75% מהיבול בהשוואה להשקיה במים שפירים. במספר מקרים קיצוניים חלה התמוטטות של עצים כפי שדווח בפרדס אשכוליות במזרע, במטע אגסים בראש פינה, במטעי אבוקדו בצפון מערב הגליל, במטעי שקדים בשפלת יהודה והנגב הצפוני, במטע אפרסק בביצרון, בכרמי גפן באזור לכיש ובמטעי שקדים ומשמש בבקעת ערד.

הסיבה(ות) לפגיעה בעצי מטע כתוצאה מהשקיה בקולחים אינן ברורות, אך רוב הדיווחים התקבלו ממטעים הגדלים בקרקעות בעלות מרקם כבד עד בינוני, כאשר במטעים הגדלים בקרקע עם מרקם קל (פרדס ברמת הכובש ומטע אבוקדו במעפיל) והושקו בקולחים מעל 7 שנים, לא נצפו נזקים בעצים ופחיתה ביבול. חשוב לציין שרוב המטעים הללו הושקו בקולחים שניוניים או ברמת טיפול נמוכה יותר. קרקעות כבדות או בינוניות מאופיינות בהתפלגות גודל נקבובים דקה יחסית, הנוטות לתפוח באופן משמעותי עם הרטבתן, ולכן, קרקעות אלה הן בעלות תאחיזת מים גבוהה, כושר הולכת מים נמוך וניקוז לקוי. במצב טבעי, או בהשקיות עם מרווחי השקיה גדולים, התייבשות הקרקע יוצרת סדקים המגדילים את כושר ההולכה למים ואת ניקוז הקרקע. בגידולי שדה, עיבוד הקרקע לפני הזריעה מגדיל את הנקבוביות הגסה בשכבת הקרקע העליונה המגדילה את המוליכות ההידראולית של הקרקע. לעומת זאת במטעים, שמושקים באופן תכוף (פעמיים או יותר בשבוע), לא ניתן לעבד את שכבת הקרקע העליונה והתייבשות הקרקע בין ההשקיות היא מוגבלת. לכן מטעים הגדלים בקרקעות כבדות ובינוניות רגישים במיוחד לפגיעה הנובעת מהרס מבנה הקרקע.

מטרת המחקר הראשית הנה לזהות ולאפיין את השינויים (עיתיים ורצופים) שחלים בקרקע כבדה בעקבות השקיה ממושכת בקולחים ולקשור בינם לבין תגובת הצמח (החל מרמת הצמח השלם ועד לרמה של תהליכים פיזיולוגים) להשקיה במים אלו. מטרות המחקר הייחודיות הן:

1. לזהות ולאפיין את השינויים (עיתיים ורצופים) בתמיסת הקרקע ובתכונות הקרקע (בעיקר בקרקעה כבדה) בעקבות השקיה ממושכת בקולחים בהשוואה למים שפירים.
2. לבחון תגובה של עץ הדר (מרמה של תהליכים פיזיולוגים ועד רמת הצמח השלם) בתנאים שיאופיינו בעקבות השקיה במי קולחים (בהשוואה למים שפירים).
3. לבנות מודל תלת-מימדי של פירוס תכונות הקרקע הרלבנטיות לזרימה והסעה בהתבסס על מדידות של תכונות אלה ותוך שימוש בכלים גיאו-סטטיסטיים כדי: א. לנתח זרימת מים והסעת מומסים בחתך הקרקע בפרדס המושקה במים מושבים באמצעות מודל פיסיקלי 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 במים מושבים על תכונות הקרקע, על הולכת מים ומומסים ועל קליטת מים ע"י השורשים; ו-ג. לבחון ולהדגים גישה מוכוונת-נתונים לבקרת המליחות בקרקע תוך שמירה על רמה רצויה של היבול ושל איכות מי התהום.

השערת המחקר היא שהנזק לקרקע מהשקיה בקולחים קשור לפגיעת המליחות או ניתרון במרקם הקרקע ולכן הנזק למטעים מושקים בקולחים נצפה רק (או בעיקר) בקרקעות כבדות.

4 חומרים ושיטות

כדי לענות על מטרות המחקר הקמנו מערך מחקר משולב שכולל את אמצעי המחקר הבאים:

א. ניסוי הפרדס במזרע

הניסוי הוקם בפרדס אשכולית רד רובי על כנת וולקה-מאריאנה הנטוע בקרקע חרסיתית בקבוץ מזרע בחלקה שהושקתה עד תחילת המיזם בקולחים. מבנה הניסוי הוא של בלוקים באקראי. מספר החלקות לפי 4 טיפולים X 6 בלוקים = 24 חלקות. בכל חלקה שלוש שורות של ששה עצים. המדידות נערכות בארבעת העצים המרכזיים בשורה האמצעית, באופן שקיימים שוליים למניעת הפרעות קצה. בכל חלקה 18 עצים, ובסך הכל בניסוי 18 X 24 = 432 עצים. השטח הכללי לפי 40 עצים לדונם הוא כ- 11 דונם. העצים מושקים ע"י מערכת טפטוף, שתי שלוחות לכל שורת עצים. החל ב- 1.5.2013 מושקה הפרדס בשני סוגי מים, שפירים וקולחים שניוניים. בעונת ההשקיה השניה הוספנו טיפול שלישי, קולחים משודרגים על ידי סינון בחול (החל ב- 25.3.2014) כסימולציה לקולחים ברמה שלישונית. ערכים מייצגים של השפירים והקולחים מוצגים בטבלה 1.

טבלה 1. המדדים העיקריים של איכות מי ההשקיה, שפירים וקולחים, אפריל 2013 – דצמבר 2014, פרדס מזרע.

			קולחים	
משתנה	יחידות	שפירים	שניוניים	שלישוניים
pH		7.62	7.80	7.62
מוליכות חשמלית	דצ"ס\מ'	1.04	1.93	1.93
כלוריד	מ"ג\ל'	223	374	367
נתרן		122	259	259
סידן		60	78	78
מגנזיום		24	40	40
SAR	(ממול\ל')^{½}	3.4	5.9	5.9
חנקן-אמוניאקלי	מ"ג\ל'	0.8	39.7	45.7
חנקן-חנקתי		1.6	2.6	1.9
זרחן		0.2	9.5	8.7
אשלגן		7.9	38.8	38.3
בורון		0.095	0.067	0.045
TOC		0.4	9.9	9.1
IC		34.2	56.9	46.5
חנקן אורגני			9.0	12.3
BOD		-----	19.0	15.2
COD		-----	96.3	88.9
TSS		-----	46.1	40.8

ב. ניסוי הליזימטרים בטכניון

מערכת הניסוי הוקמה השנה והושלמה בדצמבר 2012. המערכת כוללת שלושה סוגי מים: שפירים, קולחים שלישוניים וקולחים שלישוניים מוגברי SAR, והטיפולים נבחנים בשני סוגי קרקע: חמרה וקרקע כבדה ממזרע (שהובאה מקרבת הפרדס) (טבלה 2). בכל ליזימטר ניטע שתיל אשכולית בן שנה וחצי. חשוב לציין שבקרקע הגרומוסול הפסקנו את טיפול הוספת הנתרן, וחלק מהזלימזטרים הוצאו ממהניסוי בגלל האטמותם! בפועל טיפולים 2 (קולחים שלישוני עם תוספת נתרן וקולחים שלישוני רגיל אוחדו (ראו הערה בטבלה 2)). יודגש כאן שהקולחים השלישוניים הם קולחי מתקן ה- MBR באיכות טיפול גבוהה שמתבטאת

במדדים הבאים: ריכוז TSS נמוך מאד (NTU<1); DOC=8.4±1.7; BOD=2.5±0.35; COD=44±0.6 ו- pH=6.9±0.52.

טבלה 2: תאור הטיפולים השונים שניתנו לקרקעות החמרה (SL) והגרומסול (GR)[#] בניסוי הליזימטרים.

טיפול מספר	טיפול השקיה קודם (בגרומוסול מעל 20 שנה, בחמרה כ7 שנים)	טיפול השקיה נוכחי	מס' חזרות
1	ק. שניוני	שפירים - FW	4
2	ק. שניוני	ק. שלישוני RWW+Na	4
3	ק. שניוני	ק. שלישוני - RWW	4
4	ק. שניוני	*ללא צמח* . ק. שלישוני RWWC	2
5.	ק. שניוני	*ללא צמח* _שפירים FWC	2

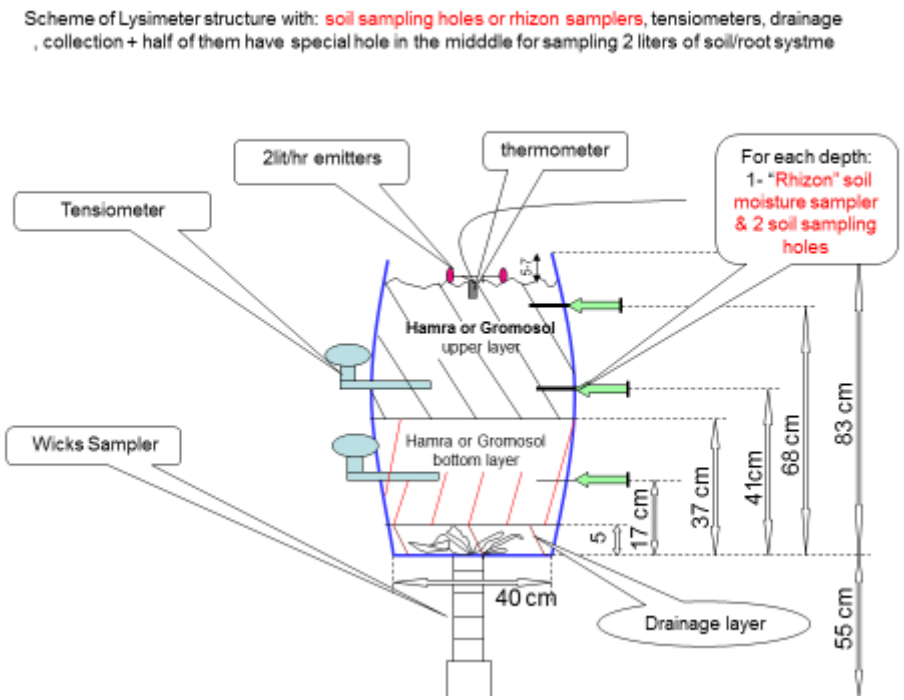
[#] בקרקע גרומוסול אוחדו טיפולים 2 ו- 3 – חלק מהליזמטרים הוצאו מהניסוי משום שהייתה פגיעה (בעיקר בטיפול הניתרון שפגע בחידור והניקוז), החל מיוני 2013 הניסוי המשיך רק עם טיפול השקיה בקולחים שלישוני ללא ניתרון. בחמרה המשכנו כרגיל עם טיפול 2 שהמשיך לכלול תוספת נתרן.

תחילת ההשקיה בקולחין בשנה השנייה הייתה במאי 2013. הערכים הממוצעים של מרכיבי היונים החשובים בטיפולים השונים במהלך 2013 מוצגים בטבלה 3. מבנה הליזמטרים מוצג באיור 1. מערך הניסוי מאפשר את הבדיקות הבאות: 1. אסוף נקז כאשר תחתית הליזימטר מחוברת ליונק "ויקס" וזה מחובר לפתח אסוף הנקז ואמור ליצור יניקה של כ50 ס"מ לצורך האצת הניקוז והקטנת שיכבת הרוויה בתחתית הליזימטר, 2. דגום קרקע דרך פתחי החדרת דוגמי קרקע ב-3 עומקים A– של~ 17, B~40 וC~65 ס"מ מפני הקרקע בליזימטר, 3. פתחי החדרת דוגמי "ריזון" שמאפשרים דגום של תמיסות קרקע מספר שעות לאחר ההשקייה (ממוקמים גם כן ב 3 עומקים כמו פתחי דגום הקרקע- בכמחצית הליזימטרים), 4. טנסיומטרים שהוחדרו למחצית מהליזימטרים (2 מתוך 4 חזרות לטיפול) לבדיקת פוטנציאל המים בתחתית ואמצע הליזימטרים (כ- 17 ו- 41 ס"מ מהתחתית- האזורים שנוטים להשאר רוויים) ו- 5 פתחים מיוחדים שהוכנו במחצית הליזימטרים (בקוטר של כ-12 ס"מ) שנועדו להחדרת דוגמי קרקע מיוחדים לדגום שורשים.

טבלה 3: הרכב ממוצע לשנת 2014 של תכולת יונים, מוליכות וערך הגבה שהתקבלו לאורך העונה בטפטפות הטיפולים השונים וביציאה ממתקן הזנון לקולחים שלישוניים. ערכי הBOD שנמדדו בקולחי ההשקייה נעו סביבות 5 מג״ר ליטר וערכי ה COD בטווח ש 45-50 מג״ר לליטר.

pH	EC	B	Fe	P	N-NO3+2	N-NH4	N-NO2	Na	Mg	K	Ca	SAR		Period	Treatmnet	
	ds/m	_	_	_	_	_	mg / l	_	_	_	_	meq)-1/2		2014		
7.6	1.34	0.12	0.05	6.66	29.4	24.1	0.13	113.8	28.6	47.2	52.8	3.1	avg	9.01-25.12	Fresh	G1-1λ
0.0	0.03	0.02	0.03	0.96	5.8	7.9	0.01	0.0	0.2	3.1	1.5		std			
7.5	1.60	0.16	0.04	5.60	26.2	25.7	0.28	151.6	26.1	54.8	61.1	4.1	avg	9.01-25.12	Tertiar.	G 2+3λ
0.1	0.04	0.02	0.01	0.00	0.4	4.1	0.04	3.8	2.0	1.3	3.5		std			
7.6	1.38	0.12	0.05	6.93	27.4	22.4	0.06	113.2	29.1	51.5	52.7	3.1	avg	9.01-25.12	Fresh	H1-1n
0.0	0.05	0.00	0.04	1.04	1.4	4.1	0.01	5.0	0.6	3.9	4.3		std			
7.5	1.83	0.16	0.04	5.55	25.1	21.6	0.30	214.4	25.8	52.9	59.8	5.8	avg	9.01-25.12	Tertir+Na	H2-2n
0.1	0.02	0.00	0.01	0.06	5.4	2.2	0.04	10.2	0.2	1.8	1.7		std			
7.5	1.53	0.21	0.03	5.56	25.3	21.2	0.30	149.2	26.1	51.8	60.0	4.0	avg	9.01-25.12	Tertiar	H3-3n
0.2	0.06	0.06	0.01	0.75	3.3	1.2	0.01	5.1	0.5	3.8	1.9		std			

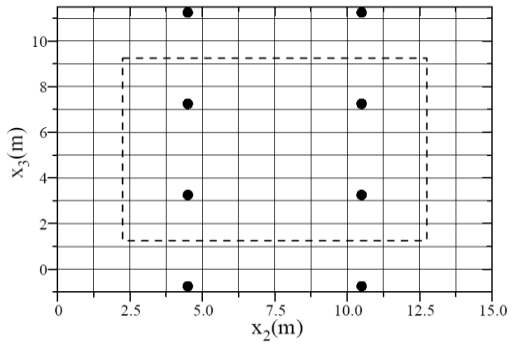
איור 1: סכימת הליזמטר הבודד, ובה תיאור מערכות המדידה השונות ומימדים חשובים.



המערכת הפיסיקלית ותרחיש הזרימה

נבנה מודל תלת-מימדי של פירוס תכונות הקרקע הרלבנטיות לזרימה והסעה בחלקת פרדס של מזרע בהתבסס על מדידות של תכונות אלה ותוך שימוש בכלים גיאו-סטטיסטיים. שדה התכונות התלת-ממדי של הפרדס מאופיין ע״י שינויים קטנים יחסית בערכי הממוצעים שלו עם העומק, וע״י שונות מרחבית (בעומק נתון) גבוהה יחסית. בחינה של ההשפעה ארוכת הטווח של השימוש במים מושבים על כושר הקרקע להוליך מים ומומסים ועל קליטת מים ע״י שורשים, נעשתה באמצעות הדמיה של זרימת מים והסעת מומסים בחתך הקרקע של הפרדס, המבוססת על מודל פיסיקלי תלת-מימדי של זרימה והסעה המביא בחשבון את האינטראקציה בין הזורם לקרקע.

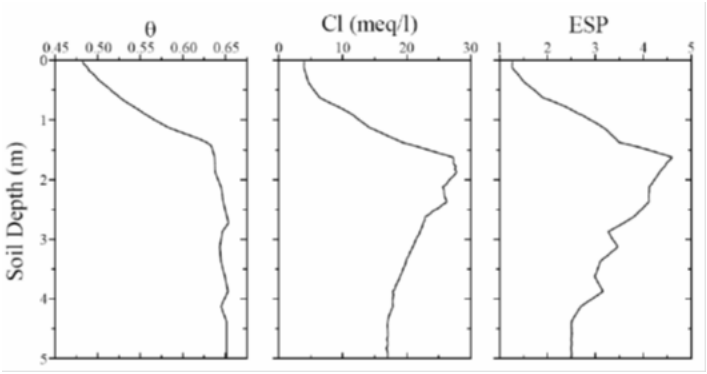
הסימולציה מבוססת על אנליזה נומרית, תלת-מימדית (3-D) של הזרימה וההסעה בקרקע חרסיתית בנוכחות מי תהום גבוהים בסקלת השדה. המחקר התמקד בפרדס (מזרע) תוך התחשבות בתנאים המטאורולוגים (גשם, התאדות), שיטת ההשקיה (טפטוף) ונוהלי ההשקיה, ריכוזי נתרן סידן וכלורי במי ההשקיה, הגיאומטריה המרחבית של מערכת ההשקיה ושורשי העצים, והפירוס המרחבי של תכונות קרקע רלבנטיות. סכימה של חלקת הפרדס עבורה התבצעה ההדמיה מוצגת באיור 2.

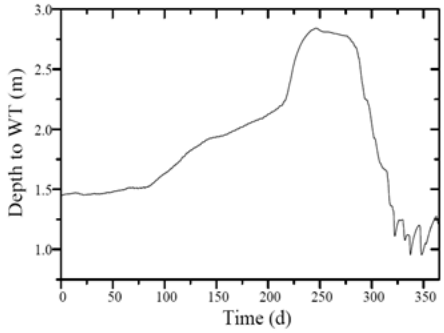


איור2: סכימה של חלקת הפרדס.

ההדמיה של ההסעה והפיזור של מומסים בקרקע בסקלת השדה, המאופיינת ע״י שונות מרחבית, בתנאים של השקיה ו/או גשם, נעשה ע״י שילוב של מודל פיסיקלי (מחשבתי) תלת-מימדי של זרימת מים והסעת מומסים עם גישות סטוכסטיות לתיאור כמותי של השונות המרחבית בתכונות הקרקע הפיסיקליות והכימיות (Russo et al., 2004; Russo 2013). בסקלה המקומית, ההנחה היא שהתכונות ההידרוליות של הקרקע החרסיתית (המכילה תלכידים) ניתנות לתיאור ע״י פונקציות בי-מודליות (Durner, 1994) ואילו הזרימה וההסעה מתוארים ע״י משוואת ריצ׳רדס ומשוואת האדבקציה-דיספרסיה התלת-מימדיות, בהתאמה. האנליזה הנומרית מתחשבת בתהליכי חילוף של נתרן וסידן, ובשינויים בתכונות ההידרוליות של הקרקע כתוצאה משינויים בהרכב וריכוז תמיסת הקרקע. נתוני פיזומטרים מעומק של 5 מטר שימשו לקביעת התלות בזמן של מפלס מי התהום (איור 3).

מדגמי קרקע לאורך שורות העצים ובין שורות העצים שנלקחו עד לעומק של 4 מטר שימשו ליצירת בסיס נתוני הקרקע הדרוש למודל הזרימה וההסעה. נתוני פילוג גודל הגרגר (שהתקבלו בשיטת LD, (Eshel et al. 2004)), שימשו לאומדן 5 הפרמטרים של עקום התאחיזה המקומי, הבי-מודלי, ואילו מדידות זרימה בדגימות קרקע מופרות שימשו לאומדן המוליכות ההידרולית הרוויה. אחוז החרסית שימש לאומדן שטח הפנים הסגולי והקק״ח של הקרקע. תכולת הרטיבות, ריכוזי כלוריד, נתרן וסידן בתמיסת הקרקע ואחוז נתרן חליף בקרקע שימשו כנתוני התחלה להדמיית הזרימה וההסעה (איור 4).





איור 3: עומק מפלס מי התהום עם הזמן. **איור 4:** חתכים אנכיים ממוצעים של הנתונים התחיליים

מדידות בניסויי השדה ובליזימטרים

א. <u>איכות מים</u>: כל מקור מים (שפירים, קולחים) נבדק 3-6 פעמים במהלך עונת ההשקיה. נמדדו התכונות הבאות: מוליכות חשמלית, pH וריכוזי כלוריד, נתרן, סידן, מגנזיום, בורון, ביקרבונט, חנקן-חנקתי, חנקן-אמוניאקלי, חנקן כללי, זרחן מומס וכללי ואשלגן. בקולחים נבדקו גם BOD, TSS, Organic N, Organic C, ו- COD.

ב. <u>מדדי קרקע</u>:

i. דיגום קרקע מופר עד עומק של 1.5 מ׳ (במרווחים של 30 ס״מ) בוצע בתחילת הניסוי (יולי 2012) בכל החלקות בשורות העצים ובתחילת הניסוי גם בחצי המרחק בין שתי שורות עצים סמוכות ובשלוש נקודות בשוליו המזרחיים של הפרדס (על יד שדירת הברושים). דיגום דומה בכול החלקות בשורות העצים בלבד בוצע בסיום כול עונת השקיה. בדגימות הקרקע המופרות בוצעו אנליזות כימיות שונות - חנקה והאמון במיצוי ב- 1N KCl, זרחן במיצוי אולסן, בורון במיצוי של מניטול. במיצוי מימי נמדדו: המוליכות חשמלית, ה- pH, וריכוזי אשלגן, נתרן, סידן, מגניון, כלור, פחמן מסיס אורגני ואי אורגני, חנקן מסיס כללי. בתחילת הניסוי ובסופו נקבעו גם קיבול והרכב הקטיונים החליפיים (יולי 2012 ואוקטובר 2014). בנוסף, נקבעה יציבות התלכידים תוך שימוש בשיטת לייזר בדוגמאות הקרקע שנדגמו באוקטובר 2014. תלכידים (2-0 מ״מ) נחשפו ל 10 דקות של עירבול מכני שבמהלכן בכל דקה נקבעה התפלגות גודל החלקיקים. יציבות התלכידים מבוטאת בעזרת גודל התלכיד החציוני (D[0.5]).

ii. במהלך המחקר בוצע גם דיגום לא מופר (חד פעמי) בשנת 2012 לאפיון חתך הקרקע לעומק של 4.5 מ׳ מ-5 אתרים בתוך שורות העצים המייצגים אזור שהושפע ישירות מהשקייה בקולחים ומ-4 אתרים בין שורות העצים המייצגים אזור שהנחנו שהושפע רק במעט (אם בכלל) מהשקייה בקולחים. הבדיקות שבוצעו על המדגמים הלא מופרים כללו: צפיפות גושית, תכולת רטיבות, הרכב מכני, קיבול והרכב קטיונים חליפיים, תכולת גיר, תכולת חומר אורגני, כמו כן נקבעו המוליכות חשמלית, pH וריכוז כלוריד במיצוי קרקע:מים 1:5. ניסיון לקבוע את המוליכות ההידראולית ברוויה בדוגמאות הלא מופרות לא צלח לכן נקבעה המוליכות ההידראולית ברוויה בדוגמאות הללו לאחר הפרתן ואריזתן מחדש בעמודות קרקע. בכדי לאפיין את המוליכות ההידראולית ברוויה בקרקע במצב עמיד נשטפו עמודות הקרקע בתמיסה בריכוז 40 מא״ק/ל׳ ו- SAR=6.0. בדוגמאות מהדיגום הנ״ל נקבעו עקומי תאחיזת מים עד למתח של 15 באר תוך

שימוש בפלטות לחץ. מתוצאות עקומי התאחיזה ומידיעת המוליכות ההידראולית ברוויה חושבה המוליכות ההידראולית הלא רוויה בעזרת מודל שפותח על ידי מועלם (Mualem, 1976).

iii. תכולת הרטיבות בקרקע נקבעה בעונת ההשקיה פעם בחודש על ידי מפזר נויטרונים, בכל חלקה הוחדר צינור אחד לעומק של 210 ס״מ.

iv. פיאזומטרים – הותקנו פיאזומטרים לעומק של 200 ס״מ ו- 400 ס״מ בחמש נקודות בחלקת הניסוי למעקב עיתי (אחת לחודש או חודשיים) אחר רום המים.

ג. <u>מדדים צמחיים</u>

i. מדידות פיזיולוגיות - היקף גזע, יבול ואיכות פרי נבדקו אחת לשנה.

ii. עלים ושורשים לאנליזות מינראליות (חנקן, זרחן ואשלגן בעלים; נתרן, כלור ובורון בעלים ובשורשים) נדגמו פעם בשנה בסתיו.

iii. מדידות רציפות של זרימת המים בגזע העץ על ידי Thermal dissipation sap flow sensors ובדיקות עיתיות (מדי שבוע עד חודש) של פתיחת הפיוניות וטרנספירציה בעלים נבדקו במכשיר Licor 6400.

iv. בדיקות פוטוסינתיזה, נשימה, פלורסנציה של כלורופיל ומדדים נלווים בעלים בעזרת המכשיר הנ״ל. בדגימות עלים נמדדו רמות פרולין, דליפת ממברנות ופוטנציאל אוסמוטי בתקופת ההשקיה, והיחס האיזוטופי $^{12}C/^{13}C$ פעם בשנה בסתיו.

v. בדגימות של שורשים מדדנו חלק מהנ״ל וגם מוליכות הידראולית. פוטנציאל המים בגזע העץ בצהריים נבדק ע״י מדידה בתא לחץ של עלים מכוסים פעם בחודש בעונת ההשקיה.

vi. מעקב עיתי אחר התפתחות מערכת השורשים בשדה ובליזימטרים בבדיקות לא הרסניות בוצע בעזרת מיניריזוטרונים כל 3 חודשים. המערכת מאפשרת צילום של מערכת השורשים עד לעומק של 2 מטר ובמרווחים של 12 מ״מ דרך צינור פרספקס המוחדר לקרקע במרחקים שונים מן העץ. באמצעות המערכת נמדדו הפרמטרים הבאים: (1) אורך השורשים, (2) מספר שורשים (3) עומק מערכת השורשים (4) מספר הסתעפויות ומיקומם – קצב הופעה של שורשים חדשים ותמותה של שורשים. הבדיקות נעשו במרווחי זמן של שבועיים עד שלושה, בהתאם לשינויים במערכת השורשים כפי שבואו לידי ביטוי במדידות לאורך עונת הגידול.

vii. בשנת הניסוי האחרונה בוצע מעקב עיתי אחר נשימת קרקע ושורשים בוצע 3 פעמים בשנה בעזרת התקן למערכת LI6400 ובעזרת מדידת ריכוזי CO_2 בגזע יחד עם זרימת המים בעזרת מד מתאים מתוצרת Vaisala.

viii. תחנות מטאורולוגיות שהוקמו בשדה ובאתר הליזימטרים שמשו למדידה רציפה של קרינה, מהירות רוח, טמפרטורה ולחות האוויר.

5. תוצאות

מדדי קרקע כימיים ופיזיקליים בפרדס מזרע

<u>מדדים פיזיקליים וכימו-פיזיקליים בדיגום לא מופר</u>

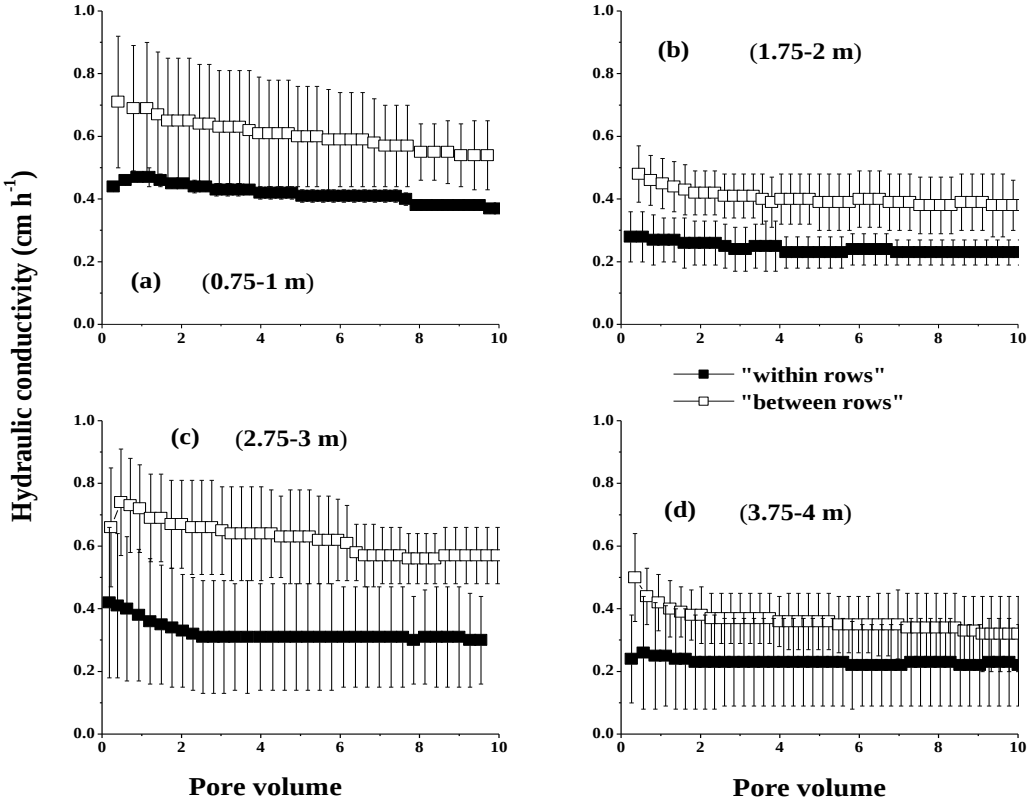
תוצאות מדידת הצפיפות הגושית הצביעו על שונות גבוהה במרחב (מרכיבים אופקיים ואנכיים כאחד). מאידך עיקר השונות בתכולת הרטיבות מקורה בשונות במרכיב האופקי (איור 1, נספח 1). לא נמצא הבדל מובהק בשתי תכונות אלו כתלות במיקום הדיגום (קרי ״בתוך שורה״ כנגד ״בין השורות״).

תוצאות בדיקת ההרכב המכני (איור 2, נספח 1) הראו שבדוגמאות שנלקחו "בתוך השורה" תכולת החרסית הייתה קבועה למדי עם העומק (~70%) בעוד שבדוגמאות שנלקחו "בין השורות" תכולת החרסית עלתה מ 62% בשכבה העליונה ל75% בשכבה התחתונה ובהתאמה חלה פחיתה בתכולת הסילט והחול בדוגמאות אלו עם העומק.

תוצאות קיבול הקטיונים החליפיים (קק"ח) ואחוז הנתרן הספוח (ESP) (איור 3, נספח 1) הצביעו גם כן על שונות מרחבית גבוהה. לא נמצא הבדל מובהק בשתי תכונות אלו כתלות במיקום הדיגום (קרי "בתוך שורה" כנגד "בין השורות"). אולם במקרה של ה- ESP ניתן להבחין כי החל מעומק של 1.75 מ' התקבלו ערכים גבוהים יותר בדוגמאות מתוך השורה בהשוואה לאלו שבין השורות. כמו כן ה- ESP בעומק 0.75 מ' היה ~6 ועלה עם העומק לערכים של ~10 (איור 3, נספח 1)), דבר המצביע על שטיפה של נתרן לעומק הקרקע במהלך השנים בהן שטח הניסוי היה תחת עיבוד. תופעה דומה של הצטברות נתרן ספוח בעומק הקרקע לערכים של ~10 דווחה כבר בעבר (Levy et al., 2014a).

תוצאות הבדיקות ממיצוי הקרקע (איור 4, נספח 1)) הראו כי ערך ה pH נע בתחום 7.5-8.15 והיה קבוע למדי עם העומק. מאידך ערכי המוליכות החשמלית וריכוז הכלוריד עלו עד לעומק של 1.5 ומתחתיו ערכם היה קבוע למדי. מעומק 1.5 מ' נצפתה מגמה בה ערכי המוליכות החשמלית וריכוז הכלוריד בדוגמאות שנלקחו בין השורות היו גבוהים מאלו שהתקבלו בדוגמאות שנלקחו בתוך השורה. תופעה זו מעידה על היעדר שטיפה של חתך הקרקע באזור שבין שורות העצים.

תוצאות המוליכות ההידראולית ברוויה (איור 5) לא הצביעו על מגמה ברורה של שינוי במוליכות עם העומק. אולם נמצא כי המוליכות ברוויה בשכבת הקרקע מעומק 0.75-1.0 הייתה גבוהה באופן מובהק מהמוליכות ברוויה בשכבת הקרקע מעומק 3.75-4.0 מ'. ניתן לייחס תופעה זו לעליה שנצפתה ב- ESP בין שתי שכבות אלו (איור 3, נספח 1)). בכל שכבות הקרקע שנבחנו המוליכות ברוויה של הדוגמאות שנלקחו בין השורות הייתה גבוהה באופן מובהק מהמוליכות של הדוגמאות שנלקחו בתוך השורה (טבלה 1, נספח 1). מאחר ובדיקת המוליכות ההידראולית נעשתה תוך שימוש בתמיסה מלוחה לא ניתן לייחס את ההבדלים במוליכויות ההידראוליות לכך שבדוגמאות שנלקחו בין השורות המוליכות החשמלית במיצוי הייתה גבוהה יותר (איור 4, נספח 1). כמו כן, מאחר וההבדלים ב – ESP בין שני סוגי הדוגמאות לא היו מובהקים (איור 3, נספח 1) לא ניתן לייחס את ההבדלים במוליכות ההידראולית להבדלים ב- ESP. לאחרונה דיווחו Levy et al. (2014b) על כך שהמוליכות ההידראולית ברוויה הייתה גבוהה יותר בקרקע שהושקתה במים שפירים לעומת זו שהושקתה בקולחים למרות שה- ESP בשני סוגי הקרקע היה דומה. חוקרים אלו גם הראו שקיים קשר בין ההבדלים שנמצאו ברכיבים הפלאורסנטיים של החומר האורגני המומס בין שני סוגי הקרקע (Borisover et al., 2012) לבין ההבדלים במוליכויות ההידראוליות שלהם. אנו מציעים שניתן לייחס את ההבדל במחקר הנוכחי במוליכות ההידראולית בין דוגמאות שנלקחו מתוך השורות ובין דוגמאות שנלקחו בין השורות להבדלים אפשריים במרכיבי החומר האורגני המומס שבדוגמאות שכנראה נובע מהבדלים בעומס אורגני שהוסף לקרקע במהלך ההשקייה בין שני סוגי הקרקע שנבחנו.



איור 5. מוליכות הידראולית ברוויה עבור הדוגמאות שנלקחו בתוך השורה (within rows) ובין השורות (between rows) בארבעה עומקים שונים בפרדס מזרע לפני תחילת טיפולי ההשקיה, 2012.

עקומי התאחיזה המדודים והמחושבים, לפי המודל של van Genauchten (1980) מוצגים באיור 6 בנספח 1. ההתאמה בין העקומים המדודים למחושבים הייתה טובה, עם ערכי R^2>0.945 (איור 7, נספח 1). בכל מתח נתון, ערכי תכולת הרטיבות בדוגמאות שנלקחו בין השורות היו גבוהים מאלו שבדוגמאות מתוך השורה. תוצאה זו הצביעה על כך שפירוס גודל הנקבובים בדוגמאות בין השורות בכל חתך הקרקע היה שונה באופן עקבי לאורך כל תחום המדידה מזה שבדוגמאות שנלקחו בתוך השורה. אולם חישוב תכולת מים זמינים בחתך הקרקע הראה שאין הבדל בין הדוגמאות משני סוגי הקרקע (טבלה 2, נספח 1). נראה שמבחינה אגרונומית לשימוש במי קולחים לא הייתה השפעה שלילית על תכולת המים הזמינים בחתך הקרקע.

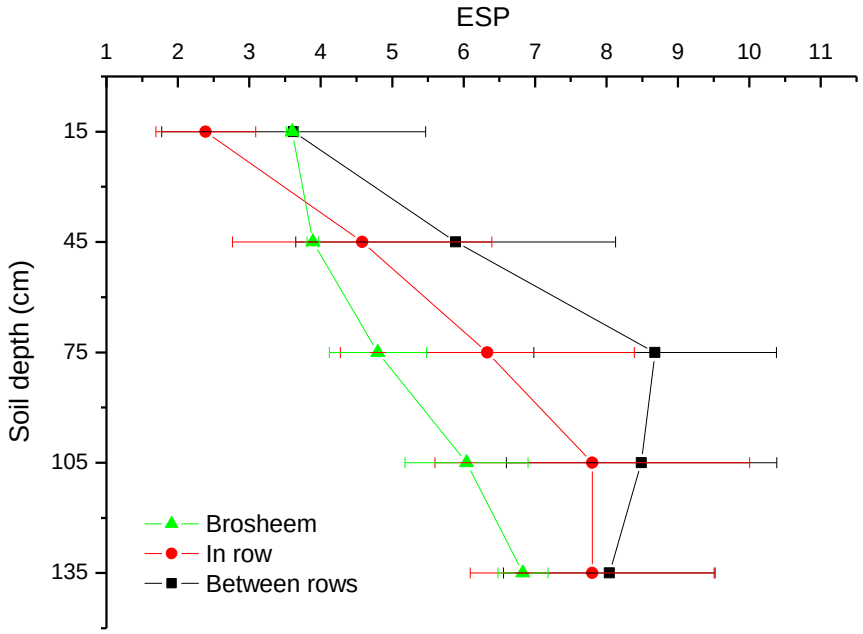
ערכי המוליכות ההידראולית הלא רוויה המחושבת (K_θ) כתלות בדרגת הרטיבות בקרקע מוצגים באיור 5, נספח 1. כצפוי, ערכי K_θ פחתו בצורה הדרגתית עם הירידה בדרגת רטיבות הקרקע. שלא כפי שנצפה במוליכות ההידראולית בתנאים של רוויה בהם המוליכות בדוגמאות בין השורות הייתה גבוהה מזו שבדוגמאות מתוך השורה (איור 5), ערכי K_θ עבור הדוגמאות מתוך השורה היו דומים או גבוהים יותר מאלו שהתקבלו עבור הדוגמאות בין השורות כאשר דרגת הרוויה הייתה <0.9. כפי שצוין עבור המוליכות ההידראולית ברוויה, לא ניתן לייחס את הבדלים שנצפו בין שני סוגי הקרקע להשפעה של ה- ESP או ריכוז המלחים בתמיסת הקרקע. מאידך עקומי התאחיזה הראו שקיים הבדל בפירוס גודל הנקבובים בין שני סוגי הקרקע. נראה שבתנאי אי-

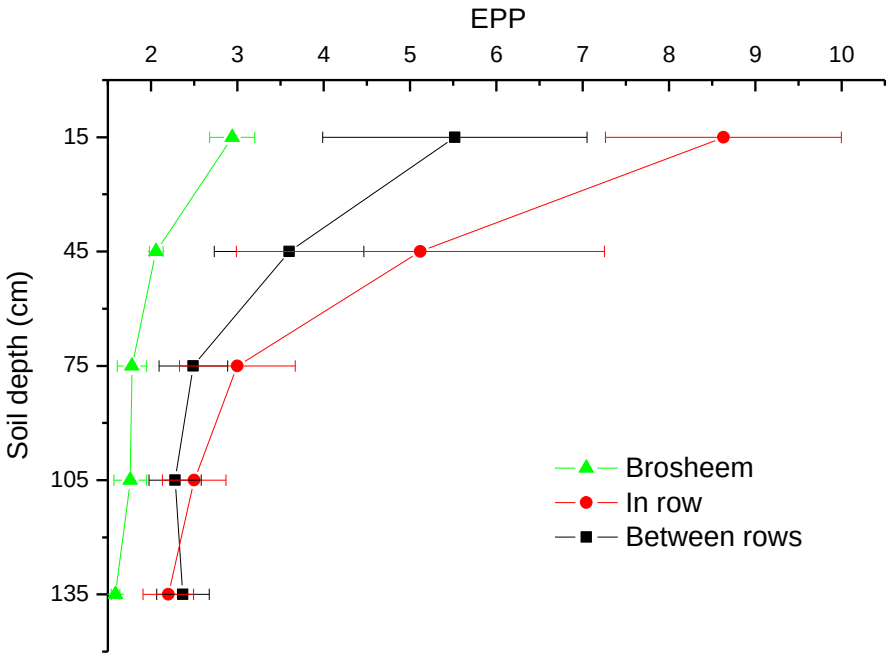
רוויה, פירוס הנקבובים בדוגמאות מתוך השורה היה כזה שתרם לתנועת מים עדיפה על פני זו שנצפתה בדוגמאות שנלקחו בין השורות. הסיבה לכך אינה ברורה בשלב זה.

<u>מדדים פיזיקליים וכימו-פיזיקליים בדיגום מופר</u>

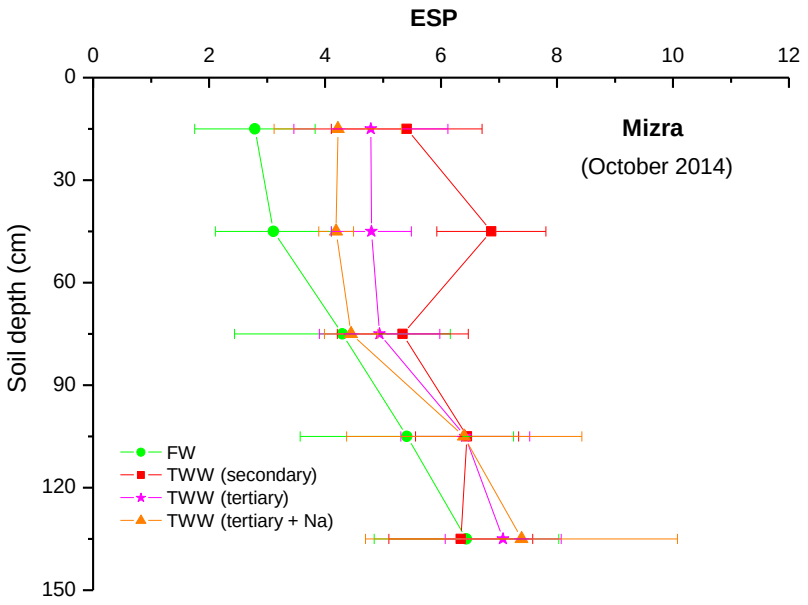
תוצאות אחוז הנתרן הספוח (ESP) ואחוז האשלגן הספוח (EPP) מהדיגום שנערך בתחילת הניסוי (יולי 2012) מוצגות באיור 6. כצפוי ובדומה למה שנצפה בדיגום הלא מופר, ערכי הנתרן החליף עולים עם העומק ואין הבדל מובהק באחוז הנתרן הספוח בין דוגמאות שנלקחו מתוך שורת העצים שנחשפה להשקייה לבין דוגמאות שנלקחו בחצי המרחק בין השורות ובהם צפוי היה שאחוז הנתרן הספוח יהיה נמוך יותר. בניגוד לנתרן, תכולת האשלגן הספוח יורדת עם העומק. כמו כן, כצפוי בעקבות דישון תכולת האשלגן הספוח בשתי השכבות העליונות גבוה יותר בתוך שורת העצים מאשר בין השורות.

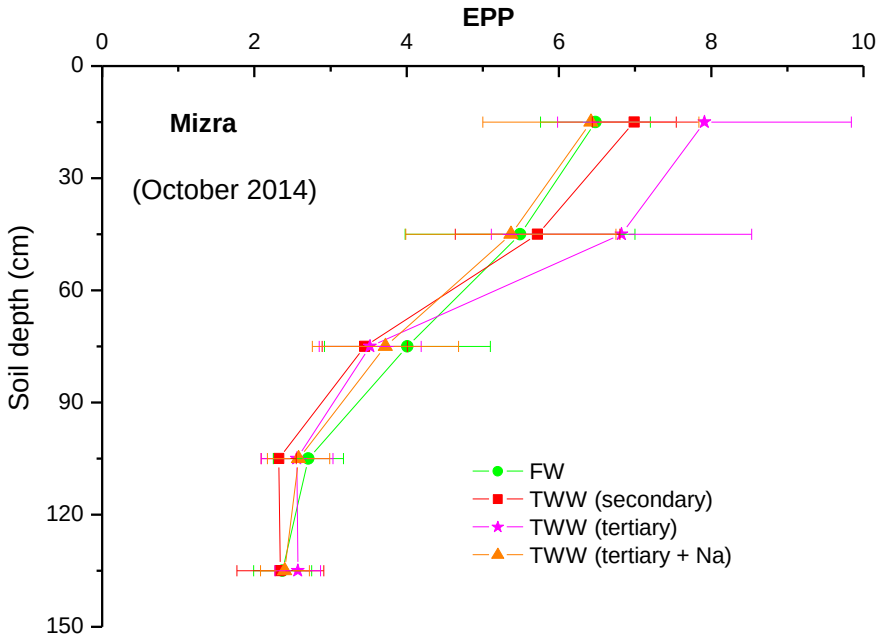
תוצאות אחוז הנתרן הספוח (ESP) ואחוז האשלגן הספוח (EPP) מהדיגום שנערך בסיום הניסוי (אוקטובר 2014) כתלות בהשפעת הטיפולים שנבחנו מוצגות באיור 7. נראה שמעבר להשקייה במים שפירים במשך שתי עונות השקייה (לאחר השקייה ממושכת במי קולחים) גרם לפחיתה משמעותית ב- ESP בשתי השכבות העליונות של הקרקע בהשוואה לטיפולי ההשקייה במי הקולחים. מאידך, לטיפולי ההשקייה החדשים (קולחים שלישוני ושפירים מועשר בנתרן) שהופעלו רק במהלך עונת ההשקייה האחרונה לא הייתה השפעה על ה- ESP (איור 7). לטיפולים לא הייתה השפעה על ה- EPP. אולם, בהשוואה לתוצאות מדיגום 2012 (איור 6), נראה שחלה פחיתה מסויימת ב- EPP בשכבת הקרקע העליונה ועליה קטנה ב- EPP בשכבת הקרקע 30-60 ס״מ.





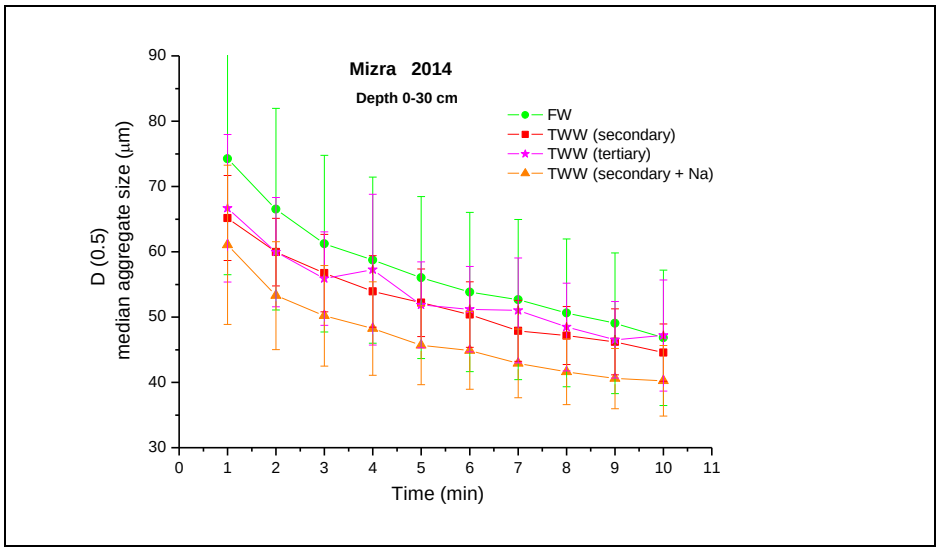
איור 6. אחוז נתרן ספוח (ESP) ואחוז אשלגן ספוח (EPP) בדוגמאות שנלקחו בפרדס מזרע בתחילת הניסוי (יולי 2012) בדיגום המופר.

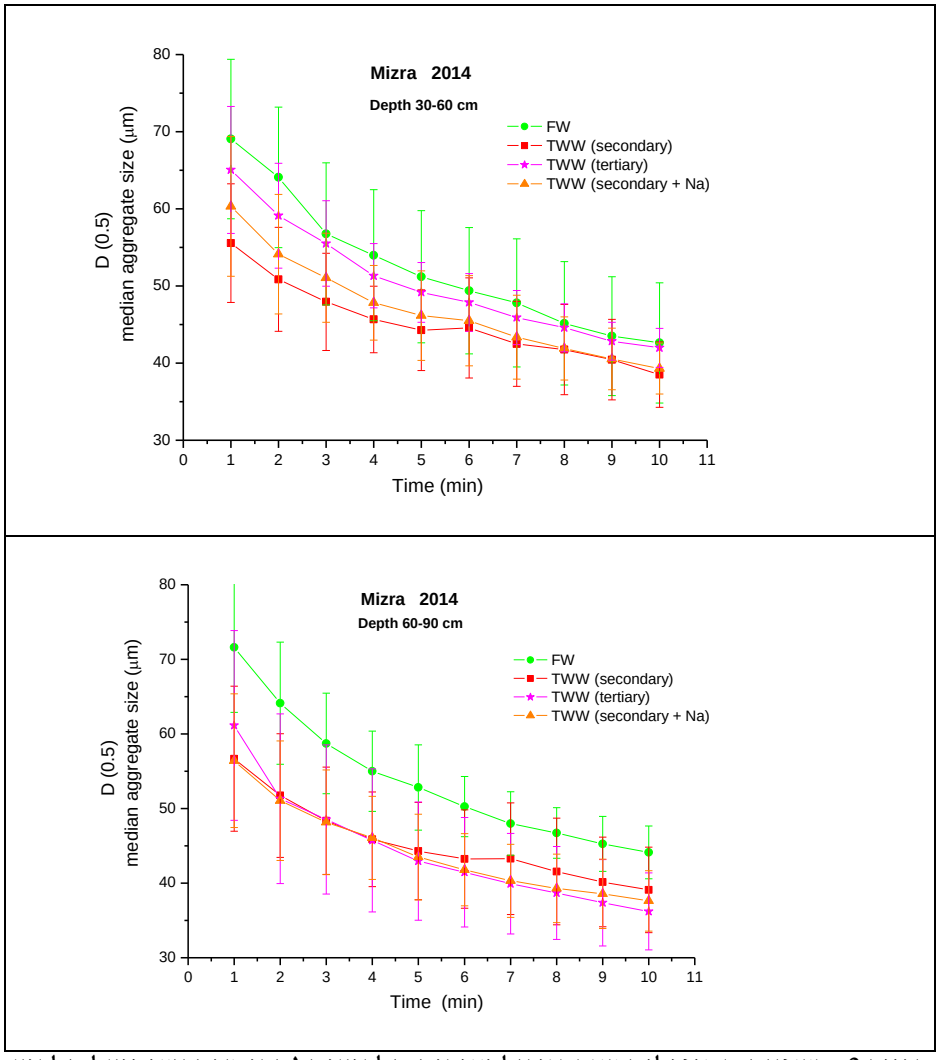




איור 7. אחוז נתרן ספוח (ESP) ואחוז אשלגן ספוח (EPP) בדוגמאות שנלקחו בפרדס מזרע בסוף הניסוי (אוקטובר 2014) בדיגום המופר.

תוצאות בדיקת יציבות התלכידים עבור שלושת שכבות הקרקע העליונות מוצגות איור 8. בכל שלושת העומקים שנבדקו יציבות התלכידים בטיפול המים השפירים הייתה גבוהה מזו שנצפתה בטיפולים השונים במי קולחים (הבדל לא תמיד מובהק). בשכבת הקרקע העליונה (0-30 ס״מ) וזו שמתחתיה (30-60 ס״מ) יציבות התלכידים במים שפירים הייתה גבוהה באופן מובהק מהטיפול בקולחים שניוניים ושפירים מועשרים בנתרן. לא נמצא הבדל מובהק בין טיפול ההשקייה במים שפירים ומי קולחים שלישונים. בשכבת הקרקע 60-90 ס״מ השקייה במים שפירים תרמה לייצוב התלכידים באופן מובהק בהשוואה לכל הטיפולים במי קולחים (איור 8).





איור 8. השפעת הטיפולים שנבחנו על יציבות תלכידים (מבוטאת ע"י גודל תלכיד חציוני) בפרדס מזרע, אוקטובר 2014.

תכולת המים בקרקע - במדידות הרטיבות בקרקע לאורך העונה תכולת הרטיבות קרוב לפני השטח 0-20 ס"מ ובעומק מתחת ל-120 ס"מ הייתה גבוהה יותר בתוך השורות מאשר בין השורות (איור 8 נספח 1). כלומר בין השורות היה בקיץ תהליך התייבשות בפני השטח ואילו בתוך השורות ההשקיה שמרה על הרטיבות. בעומק הקרקע בתוך השורות הרטיבות עלתה כתוצאה מהשקיה גבוהה מצריכת המים על ידי העצים. לסוג המים לא הייתה השפעה ברורה על הרטיבות בקרקע.

פיאזומטרים - רום המים בפיאזומטרים הרדודים (2 מ') היה יציב רוב תקופת המדידה, בסביבות 1.8-2.0 מ' ואילו בפיאזומטרים העמוקים (4 מ') הייתה בשתי חלקות עליה מ- 4 מ' ל-2 מ' בתקופת ההשקיה ב- 2013 וב-2014 ואילו בחלקה השלישית גובה המים נשאר עמוק ב-2014 (איור 9 נספח 1). כנראה העליה ברטיבות באביב 2013 מצביעה על עודף השקיה בתחילת עונת ההשקיה שגרם לעליה במים החופשיים קרוב יותר לגובה מערכת השורשים של העצים.

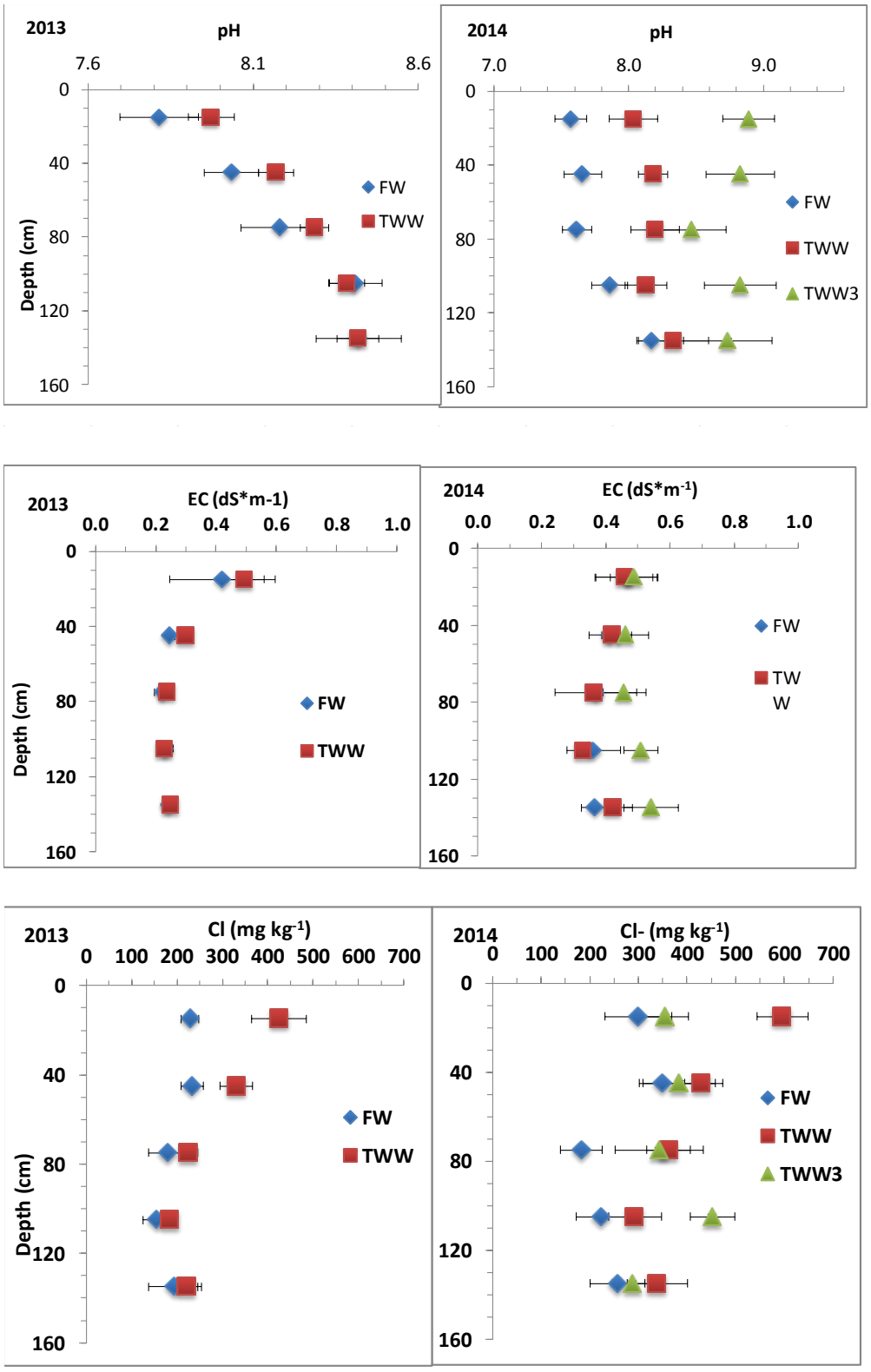
<u>מדדים כימיים בדיגומי קרקע מופרים</u>

המעבר להשקיה במים שפירים גרם לירידה בערך ה- pH של תמיסת הקרקע לעומת המשך השקיה בקולחים שניוניים, כאשר בסוף העונה השנייה ההבדל מובהק מהשכבה העליונה עד השכבה השלישית (60-90 ס"מ). השפעת קולחים על ערכי pH גבוהים בקרקע צפויה בגלל הריכוז הגבוה של ביקרבונט וכושר הבופר להחמצה

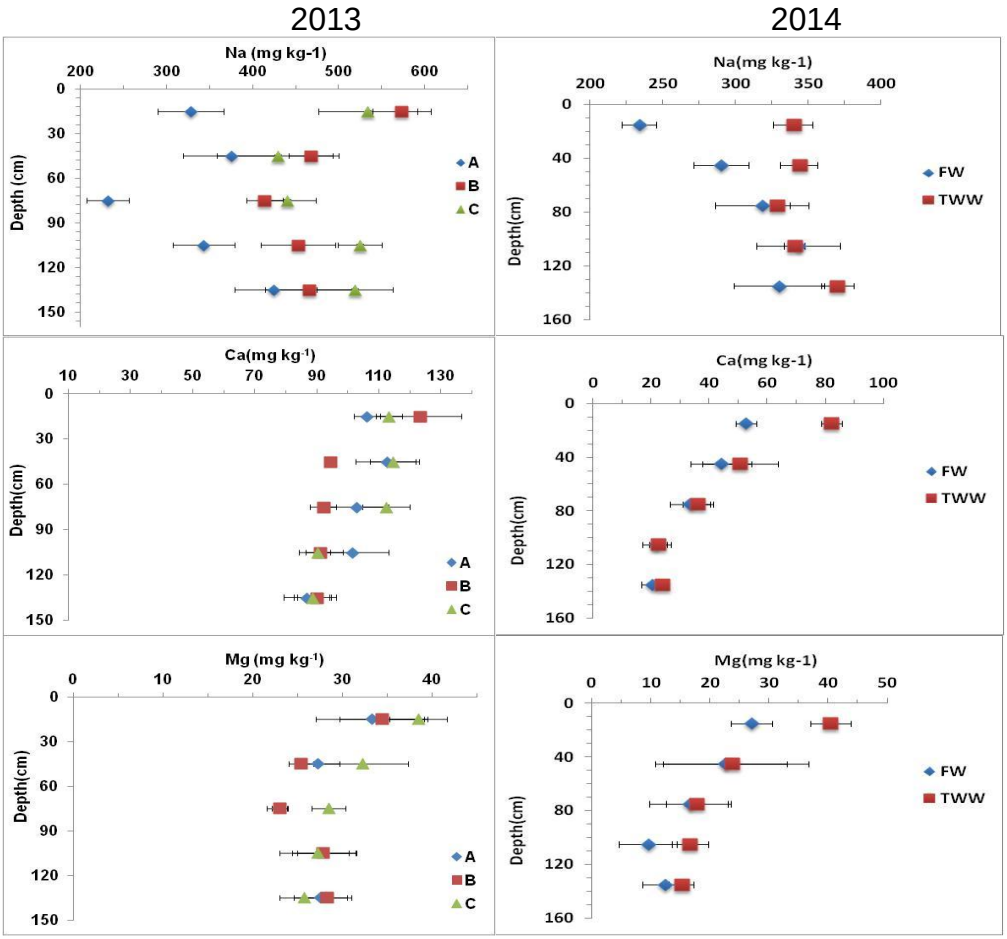
בתהליך הניטריפיקציה של האמון. בסוף שנת ההשקיה השנייה ערכי ה- pH הגבוהים ביותר התקבלו בטיפול הקולחים המסוננים בחול, אין לנו הסבר לתופעה ויש להמשיך ולמדוד את השפעת טיפול זה.

המליחות הנמוכה של השפירים לעומת הקולחים (טבלה 1) הייתה צפויה להוריד את ריכוזי המלחים בטיפול השפירים לעומת הקולחים כפי שדווח בספרות (למשל Lado et al., 2012). בהתאם לכך ריכוזי הכלוריד, והנתרן בחתך הקרקע בטיפול הקולחים היו גבוהים יותר מאשר בשפירים והפער גדל והעמיק מסוף עונת ההשקיה ב- 2013 לסופה ב- 2014 (איורים 9 ו-10 בהתאמה). יש לציין שהפערים בין השפירים לקולחים במוליכות החשמלית של תמיסת המיצוי ושל ריכוזי הסידן והמגנזיום היו קטנים יחסית ולא מובהקים (איורים 9 ו-10 בהתאמה), כנראה בגלל שהמיצוי ביחס גדול של מים לקרקע (1\5) גרם להמסה גדולה של מלחים לא מסיסים שמיסכו את השפעת הטיפול.

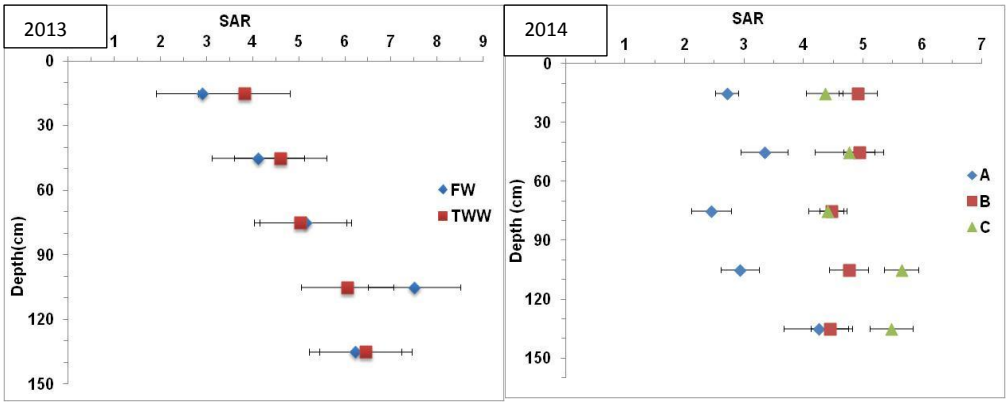
ערכי ה- SAR בתמיסת המיצוי בחתך הקרקע הושפעו גם הם ממקור המים בדומה לנתרן, כך שהערכים בהשקיה בקולחים היו גבוהים יותר בשכבות העליונות בסוף העונה הראשונה והשנייה, והגיעו עד עומק של 90-120 ס״מ בתום עונת ההשקיה השנייה (איור 11).



איור 9. ערכי ה- pH , המוליכות החשמלית (EC) וריכוז כלוריד בתמיסת הקרקע (מיצוי מים קרקע (1\5 בתום עונת ההשקיה הראשונה והשנייה (אוקטובר 2013 ואוקטובר 2014) בפרדס מזרע. שפירים - FW, קולחים – TWW, קולחים סינון חול – TWW3



איור 10. ריכוזי הקטיונים נתרן, סידן ומגנזיום בקרקע (מיצוי מים קרקע 1\5) בתום עונת ההשקיה הראשונה והשנייה (אוקטובר 2013 ואוקטובר 2014) בפרדס מזרע. הסימונים ב-2013 : שפירים - FW, קולחים – TWW ; הסימונים ב-2014 : שפירים - A, קולחים – B, קולחים סינון חול – C



איור 11. ערכי ה- SAR בתמיסה (מיצוי מים קרקע 1\5) בתום עונת ההשקיה הראשונה והשנייה (אוקטובר 2013 ואוקטובר 2014) בפרדס מזרע. הסימונים ב-2013 : שפירים - FW, קולחים – TWW ; הסימונים ב-2014 : שפירים - A, קולחים – B, קולחים סינון חול – C

להשקיה בקולחים לעומת שפירים לא הייתה השפעה ברורה על ריכוזי האמון והחנקה הזמינים בקרקע (איור 10 בנספח 1). תוצאה זו צפויה מכיוון שהדישון בשפירים כוון לקבלת מנות דישון דומות בחנקן וריכוזי החנקן

בקרקע דינמיים מאוד כתוצאה מהקליטה על ידי העצים ופעילות של מיקרואורגניזמים כך שמדידה בנקודת זמן אחת בעונה אינה משקפת את המצב לכול אורך העונה. ריכוזי הזרחן והאשלגן בקולחים גבוהים מאשר בשפירים (טבלה 1) ותנועתם בקרקע איטית משל החנקה (במיוחד הזרחן) ולכן ההצטברות שלהם בשכבות הקרקע העליונות בהשקיה בקולחים לעומת שפירים (איור 11 נספח 1) נמצאת בהתאמה לצפוי ולדיווחים בספרות (Bar-Tal et al. 2011) ובניסוי קודם באותה קרקע (Lado et al. 2012).

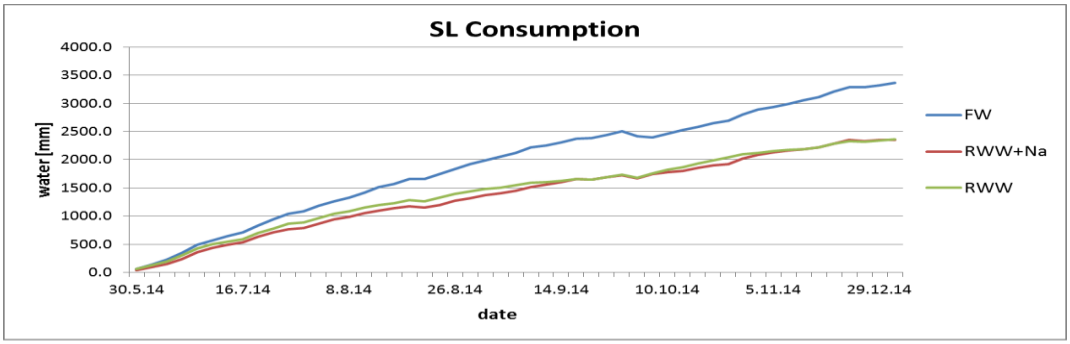
לסוג המים לא הייתה השפעה על ריכוזי סך הכול פחמן מסיס ופחמן אורגני מסיס בסוף עונת ההשקיה הראשונה, אך בסוף עונת ההשקיה השנייה הערכים של שני המדדים האלו בשכבות הקרקע העליונות היו גבוהים באופן מובהק בהשקיה בקולחים מאשר בשפירים (איור 12 נספח 1) בהתאמה לדיווחים בספרות (Lado et al. 2012). באופן דומה גם הפחמן האנאורגני המסיס וגם החנקן המסיס הכללי בחתך הקרקע היו גבוהים יותר בהשקיה בקולחים מאשר בשפירים וההשפעה הייתה בולטת יותר בתום עונת ההשקיה השנייה (איור 13 נספח 1).

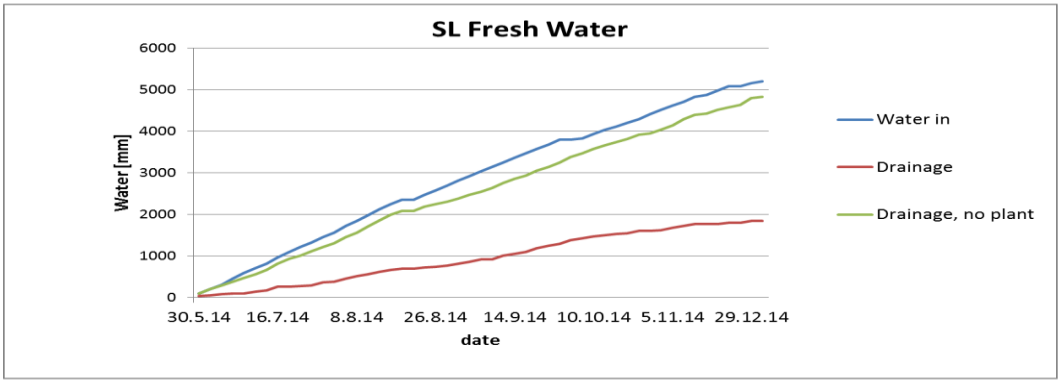
שני סוגי המים הכילו ריכוזים נמוכים מאוד של בורון, פחות מ- 0.1 מ״גוליטר (טבלה 1) ולכן לא מפתיע שריכוז הבורון שניתן למיצוי במניטול לא היה גבוהה בהשקיה בקולחים מאשר בשפירים (איור 14, נספח 1), אך הריכוזים הגבוהים יחסית בשני הטיפולים מצביעים על ההשפעה ארוכת הטווח שהייתה להשקיה בקולחים עשירים בבורון עד לפני כעשר שנים. בשני מקורות המים נמצאה מגמה של ירידה בריכוז הבורון מ-2013 ל-2014, כאשר דווקא בהשקיה בקולחים חסרי בורון השינוי היה בולט יותר מאשר בהשקיה בשפירים, כנראה כתוצאה מדחיקת הבורון על ידי הריכוזים הגבוהים יותר של ביקרבונט וזרחה בקולחים.

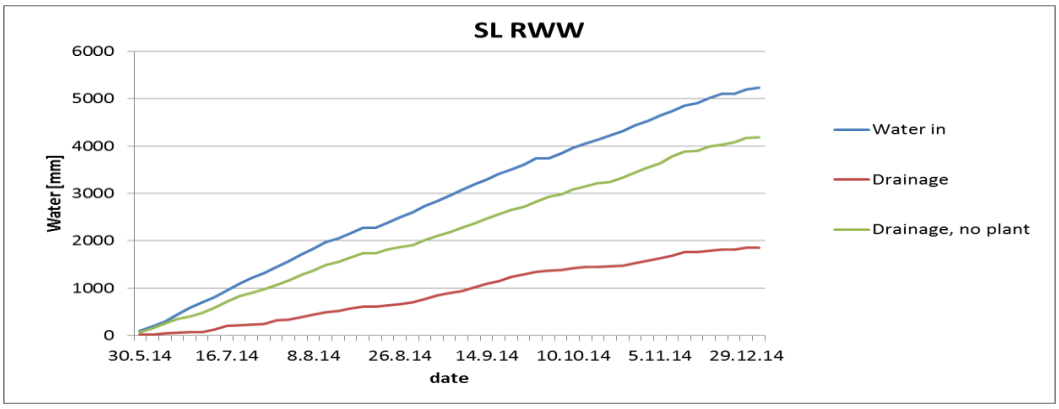
מדדי השקיה, ניקוז ומדדים כימיים בקרקע במים ובנקז בניסוי הליזימטרים בטכניון

<u>מאפייני השקייה וניקוז</u> מוצגים באיורים 12 ו-13. עבור כל טיפול בוצע חישוב של סך המים שסופקו, והמים שנאספו בנקז של הטיפול. חישוב הצריכה ע״י הצמח (אשכוליות) בוצע על בסיס החסרת הצריכה הכוללת ללא צמח (התאיידות קרקע) מהצריכה הכוללת עם צמח – התאיידות מהקרקע + דיות הצמח. כפי שניתן לראות מאיור 12 הצריכה של האשכולית בקרקע החמרה על טיפוליה עמדה על כ-3400 מ״מ לטיפול השפירים, ועל כ-2400 מ״מ לשני טיפולי ההשקיה בקולחים. ערכים אלו יותר מכפולים מערכי הקליטה בשנה הקודמת וזאת בשל גידול משמעותי של האשכולית. מכיוון שמדובר על צמחים ששטח הכיסוי שלהם רחב משמעותית מפני שטח הליזמטרים ראוי גם לקחת בחשבון את הנתון של צריכה בליטרים לצמח. במקרה כזה צריך לחלק את הערכים ב -8, ואז הצריכה לצמח בטיפול השפירים הייתה כ 425 ליטר, ובטיפולי הקולחים כ - 300 ליטר לצמח.

צריכת המים של צמחים על הגרומוסול (איור 13) היתה נמוכה משמעותית בהשוואה לצריכה על חמרה ועמדה על 2300 מ״מ לטיפול הקולחים ועל כ2000 מ״מ לטפול השפירים וללא מובהקות בין הטיפולים ועם סכוי להערכה מוטית בגלל קשיי ניקוז בליזימטרי הבוקרת (ללא צמח). ממצא זה נתמך גם בעוצמת הגידול הנצפית בעין, שהוא נמוך ביחס לצמחים על חמרה וגם מקבל חיזוקים ממצאי בדיקות השורשים ממצאי היבול שמוצגים בהמשך. בכל מקרה חשוב לזכור שמבחינת עומד המים ליחידת שטח, מדובר על ערכים הרבה יותר גבוהים (פי שתיים שלוש ולעיתים יותר) מהמקובל בגידול בשדה וזאת בגלל שטח הפנים של הליזימטר שהוא קטן משטח הכיסוי העלוותי של העץ הגדל בו! משמעות עיקרית לכך היא שעומס השטיפה והעומס של חומרי הזנה ומליחות ליחידת שטח גדולים בהרבה מהמקובל ליחידת שטח בניסוי שדה.

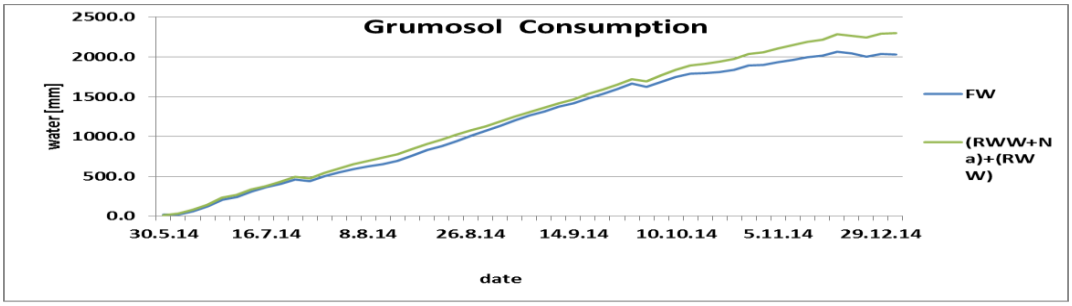


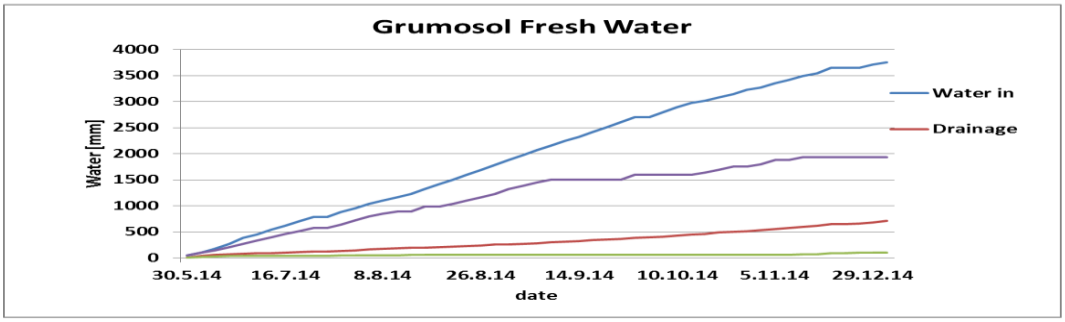


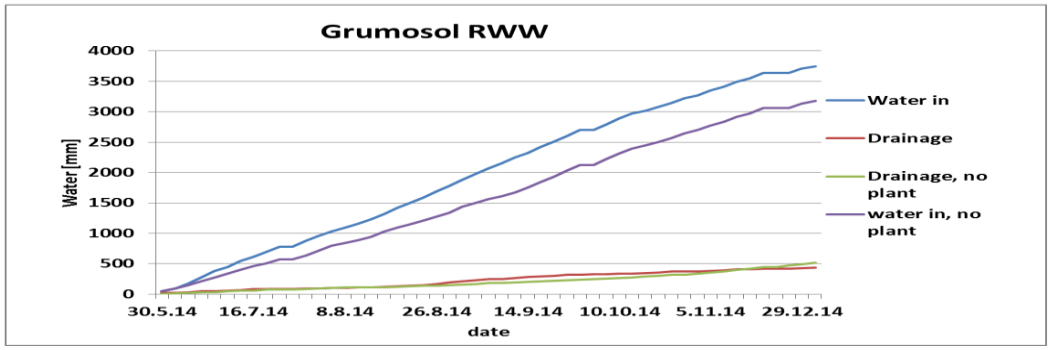


Water in - out		
[liter]	Treatment avg.	Treatment stdev.
FW	8.63	1.33
FW Control	1.04	0.85
RWW +Na	8.64	2.05
RWW	8.65	2.38
RWWC	2.67	2.13

איור 12. מאפייני השקיית קרקע **חמרה** במים שפירים FW לאורך עונת 2013 (עליון)- כמות השקייה מצטברת, כמות מים בנקז טיפול עם צמחים (אדום) ובנקז טיפול בקרת ללא צמחים. בחלק התחתון מוצגת צריכת המים המצטברת לשלושת הטיפולים. חישוב הצריכה על ידי הצמח (דיות) בוצע ביחס לנקז היוצא בטיפולי הבקרת התואמים. הטבלאות בתחתית מציגות ממוצעי הערכים שהתקבלו עבור כל אירועי ההשקייה והניקוז ואת סטיות התקן שלהם. סך הכמות שיושמה לטיפולים דומה. הטיפולים השונים: השקייה ב: שפירים FW, קולחים שלישוניים מנותרנים RWW-Na, קולחים שלישוניים – RWW, וביקורות ללא צמחים FWc ו RWWc.







Water in - out		
[liter]	Treatment avg.	Treatment stdev
FW	8.02	0.71
FWC	7.03	
RWW	8.67	1.14
RWWC	7.03	

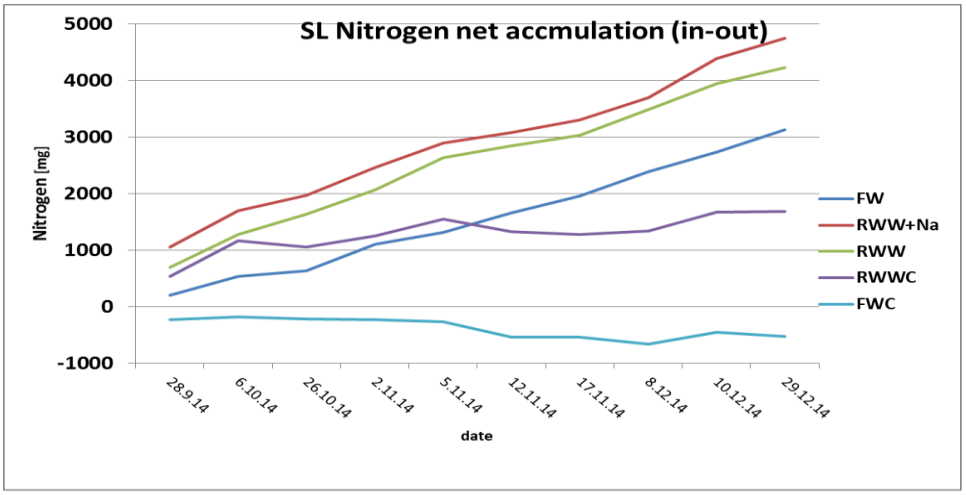
איור 13. מאפייני השקיית קרקע **גרומוסול** קולחים שלישוני RWW לאורך עונת 2013 (גרף עליון)- כמות השקייה מצטברת לטיפול עם צמח וללא צמח (בקרת), כמות מים בנקז טיפול עם צמחים (אדום) וללא צמחים (ירוק). בחלק <u>התחתון</u> מוצגת צריכת המים המצטברת לשני הטיפולים- FW–שפירים ו- RWW קולחים שלישוני (אין טיפול ניתרון). חישוב הצריכה על ידי הצמח (דיות) בוצע ביחס לנקז היוצא בטיפולי הביקורת התואמים. הטבלאות בתחתית מציגות ממוצעי הערכים שהתקבלו עבור כל אירועי ההשקייה והניקוז ואת סטיות התקן שלהם. הכמות שיושמה לטיפולים עם צמח דומה – אבל לטיפולי הביקורת ללא צמחים ניתנו רמות השקייה נמוכות יתר בגלל אילוצי הניקוז

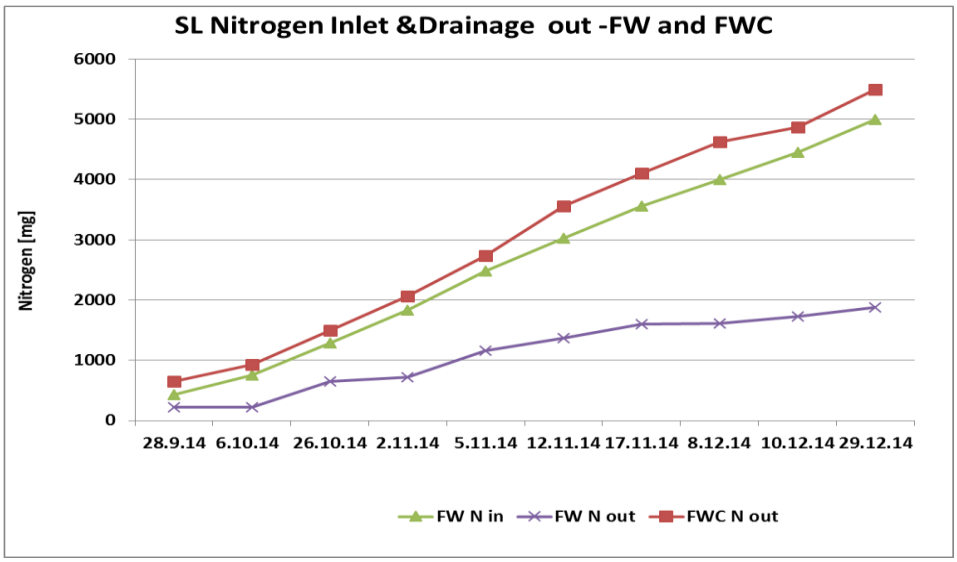
<u>מאזני חנקן והערכת יעילות דישון ומשמעות סביבתית</u> - איור 14 מציג את מאזני החנקן בטיפולים השונים בקרקע החמרה. מכוון שלא ניתן היה לבצע הערכה כמותית מלאה של צבירת חנקן בצמחים בוצעו מאזני חנקן מינרלי כולל ע"י השוואת כמות החנקן שיושם לעומת מה שנאסף בנקז. ההפרש המאזני הוא בעצם הכמות הכוללת שהצטברה בקרקע, או נקלטה בצמח או הלכה לאיבוד כגז וגם סביר מאד שהיא כוללת יצירת חנקן מינרלי ממקור אורגני (מינרליזציה). בקרקע החמרה בולט מאד שהמאזן מאד שונה בין טיפולי ההשקיה עם צמחים – בהם מסתמן שהצבירה הכוללת של חנקן לתקופת ספטמבר דצמבר (עבורה בוצע המאזן בעונה זו)

עומדת בין 3 ל 3.5 ג״ר חנקן לליזימטר שסביר שחלקו הגדול נקלט בצמחים. מסקנה זו נתמכת בצורה משמעותית ביותר לגבי הקרקע שהושקתה במים שפירים שעבורה בולטת העובדה שהמאזן בקרקע הביקורת הוא שלילי – כלומר נשטף בנקז יותר חנקן מזה שניתן במי ההשקייה! זו תוצאה אפשרית של תהליכי מינרליציה של חנקן אורגני שהצטבר בקרקע. זה גם מעיד שבקרקע זו אובדני חנקן גזי נמוכים מאד יחסית שהם בד״כ הסיבה להעלמות מאזנית של חנקן בצורת החישוב שבוצעה על ידנו. במקרה של טיפול הביקורת של השקיה בקולחים (טפול 4 ללא צמח) ניכר מצב הפוך שבו יש אובדן של חנקן מינרלי בסדר גודל של כ- 1 ג״ר לליזימטר שמעיד שבטיפולי הקולחים (ללא צמח) יש אובדני חנקן גזי גבוהים ביחס לטיפול בקורת שפירים ועל כן הצבירה הכוללת של כ-3.5 ג״ר לליזמטר עם צמחים, ייתכן שהיא נובעת גם מאובדן חנקן בדומה לליזמטרי הבקורת או בסדר גודל דומה. או במילים אחרות הקליטה בצמח היא של פחות מ - 3.5 גרם לצמח לתקופה הנבדקת!

בקרקע הגרומוסול (איור 15) התמונה שונה לחלוטין. המאזן מלמד שהכמות שיצאה מחוץ למערכת בנקז טיפולי הקולחים עם צמח וללא צמח היא נמוכה ביותר ועומדת על סדר גודל של כ-100 מג״ר חנקן לליזימטר (ופחות מזה ללא צמח, אם כי מדובר בחזרה אחת בלבד) לתקופת המעקב. בעוד שהצבירה בליזמטרים עם צמחים וללא צמחים עמדה על 3.5 ו 3.3 גרם לליזימטר עבור הטפולים, בהתאמה. מכוון שהצמחים בקרקע זו התפתחו בצורה הרבה יותר איטית מאשר בחמרה ברור שרק חלק קטן מהחנקן נצבר בצמחים. אולם ללא צמחים כמות החנקן שיצאה בנקז זניחה – ועל כן בתנאי הניסוי הספציפיים ניתן להניח שבקרקע ללא צמח חלים אובדנים משמעותיים ביותר של חנקן גזי בדה- ניטריפיקציה, בגלל תנאי הניקוז גרועים ביותר וחוסר אוורור שנובע מאי-קיום צמחים שתורמים ולו באופן חלקי לשיפור האוורור. אמנם מבחינת שטיפה של חנקות מתחת לבית השורשים יש בזה לכאורה יתרון סביבתי, אבל זה בהחלט מעיד על פוטנציאל אובדני חנקן אדיר בקרקע הגרומסול, ובעיקר ללא צמח. ייתרה מזו, ייתכן שחלק מאובדני החנקן מסתיימים ביצירת גז N_2O כפי שנמצא בעבודות שונות עבור קרקעות עם היסטוריית השקיה בקולחים (Bar-Tal et al. 2011). בהקשר זה חשוב לשים לב שבקרקע החמרה בה האובדים הרבה יותר נמוכים נצפתה תופעה הפוכה של שטיפת החנקות לעומק (איור 14), ובמקרים אלו הכרחי לתת הדעת על סכנת שטיפה של חנקן מתחת לבית השורשים וזיהום מי התהום.

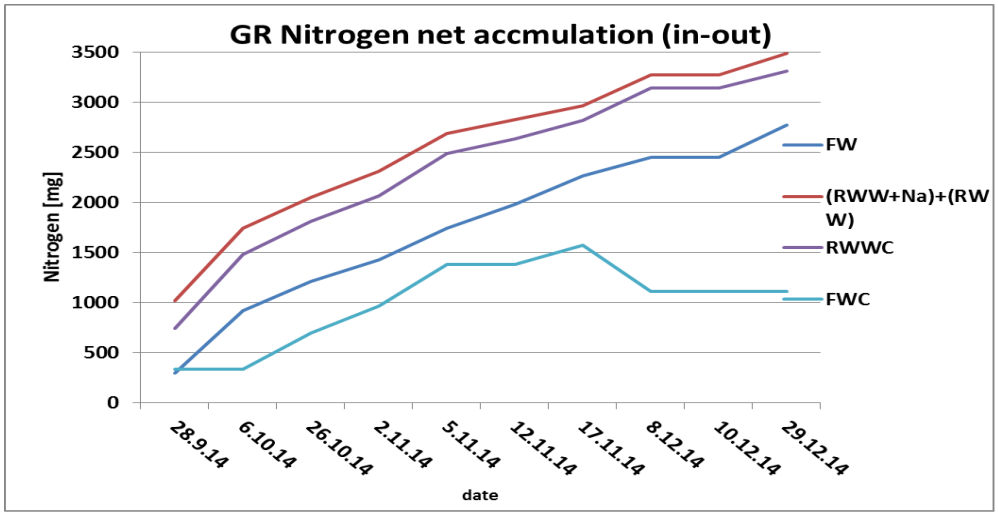
מגמה מעניינת נוספת שניתן לאבחן היא הירידה ברמת האמון בשיכבת הקרקע התחתונה בגרומוסול עם התקדמות הניסוי, מסביבות 98.5 מג״ר חנקן לק״ג (בשני הטפולים) במאי 2013 לערכים נמוכים בין 6 ל- 10 מג״ר חנקן לק״ג קרקע בדצמבר-2014 (טבלה 5, נספח 2). זה מצביע על מעבר מתנאי חיזור חמורים במיוחד במאי 2013 שכנראה הגבירו תהליכי מינרליזציה אנ-אירובית לתהליכים שמאפיינים תנאים פחות חמורים מבחינת החיזור. זה גם בא לביטוי ברמות חנקה גבוהות יותר שנצפו בקרקע הגרומוסול בתחתית הליזמטרים (טבלה 3, נספח 2). גם בחמרה נצפתה מגמה של ירידת האמון בקרקע עם הזמן אלא שכאן השינויים קטנים יחסית ונובעים כנראה גם מצריכה מהירה של האמון בניטריפקציה בגלל תנאי האוורור המשופרים יחסית (טבלה 7, נספח 2). .

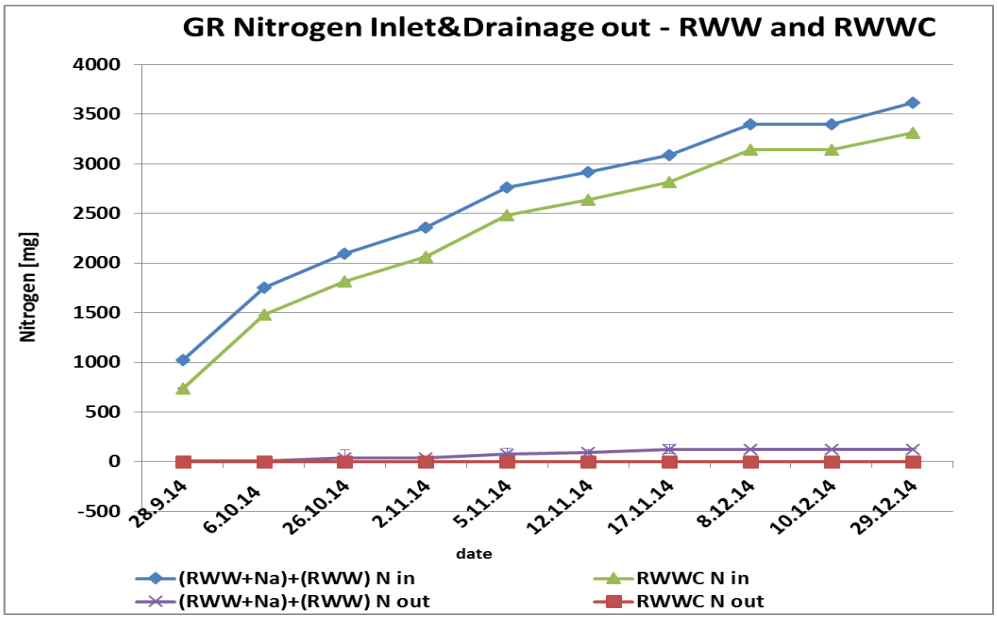




N- net supply,per event					
SL [mg] N	**FW**	**RWW+Na**	**RWW**	**RWWC**	**FWC**
Avg	312.46	474.73	423.06	169.17	-52.40
stdev	81.87	63.93	61.04	62.70	
precentage [%]	26.20	13.47	14.43	37.07	

איור 14. מאזני חנקן **חמרה** : בחלק עליון מוצגים מאזני ההפרש בין התשומה הכוללת של היסוד לחנקן היוצא בנקז- בכל טיפול. החישובים מתייחסים לתקופה סוף ספטמבר – סוף דצמבר (בגלל תקלות בחלק מהמדידות בתקופה שקדמה לזה). בחלק התחתון מוצגת כמות החנקן המצטברת שיצאה בנקז הטיפולים השונים. שמאל – חמרה, ימין-גרומוסול. הטבלה בתחתית מציינת ערכים ממוצעים וסטיות תקן (כולל אחוז סטיית התקן). שהתקבלו עבור. הטיפולים השונים: השקייה ב: שפירים FW, קולחים שלישוניים מנותרנים RWW-Na, קולחים שלישוניים – RWW, וביקורות ללא צמחים FWc ו RWWc.





N- net supply,per event

Grumosol [mg] N	FW	RWW	RWWC	FWC
Avg	207.60	261.55	165.62	55.35
stdev	146.72	172.90	234.22	143.64
precentage [%]	70.67	66.11	141.42	259.52

איור 15. מאזני חנקן – **גרומוסול** בחלק עליון מוצגים מאזני ההפרש בין התשומה הכוללת של היסוד לחנקן היוצא בנקז- בכל טיפול. החישובים מתייחסים לתקופה סוף ספטמבר – סוף דצמבר (בגלל תקלות בחלק המדידות באנלייזר בתקופה שקדמה לזה). בחלק התחתון מוצגת כמות המצטברת שיצאה בנקז , ארוע בודד, בטיפולים השונים. הטבלה מציינת ערכים ממוצעים וסטיות תקן (כולל אחוז סטיית התקן) שהתקבלו עבור השקייה בודדת. הטיפולים השונים: בקרקע גרומוסול GR (איור תחתון)– על טיפולי שפירים FW, קולחים שלישוניים – RWW והביקורות שלהם ללא צמחים FWc ו RWWc.

<u>מאזני זרחן והערכת יעילות</u> - כמות הזרחן שיושמו בשנת 2014 היו גבוהות ביחס לשנה הקודמת: בליזמטרים עם חמרה עמדו של סדרי גדול של כ-3300 מג״ר זרחן מינרלי לליזימטר בשפירים וכ-20% פחות זרחן מינרלי בקולחים. אבל הכמות הכוללת די דומה בשני הטיפולים בגלל תרומה תוספת של זרחן אורגני בקולחים.

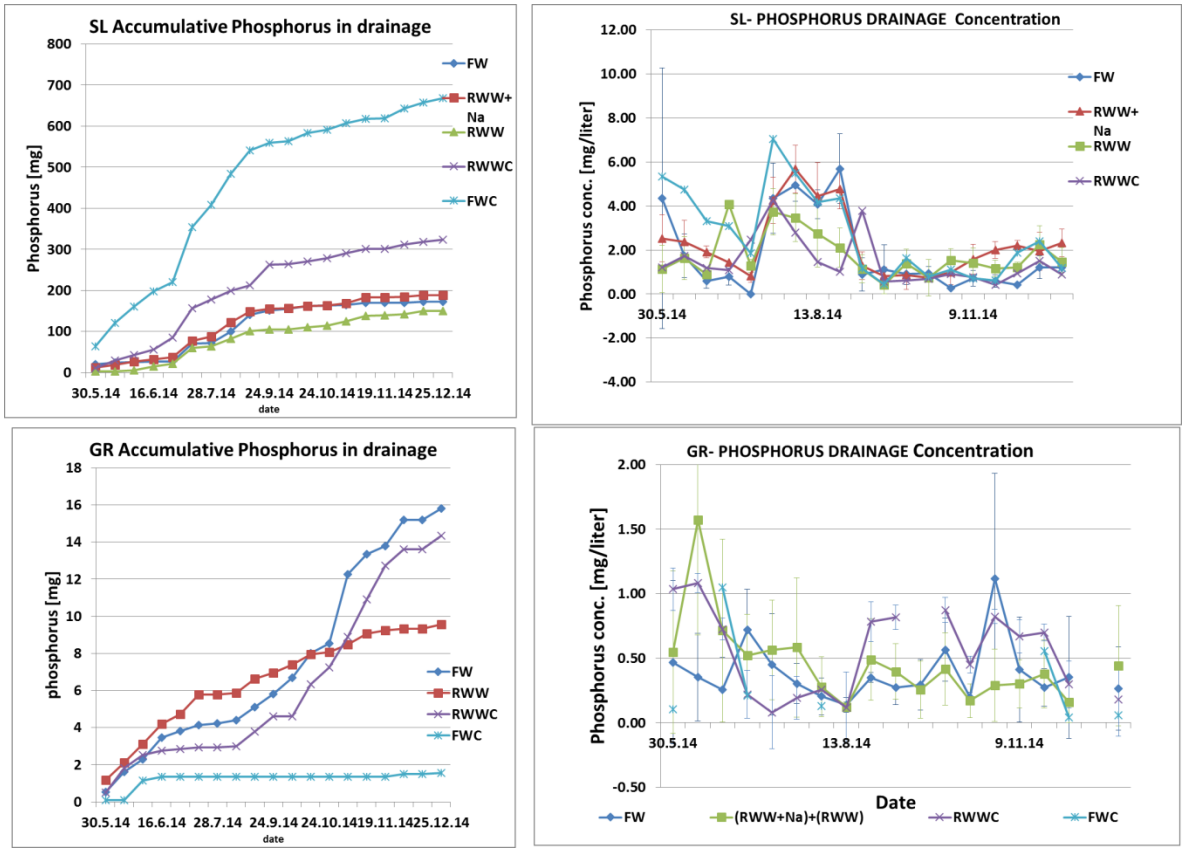
בגרומוסול יושמו רמות כוללות נמוכות יותר (צריכת מים נמוכה יותר) ואלו עמדו על 2200 מג״ר זרחן מינרלי בשפירים וכ-10% פחות בקולחים. בדומה לתוצאות בשנת הניסוי הראשונה בקרקע הגרומוסול מרבית הזרחן נותרה בקרקע (איור 16) ויש להניח שרק חלק קטן ממנה גם נקלט בצמח. השטיפה בנקז עומדת על סדר גודל של כ-14-18 מיליגרמים לליזימטר לכל העונה, כלומר פחות מאחוז מהחומר שיושם. זה מעיד על תהליכי קיבוע משמעותיים ותנועה איטית ביותר מחוץ לבית השורשים, כצפוי לזרחן. במקרה של החמרה, נצפתה שטיפת זרחן הרבה יותר משמעותית, עם צמחים כ-150-200 מג״ר זרחן, וללא צמחים בקולחים ושפירים 320 ו- 650 מג״ר בהתאמה. בטיפולי הביקורת רק שתי חזרות וייתכן שהבדל זה אינו מובהק וגם קשה להסביר אותו מבחינה כימופיזיקלית אלא אם מניחים תהליכי קיבוע נמרצים יותר בנוכחות הקולחים.

ניידות הזרחן בחמרה ניכרת היטב לעומת הגרומסול, הן בשטיפה והן ברמות הזרחן שנמדדו בשלושה עומקים בליזמטרים כפי שניתן לראות השוואת נתוני טבלאות בנספח 2 (טבלאות 1 מול 2, 3 מול 4 ו 5 מול 7). בכולן ניכרת ירידה דרמטית ברכוזי הזרחן המסיס במים עם עומק הליזמטר בגרומוסול, וכמעט ללא הבדלים במקרה של החמרה. ובעצם זו מגמה דומה למה שנצפה בשנה הקודמת למרות כמויות מי ההשקייה הגבוהות יותר שניתנו לליזימטרים במהלך 2014.

טבלאות 5 (גרומוסול) ו 7 (חמרה) בנספח 2 מציגות שינויים שחלו ברמות הזרחן שנמדדו בדיגומי הקרקע לאורך ציר הזמן, מהדיגום במאי 2013 ועד נובמבר 2014. וניכרים כאן שינויים לאורך צירי הזמן של עלייה וירדה ברמות הזרחן שחלקן נובעות משטיפה וצריכה יעילה בחמרה, ואילו חלקם מתהליכי קיבוע מוגברים בגרומסול. אבל המגמה הכללית של תנועה מואצת יחסית של זרחן בחתך קרקע החמרה מול תנועה איטית מאד וקיבוע בגרומוסול ממשיכה להיות המגמה העיקרית והבולטת.

ראוי גם לשים לב לרמות הזרחן במי הנקז (איור 16): בחמרה הם בטווח שבין 2 ל-6 מג״ר זרחן לליטר בין מאי לאוגוסט 2014 ובספטמבר יש ירידה לרמה שבין 0 ל-2 מג״ר זרחן לליטר, שנובעת כנראה מהגברת הצריכה ע״י הצמחים. בתקופה זו ניכרת מגמה של רמות זרחן גבוהות יותר בנקז בטיפול הקולחים מועשרי הנתרן – שייתכן ואלו עלולים לנבוע מהגברת מסיסות הזרחן בגלל עלייה מסוימת בהגבה (בגלל הניתרון המוגבר). רמות הזרחן בנקז הגרומוסול נמוכות משמעותית ונמצאות החל מיוני 2014 בטווח שבין 0.2 ל 0.7 מג״ר זרחן לליטר.

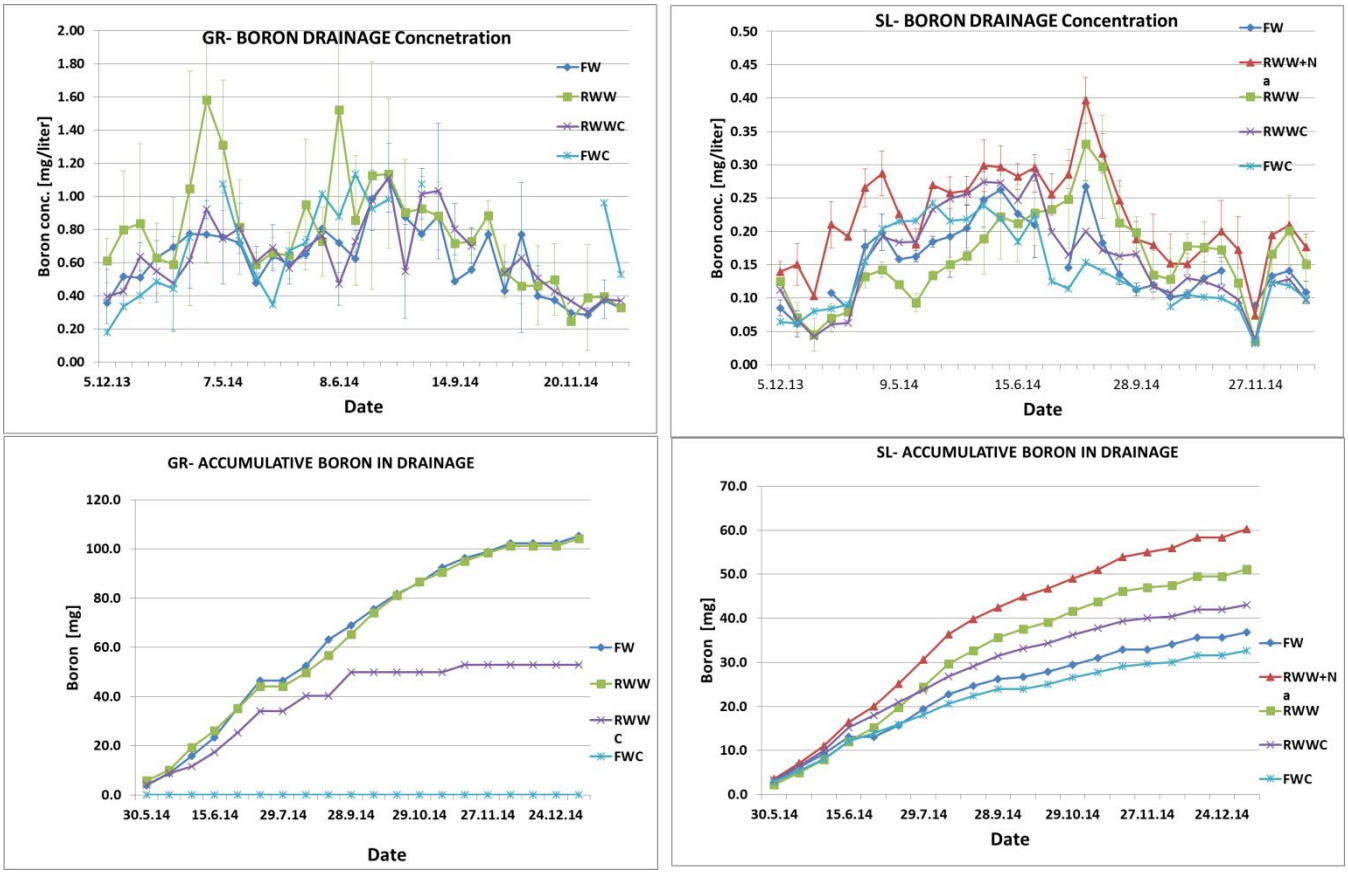
<u>מאזני בורון ושינויי בורון -</u> כפי שניתן לראות באיור 17 – ריכוזי הבורון בנקזי קרקע החמרה על טיפוליה נעו סביב 0.1-0.2 מג״ר לליטר, בעוד שבגרומוסול הרכוזים היו גבוהים בכמעט סדר גודל. במיוחד בלטו הרכוזים הגבוהים שנימדדו תחת השקייה בקולחים בנוכחות צמחים בהשוואה לשאר הטיפולים. ברם, יש כאן סטיות תקן גדולות, אבל ללא ספק המגמה ניכרת. בקרקע החמרה מסתמנת מגמה של רמות בורון נמוכות יותר בליזמטרים ללא צמח – אבל צריך לזכור שמכוון שאלו קיבלו רמות השקייה דומות, היה גם אפקט מיהול גדול יותר של הנקז היוצא! ואכן בהתבוננות בכמויות המצטברות שיוצאות מן הליזמטרים בחמרה – כמות הבורון גבוהה יותר מפי 2 בנקז ליזימטרים ללא צמח בהשוואה לאלו שעם הצמח, וזה יכול להיות מיוחס לקליטה שלו בצמחים. בגרומוסול לא ניכרו הבדלים בטיפולים השונים בכמות המצטברת שיצאה בנקז.



איור 16. מאזני וריכוזי זרחן בנקז הטיפולי השונים **בחמרה (SL)** (עליון) **ובגרומוסול (GR)** (תחתון). המדידות עבור התקופה מאי –דצמבר 2014. הטיפולים השונים: השקייה ב: שפירים FW, קולחים שלישוניים מנותרנים RWW-Na, קולחים שלישוניים – RWW, וביקורות ללא צמחים FWc ו RWWc, וקרקע גרומוסול GR (איור תחתון)– על טיפולי שפירים FW, קולחים שלישוניים – RWW והביקורות שלהם.

שימוש בשיטת Azomethine-H method (Lopez et al., 1993) לקביעת בורון זמין בדגימות ריזונים שבוצעו במהלך 2013 מלמד שיש בשיטה כלי לאפיין הבדלי זמינות בין טיפולים שונים. אבל מסתבר שאלו ניכרים במיוחד בהבדלים שבין קרקעות עם צמחים וקרקע ללא צמח. רמת הבורון הזמין – היא בערך פי שלוש בנוכחות הצמחים בחמרה ופי 1.2 בגרומוסול (טבלה 8, נספח 2). ייתכן שיש כאן השפעה של פליטות השורשים שלהם השפעה על העלאת זמינות הבורון בתגובה עם המולקולות האורגניות.

המגמה הזאת של ירידת הזמינות ללא נוכחות צמחים מסתמנת גם בבדיקות הקרקע הישירות שבוצעו על דיגומי הליזמטרים– ובמיוחד באלו שבוצעו בנובמבר 2013 – בסיום עונת ההשקייה (טבלה 6, נספח 2). השוואה בין טבלה 7 בנספח 2 (דגום מאי 2013) שבה בוצעו בדיקות קונבנציונאליות של רכוז בורון במיצוי מימי לטבלה 8 בנספח 2 מלמדת שגם במיצוי המימי יש ירידה ברמת הבורון בקרקע במהלך כ4-5 חודשי ההשקייה בקולחים. בעוד רכוזי הבורון במיצוי קרקע עם צמחים נעים בין 0.20 ל 0.25 מג״ר בורון לליטר (בכל הטיפולים הן של שפירים והן של קולחים בטבלה 8, נספח 2) . ואילו ללא צמחים טווח הרכוזים במיצוי המימי יורד ל0.13-0.18.



איור 17. שינויים בריכוזי בורון בנקז חמרה (שמאל עליון) ונקז גרומוסול (ימין עליון), ובחלק התחתון מוצגת כמות בורון מצטברת שנאספה בנקז: שמאל תחתון – חמרה, ימין תחתון גרומוסול, עבור הטיפולי השונים.

מגמה משמעותית נוספת שבולטת היא הירידה ברכוזי הבורון במיצויי הקרקע לאורך הדיגומים ממאי 2013 ועד נובמבר 2014 בגרומוסול (טבלה 8, נספח 2). כוון דומה ניתן לראות בגרומוסול בבדיקות הבורון הזמין (בשיטת Azomethine-H method) שבו ניכרת ירידה משמעותי ברכוזו מנובמבר 2013 ל 2014 בגרומוסול. חשוב לזכור שרמת הבורון שמסופקת במי ההשקייה נעה בין 0.12 ל 0.16 מג״ר לליטר במים השפירים ובקולחים בהתאמה. משמעות התוצאות היא שבמהלך ניסוי הליזמטרים השתחררו רמות גבוהות של בורון מהקרקע ואלו היו בגרומוסול בסדר גודל יותר ממה שניתן במי ההשקייה! אבל לאורך הניסוי ניכרת ירידה של הבורון המשתחרר בפקטור 3 בגרומוסול ובפקטור גבוה יותר בחמרה (טבלה 8, נספח 2). ברמת המסקנה הפרקטית – בקרקעות כבדות שנחשפו לרמות בורון גבוהות במהלך השנים (במיוחד לפני חדירה משמעותית של התקנות להקטנת הבורון בדטרגנטים, כלומר מתחילת שנות ה-2000), ובהן חלה צבירה של הבורון, תידרש תקופה של מספר שנים עד לשחרור הבורון שנספח והתקבע בקרקע לרמות שלא תזקנה לצמח.

<u>שינויי SAR וניתרון -</u> על מגמות והשינויים של ה- SAR עם הזמן והטיפולים בקרקעות ניתן ללמוד באיור 18. כאן בולטת העלייה החדה עם הזמן בערכי ה- SAR בטיפולי החמרה. העלייה החדה ביותר הייתה ב2013 עם תחילת ההשקייה במרץ. בקולחים עשירי הנתרן הייתה עלייה מ-2 לכדי 12-13 (מ״אק לליטר$^{1/2}$). עלייה ניכרה גם בשאר הטיפולים אבל היא פחות דרמטית ובעצם דגם העלייה ב- SAR מקביל לעלייה החדה בצריכת המים. המגמה הזו באה לידי ביטוי גם בעונת ההשקיה של 2014 (החל מחודש מאי 2014), אם כי היא פחות דרמטית וזאת משום שמי הגשמים של חורף 2013/2014 שטפו חלקית את הנתרן. אבל ללא ספק ניכר מאד שמה שרואים כאן הוא עלייה ברמת הצריכה של המים מחד ותהליכי התייבשות קרקע בגלל הצריכה,

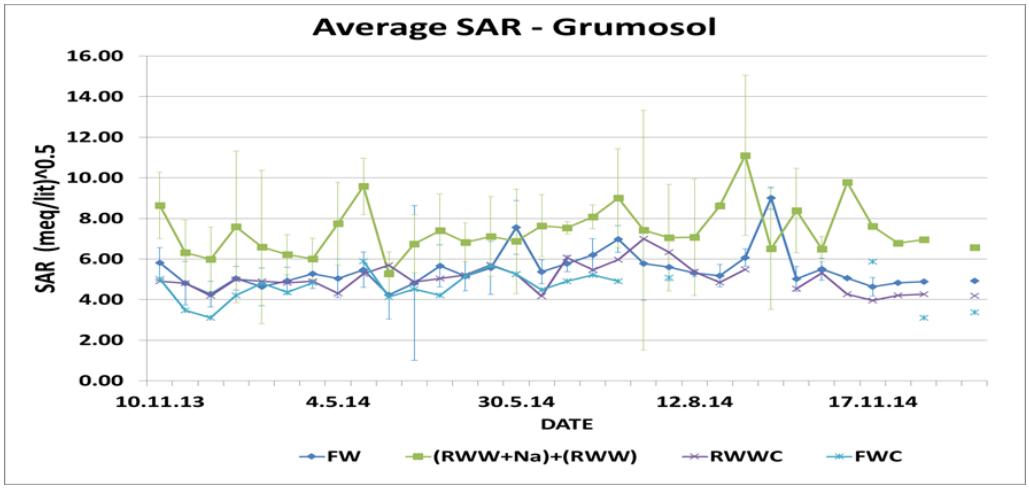
שגורמת לעלייה אקספוננציאלית ב SAR (חשוב לזכור שהנתרן נמצא בביטוי זה בחזקת 1, והסידן והמגניון בחזקת ½). ההעשרה של הקולחים בנתרן גרמה לעלייה החדה ביותר ב- SAR, לאחר מכן הקולחים השלישוניים (סביבות 10) ואח"כ השקיה בשפירים (סביב 8). ללא צמחים (ללא התייבשות) הערכים עלו לסביבות 4 בלבד!

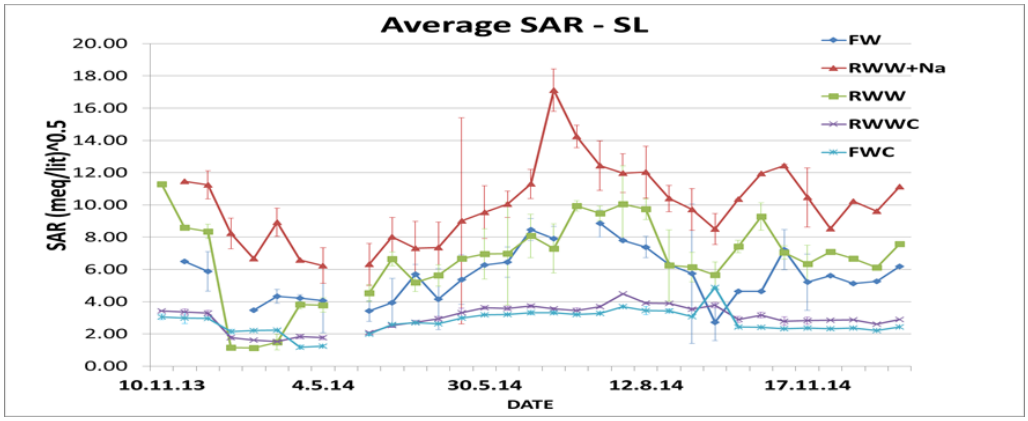
בגרומוסול התמונה מורכבת בהרבה, אבל גם כאן ניכרת רמת SAR יותר גבוה בטיפול קולחים שמגיעה לשיא בטווח של שבין 8 ל 10 (מ.א. לליטר$^{1/2}$). חשוב לזכור שערכי ה- SAR במי ההשקיה נעים בין 3.1 (שפירים) ל 5.8 (קולחים מנותרנים) - מ.א. לליטר$^{1/2}$.

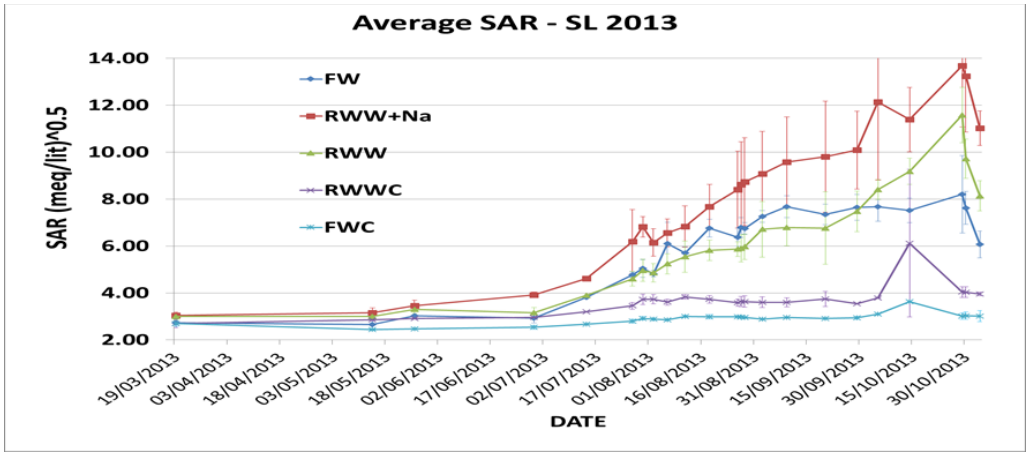
<u>שינויי מוליכות חשמלית וערך הגבה -</u> כפי שעולה מאיור 19 – המוליכות החשמלית בטיפולי קרקע החמרה שונה מאד בין הטיפולים ומשתנה חזק עם עונות השנה וההשקיה מנובמבר 2013 ועד דצמבר 2014. זה גם מעיד גם על יעילות השטיפה. הקולחים המנותרנים גרמו לעלייה משמעותית במוליכות החשמלית מסביבות 6 ביולי 2013 ל- 7-8 דס'/למטר בסוף אוקטובר 2013. הגשמים הורידו את הערכים אל מתחת ל- 2! בקולחים רגילים העלייה בקיץ 2013 הייתה מסביבות 4.5 לערכים דומים של 7 דס'/למטר לקראת סוף ההשקיה וגם כאן ניכרה ירידה דרמטית בעיקבות גשמי חורף 2013. בהשקייה במים שפירים המוליכות עמדה על סביבות 4-4.5 לאורך תקופת ההשקייה בקיץ 2013. ובטפולים ללא צמח – המוליכות עמדה סביבות 2 בשפירים וסביבות 2.5 דס'/מטר בקולחים. התוצאות בשנת 2014 מלמדות על עלייה במוליכות בכל טיפולי ההשקייה עם צמחים אם כי לטיפול הקולחים הנתרניים יש עליה מעט חדה יותר. טיפולי הביקורת מלמדים, כצפוי, שבעצם ללא צמחים אין כמעט שינויים בערכי המוליכות ביחס למוליכות שבמי הטפטפות שנעו ב2014 בין 1.3 (שפירים) ל- 1.8 דס'/למטר (בקולחים הנתרניים).

המגמות בגרומוסול לא מלמדות על שינויים חדים בין החורף לקיץ, אבל ניכרת מגמה של רמות משמעותית יתר גבוהות בטיפול הקולחים בין 4 ל 5.5 דס'/למטר במהלך 2014 בעוד שטיפול המים השפירים היו סביבות 2.5 לכוון 3.5 דס'/למטר. רמות ההמלחה הנמוכות יותר ביחס לחמרה נובעות בעיקר בגלל קצבי הצימוח הנמוכים יותר בגרומוסול.

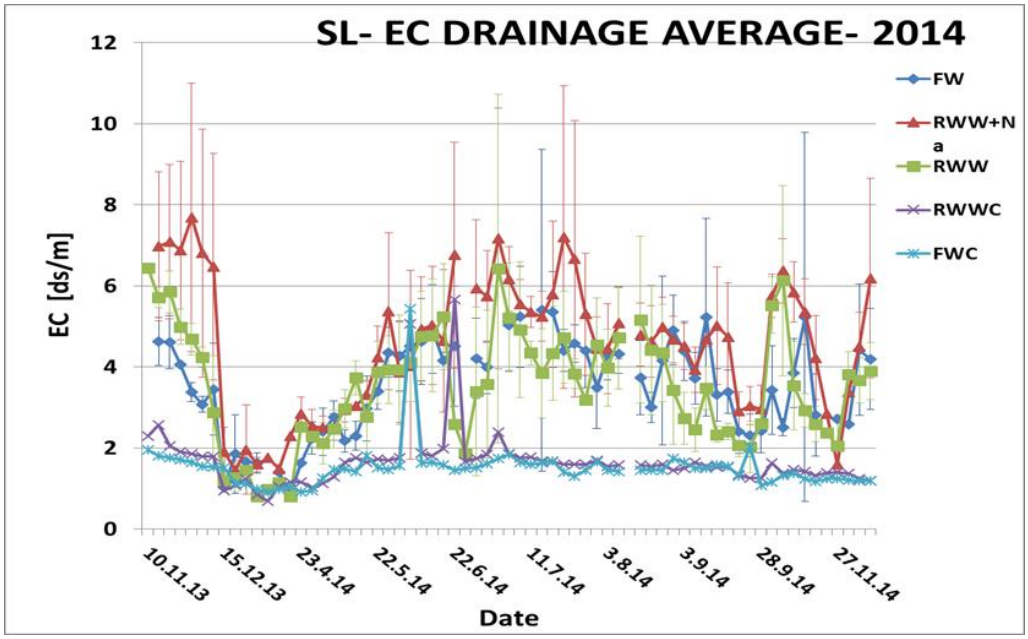
ערכי ההגבה (איור 20 בנספח 2) מצביעים על הבדלים לא מובהקים בין הטיפולים בקרקע נתונה עם מגמה שטיפולי הניתרון בחמרה בולטים בערכים גבוהים יותר בחלק מהזמן. בכל מקרה הערכים התחילו מסביבות 9 וירדו לקראת סוף הניסוי לטווח שבין 8-8.5 שהוא טווח ללא ספק גבוה יחסית לקרקע חמרה. בגרומוסול הערכים היו בסביבות ה -9, עם נטייה של ערכים מעט יותר גבוהים במקרה של הקולחים, וערכים מעט יותר נמוכים במקרה של השקיה בשפירים.

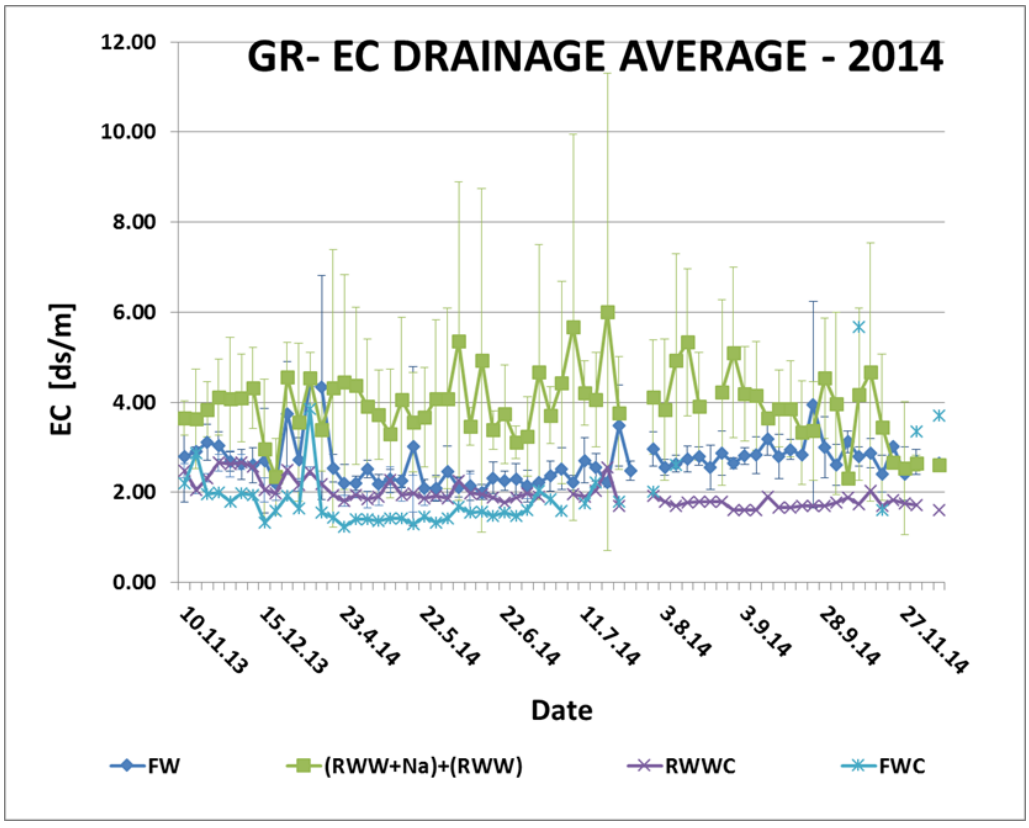




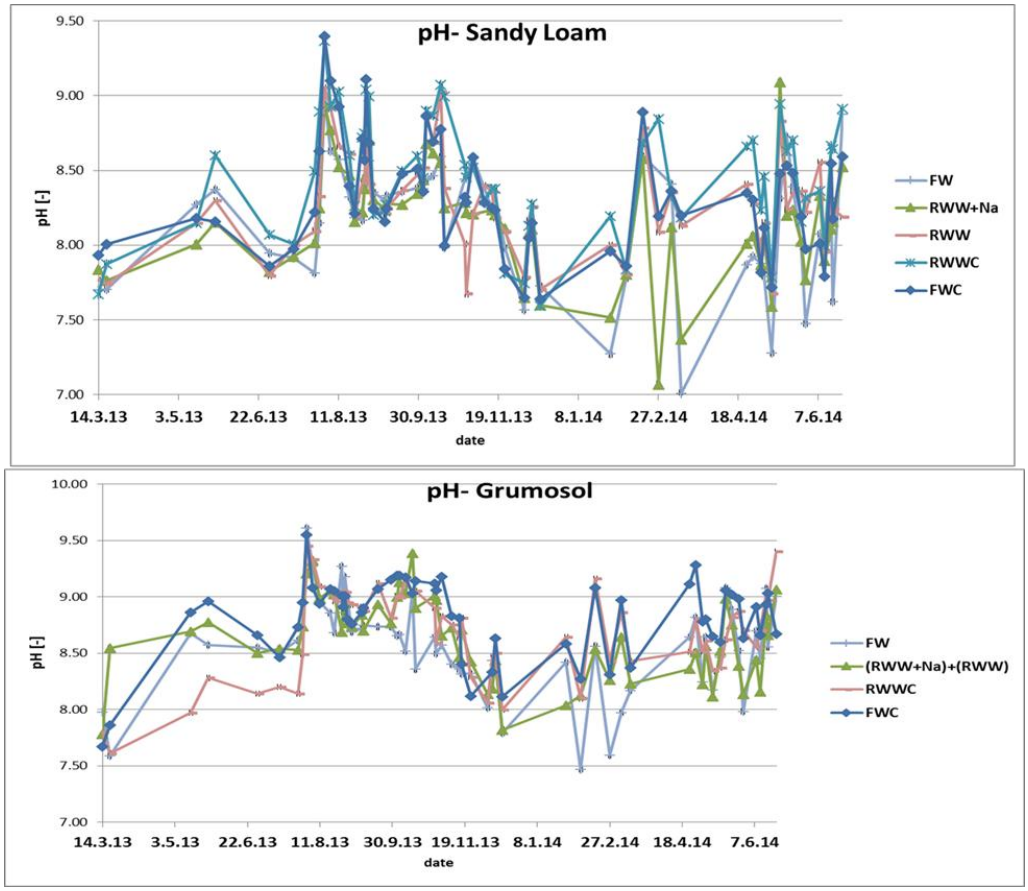


איור 18. שינויי SAR ב-2013 וב- 2014 בנקז קרקע גרומוסול (גרף עליון) וחמרה (שני גרפים תחתונים). הטיפולים השונים- השקייה בחמרה: שפירים FW, קולחים שלישוניים מנותרנים RWW-Na, קולחים שלישוניים – RWW, וביקורות ללא צמחים FWc ו RWWc, וקרקע גרומוסול GR– על טיפולי שפירים FW, קולחים שלישוניים – RWW והביקורות שלהם.





איור 19. שינויי מוליכות חשמלית בנקז במעבר מחורף 2013 לסוף 2014, עבור קרקע חמרה איור עליון (SL) על 5 הטיפולים השונים. השקייה ב: שפירים FW, קולחים שלישוניים מנותרנים RWW-Na, קולחים שלישוניים – RWW, וביקורות ללא צמחים FWc ו RWWc, וקרקע גרומוסול GR (איור תחתון)– על טיפולי שפירים FW, קולחים שלישוניים – RWW והביקורות שלהם.



איור 20. שינויי pH עבור נקז חמרה (עליון) ונקז גרומוסול (תחתון). הטיפולים השונים- השקייה בחמרה: שפירים FW, קולחים שלישוניים מנותרנים RWW-Na, קולחים שלישוניים – RWW, וביקורות ללא צמחים FWc ו RWWc, וקרקע גרומוסול GR– על טיפולי שפירים FW, קולחים שלישוניים – RWW והביקורות שלהם.

<u>איפיון נקז במהלך ארוע גשם משמעותי -</u> במהלך פברואר 2014 (תאריכים 12-15 לחודש) היה אירוע גשם חזק באזור חיפה שבעקבותיו נאספו כמויות נקז משמעותיות. לאור ההבחנה שיש הבדלי בצבע מי הנקז בעיקר בקרקע החמרה, הנחנו שזה נובע מתהליכי הרס מבנה והרחפה של קולואידים. בעקבות השערה זו נבדקו במי הנקז רכוזי הבורון היוצא, ערכי המוליכות החשמלית וגם וערכי העכירות NTU שמייצגים של תופעת הרס מבנה אגרגטים והרחפה קולואידלית. בעוד שבגרומוסול לא אובחנו הבדלים משמעותיים בין הטיפולים, נמצאו בחמרה הבדלים ברורים ואלו מוצגים בטבלה 9 בנספח 2. ערכי העכירות בטיפול הקולחים השלישוני המנותרן עמדו על 115 לעומת 69 בהשקייה בקולחים בלבד, ורק 33 במים שפירים! ללא צמח נמדדו ערכים של 52 תחת שפירים ו-55 תחת קולחים. ללא ספק להשקייה במים נתרניים יש השפעה חזקה על הרס תלכידים שמגבירה הסיכוי להרחפה, וגם ההבדל בין הקולחים השלישוניים למים השפירים היה ברור.

גם ברכוז הבורון במים ניכרו הבדלים (לא גדולים): 0.13 עבור שפירים ו- 0.14 ו- 0.16 מג״ר בורון לליטר לקולחים שלישוני וקולחים שלישוני מנותרן בהתאמה. גם כאן נצפתה מגמה שהניתרון מגביר פליטת הבורון מהקרקע. ללא צמחים היתה פליטה של 0.08 ו- 0.09 - גמ״ר בורון לליטר- וגם תופעה זו תואמת ממיצאים נוספים שעל פיהם – פעילות השורשים עשוייה להגביר שיחרור בורון מהקרקע. כצפוי גם ערכי המוליכות החשמלית הראו המלחה גבוה יותר בטיפולי הקולחים (בעיקר הנתרני) וגם תמיכה בממצאים קודמים שללא צמחים ההמלחה הרבה יותר נמוכה.

<u>שינויים בחומר אורגני -</u> לאלו ניתן להתייחס בעיקר על פי המדידות שבוצעו בריזונים בעונת 2013 (דוח שנה 2) ושם בוצעה לראשונה הערכת מאפיינים של החומרים האורגניים באמצעות הפרמטרים של בליעת אור. הפרמטר Light absorption at λ 254 nm, מהווה אינדיקציה לרמת החומר האורגני הנייד (מובילי) בקרקע. והפרמטר -- **e4/e6 -** [Ratios of light absorption at λ 465 and 665 nm, indicating DOM condensation aromaticity (maturation)]. (פרוט לגבי הפרטמרטים הללו: Buffle and Leppard, 1995; Chen et al. 1977; Ghosh and Schnitzer, 1979; Shirshova et al. 2006).

התוצאות בגרומוסול של הערכת החומר האורגני המומס באמצעות הבליעה- λ 254 nm מלמדות על מגמה ברורה של אינדקס חומר אורגני זמין נמוך יחסית לחמרה (טבלה 8, נספח 2). בנובמבר 2013 התקבלו ערכים שבין 0.34 ל-0.52 וללא הבדל משמעותי בין טיפולי ההשקייה, אבל ללא צמחים הערכים היו נמוכים יותר – 0.27. בנובמבר 2014 יש עלית מה בערכים ואלו מעט יותר גוהים בהשקיית קולחים (0.64 ו-0.88) מול 0.51 בשפירים. ללא צמחים הערכים שהתקבלו עמדו על 0.28 מה שמעיד על תרומת הצמח לנושא החומר האורגני הזמין בקרקע!

בחמרה יש בעיקר תוצאות ב- 2014 (טבלה 8) והן מלמדות על ערכים של פי 5 יותר גבוהים ביחס לגרומוסול. בקרקע זו התפתחות הצמחים הייתה הרבה יותר אינטנסיבית וגם תהליכי האוורור וחילוף החומרים היו הרבה יותר יעילים.

היחס **e4/**e6 **-** שמלמד על מידת הקונדנסציה וארומטיזציה מוגברות ככל שהוא גבוה יותר מציג הבדלים ניכרים בין הקרקעות (טבלה 8). ב2014 הערכים שנמדדו בגרומוסול היו פי 3-2 גבוהים ביחס לחמרה, ויתכן שגם שינויים אלו נובעים מקצבי צימוח ושינויים בפעילות הביוכימית בין שני סוגי הקרקעות.

מדדים פיזיולוגים בעצים

<u>צימוח ופעילות שורשים</u> - בקרקע החרסיתית (גרומוסול) התארכות השורשים ומספרם היו נמוכים באופן משמעותי בהשקייה בקולחים מאשר בשפירים, כאשר השפעת סוג המים התגברה עם הזמן (ליזימטרים ושדה), והייתה מוקדמת יותר בליזימטרים מאשר בשדה, אך בקרקע החולית (חמרה) השפעת סוג המים הייתה קטנה יותר ולא קבועה (איור 21). תוספת של מלח נתרני גרמה לירידה מובהקת בהתארכות ומספר השורשים בקרקע חולית בשנה השניה לניסוי (איור 21). בנוסף למדדים המוצגים כאן נמדדו הבדלים בין השורשים בהשקיה בסוגי המים השונים ובין הקרקעות במורפולוגיה של השורשים, קוטר, שטח פנים, שינויים אנטומים כמו היחס בין קוטר הגליל המרכזי לקוטר השורש, נשימת שורשים והמוליכות ההידראולית של השורשים (התוצאות אינן מוצגות כאן).

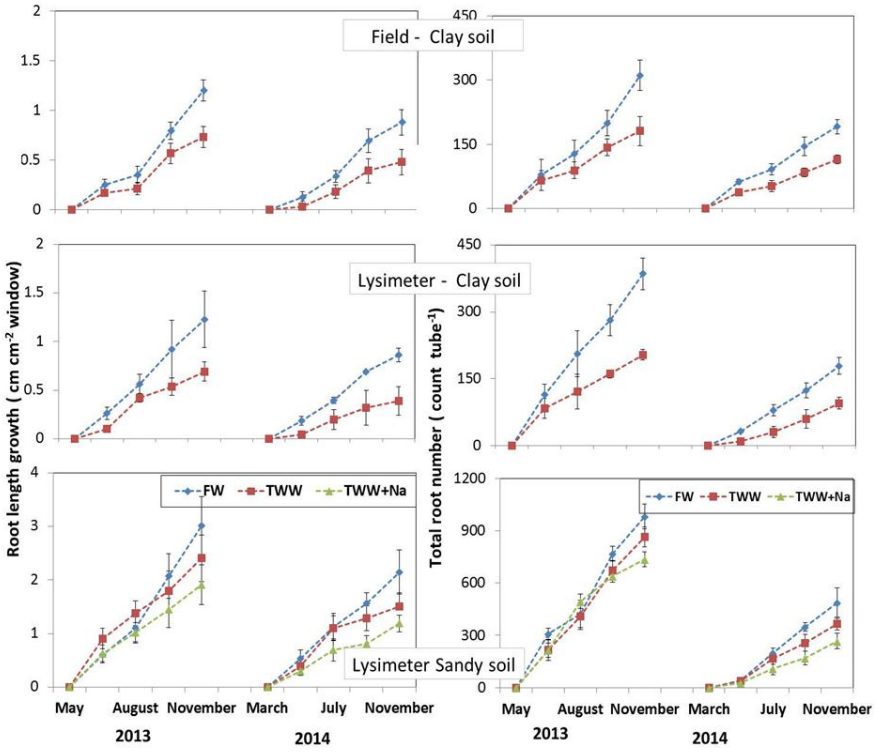
<u>קליטת מים ויחסי צמח-קרקע-מים</u> - בקרקע החרסיתית (גרומוסול) קליטת המים ופוטנציאל המים בגזע היו נמוכים באופן משמעותי בהשקייה בקולחים מאשר בשפירים (ליזימטרים ושדה), כאשר בליזימטרים ההשפעה התקבלה מוקדם יותר מאשר בשדה, אך בקרקע החולית (חמרה) השפעת סוג המים הייתה קטנה יותר ולא קבועה (איור 22). תוספת של מלח נתרני גרמה לירידה מובהקת קליטת המים ופוטנציאל המים בגזע בקרקע החולית (איור 22). השפעת מקור המים הייתה חזקה יותר בקיץ מאשר בחורף. קליטת המים ומדדים הקשורים בה, פוטנציאל המים בגזע (Ψ_{stem}) ופוטנציאל המים בקרקע, הצביעו על כך שהקרקע הייתה רטובה באופן דומה אבל קליטת המים קטנה עם הירידה בפוטנציאל המים בגזע ובעלה (התוצאות של פוטנציאל המים בקרקע ובעלה אינן מוצגות כאן). מדדים נוספים שהושפעו ממקור המים וקשורים לקליטת

מים ופוטנציאל המים בצמח היו: הרכב התמיסה בקסילם (אשלגן נמוך יותר וכלור גבוה יותר בהשקיה בקולחים), צימוח קטן יותר של עלים וענפים (התוצאות אינן מוצגות כאן).

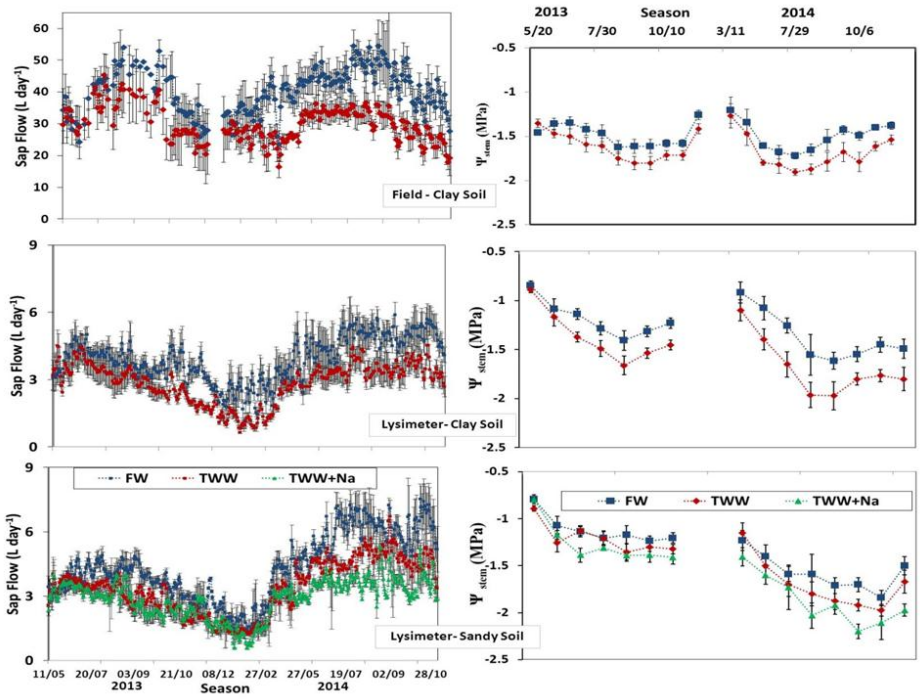
<u>פוטוסינטיזה וחילוף גזים</u> - בקרקע החרסיתית (גרומוסול) הפוטוסינטיזה בעלים ומוליכות הפיוניות היו נמוכים באופן משמעותי בהשקייה בקולחים מאשר בשפירים (ליזימטרים ושדה), כאשר בליזימטרים ההשפעה התקבלה מוקדם יותר מאשר בשדה, אך בקרקע החולית (חמרה) השפעת סוג המים הייתה קטנה יותר ולא קבועה (איור 23). תוספת של מלח נתרני גרמה לירידה מובהקת בפוטוסינטיזה בעלים ובמוליכות הפיוניות בקרקע החולית (איור 23). השפעת מקור המים הייתה חזקה יותר בקיץ מאשר בחורף. הירידה בפוטוסינטיזה בעלים ובמוליכות הפיוניות נמצאת בקורלציה לעליה בפוטורספירציה, ירידה במוליכות של המזופיל וירידה ביעילות השימוש באלקטרונים באתרי הקרבוקסילציה (התוצאות אינן מוצגות כאן).

<u>הרכב מלחים בעלים והשורשים</u> –בקרקע החרסיתית (גרומוסול) ריכוזי הנתרן והכלוריד בעלים היו גבוהים באופן מובהק בהשקיה בקולחים מאשר בשפירים (ליזימטרים ושדה) בשתי השנים (2013 ו- 2014), כאשר בליזימטרים ההשפעה גדולה יותר מאשר בשדה (איור 24). בקרקע החולית תוספת של מלח נתרן כלורי למים גרמה לעליה מובהקת בריכוזי הנתרן והכלוריד בעלים לערכים דומים לאלו שבהשקיה בקולחים בקרקע החרסיתית (איור 24). השפעת ההשקיה בקולחים ותוספת של מלח נתרן כלורי למי ההשקיה על ריכוזי הנתרן והכלור בעלים הייתה במגמה דומה לזו שבשורשים, אבל ההפרשים בין הקולחים לשפירים היו קטנים יותר ובחלק מהמקרים לא מובהקים גם כאשר בעלים התקבלה השפעה מובהקת, למשל נתרן וכלור בשדה ב- 2013, כלור בשדה ב-2014 (איור 24). בכול הטיפולים ובשני האתרים ריכוזי הבורון בעלים היו גבוהים מאשר בשורשים והריכוזים בשני האיברים היו גבוהים בשדה מאשר בליזימטרים (איור 25). בתום העונה הראשונה לניסוי (2013) ריכוזי הבורון בעלים ובשורשים לא הושפעו מטיפולי ההשקיה, אך בתום העונה השנייה (2014) השקיה בשפירים הפחיתה את ריכוז הבורון בעלים ובשורשים לעומת השקיה בקולחים עם וללא תוספת נתרן כלורי בשתי הקרקעות בליזימטרים בלבד בעוד שבשדה לא היה הבדל (איור 25).

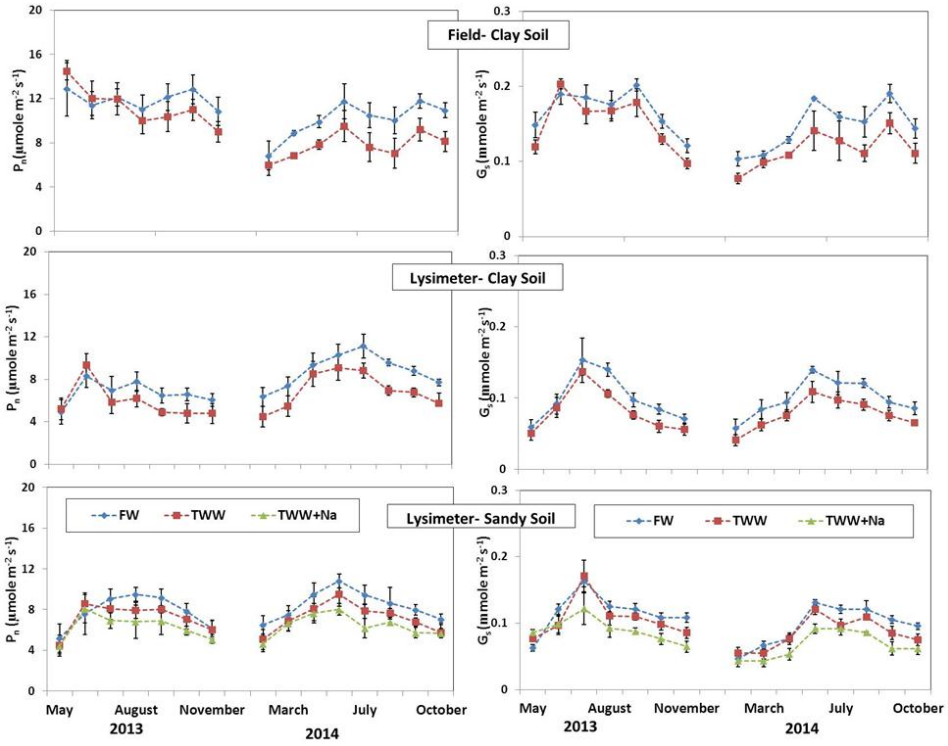
<u>היקף גזע ויבול</u> – לפי מדד היקף הגזע העצים בפרדס צמחו בשתי שנות הטיפולים, כאשר הצמיחה בשנה השנייה אף חזקה מאשר בשנה הראשונה ולסוג המים לא הייתה השפעה על הצמוח (איור 26). בדומה להיקף הגזע גם יבול הפרי בפרדס גדל באופן ניכר במשך שתי עונות הניסוי והיבול בשנת 2014 היה יותר מכפליים מהיבול בשנה שלפני התחלת הטיפולים (איור 27). לא התקבלו הבדלים מובהקים בין טיפולי איכויות המים, אך בשני הקטיפים שלאחר התחלת הטיפולים היבול בהשקיה בשפירים היה גבוה מאשר בקולחים עם וללא סינון חול. לא נמצאו הבדלים במדדים של איכות הפרי: ריכוז סודרים, חומציות, גודל פרי ועובי קליפה (התוצאות אינן מוצגות). היבול בליזימטרים לא הושפע מן הטיפולים בעונה הראשונה, אך בעונה השנייה היבול בקרקע החרסיתית היה נמוך באופן מובהק ומשמעותי מאשר בקרקע החולית (טבלה 4). בקרקע החרסיתי השקיה בקולחים הפחיתה את היבול לעומת השפירים ואילו בקרקע החולית השקיה בקולחים בתוספת מלח נתרן כלורי הפחיתה את היבול באופן מובהק. מדדי איכות הפרי הושפעו גם כן מהשקיה בקולחים בקרקע החרסיתית ומהשקיה בקולחים עם מלח בקרקע החולית, במיוחד הושפעו עובי הקליפה, כמות המיץ והיחס בין הסוכרים לחומציות (טבלה 5).



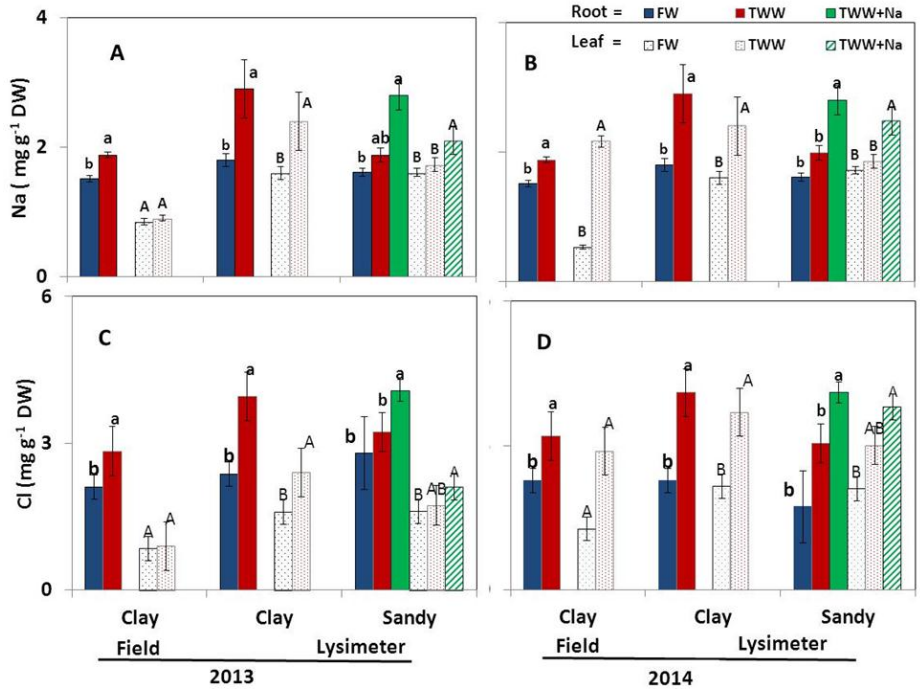
איור 21. צימוח שורשים במדידת אורך ומספר שורשים במהלך העונה בקרקע גרומוסול (שדה וליזימטרים) וקרקע חמרה (ליזימטר) בשנה הראשונה (2013) והשנייה (2014) של טיפולי השקיה שונים. עמודות אנכיות הן סטיות התקן מהממוצעים; מינימום 3-2 חזרות בליזימטרים ו- 9 חזרות בשדה.



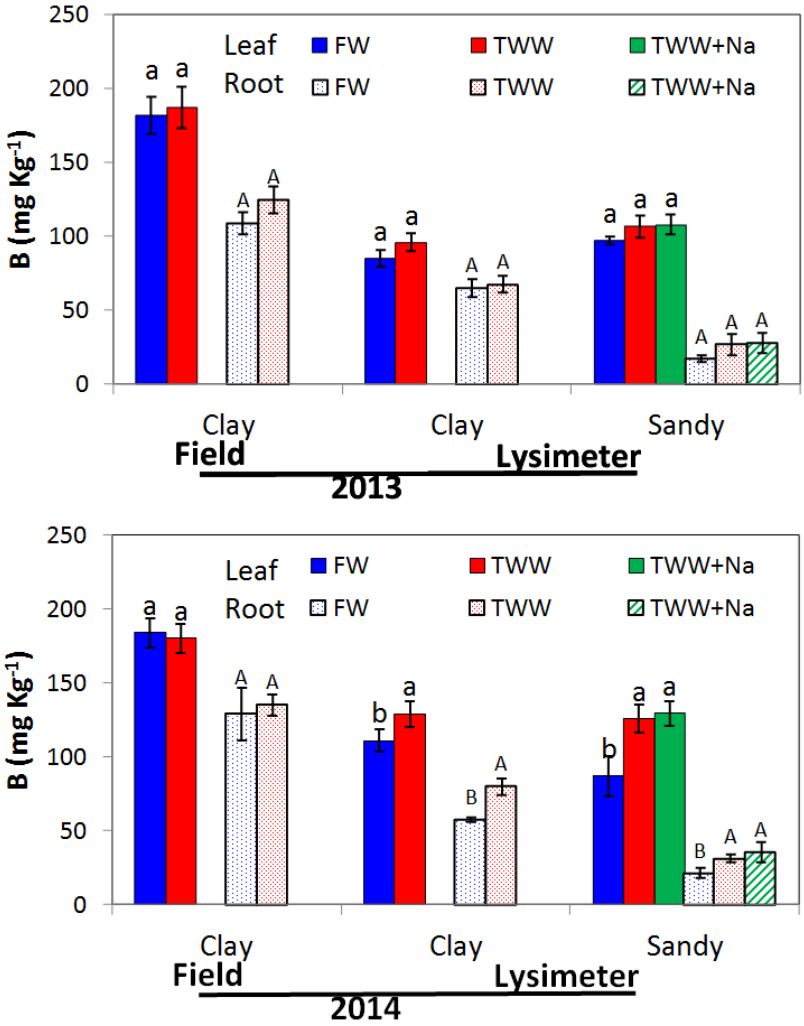
איור 22. קליטת מים ופוטנציאל המים בגזע (Ψ_{stem}) באמצע היום במהלך העונה בקרקע גרומוסול (שדה וליזימטרים) וקרקע חמרה (ליזימטר) בשנה הראשונה (2013) והשנייה (2014) של טיפולי השקיה שונים. עמודות אנכיות הן סטיות התקן מהממוצעים; מינימום 6-3 חזרות בליזימטרים ו- 8 חזרות בשדה עבור קליטת מים ו- 8 חזרות עבור פוטנציאל המים בגזע בשני האתרים.



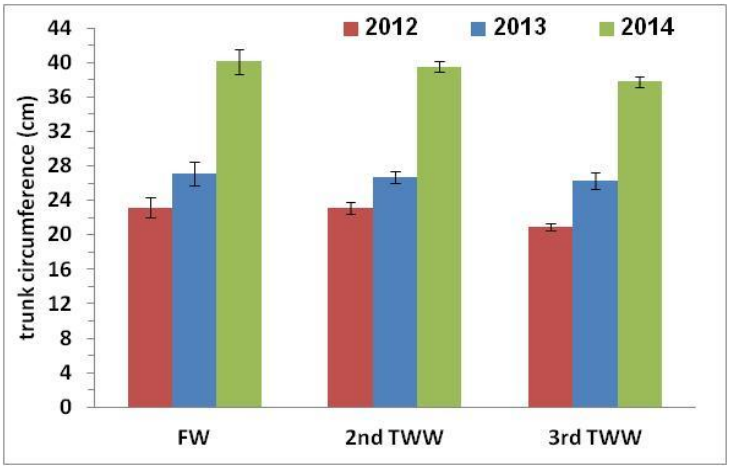
איור 23. פוטוסינטיזה בעלה (P_n) ומוליכות פיוניות (G_s) במהלך העונה בקרקע גרומוסול (שדה וליזימטרים) וקרקע חמרה (ליזימטר) בשנה הראשונה (2013) והשנייה (2014) של טיפולי השקיה שונים. המדידות בוצעו ב- 9:00-11:00 בבוקר. עמודות אנכיות הן סטיות התקן מהממוצעים; 8 חזרות עבור פוטנציאל המים בגזע בשני האתרים.



איור 24. ריכוזי נתרן (A , B) וכלור (C , D) בעלים (עמודות בצבע מלא) ובשורשים (עמודות בדוגמאות צבע) בעצים בקרקע גרומוסול (שדה וליזימטרים) וקרקע חמרה (ליזימטר) אחרי עונת השקיה בשנה הראשונה (2013) והשנייה (2014) של טיפולי השקיה שונים. אותיות שונות מציינות הבדלים מובהקים לטיפולים שונים באותה קרקע כאשר האותיות הקטנות עבור העלים והאותיות הגדולות עבור השורשים.

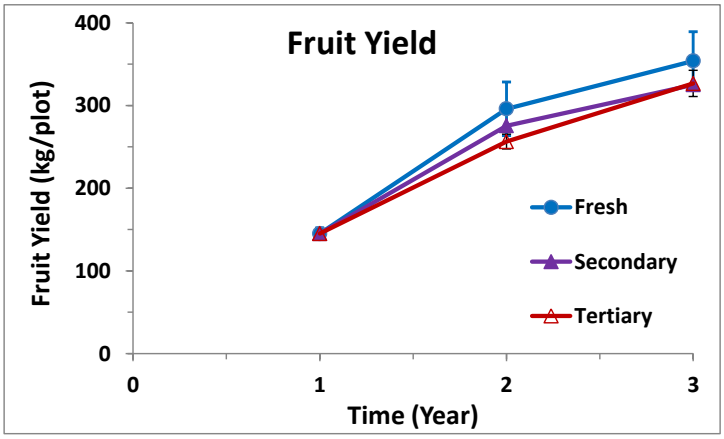


איור 25. ריכוזי בורון בעלים (עמודות בצבע מלא) ובשורשים (עמודות בדוגמאות צבע) בעצים בקרקע גרומוסול (שדה וליזימטרים) וקרקע חמרה (ליזימטר) אחרי עונת השקיה בשנה הראשונה (2013) והשנייה (2014) של טיפולי השקיה שונים. אותיות שונות מציינות הבדלים מובהקים לטיפולים שונים באותה קרקע כאשר האותיות הקטנות עבור העלים והאותיות הגדולות עבור השורשים.



איור 26 : היקף הגזע בפרדס מזרע במשך שלוש שנים (ממאי 2012 עד סתיו 2014) כתלות במקור המים ;

שפירים – FW, קולחים – 2nd TWW, קולחים סינון חול – 3rd TWW



איור 27 : יבול פרי בפרדס מזרע במשך שלוש שנים (חורף 2012-3 עד חורף 2014-5) כתלות במקור המים ;
שפירים – Fresh, קולחים – Secondary, קולחים סינון חול – Tertiary

טבלה 4. יבול פרי בהשפעת סוג הקרקע וטיפול ההשקיה (סוג המים) בניסוי הליזימטרים בסוף העונה השנייה, 13.11.2014. מים שפירים – FW, קולחים – TWW, קולחים בתוספת נתרן כלורי – TWW+Na

Soil	WQ	Fruit set	Fruit Dia	Crop Load	Fruit weight	Yield
Clay	FW	7.2 ± 0.23 a	96 ± 3 a	22 ± 3.48 a	360 ± 32 a	7.8 ± 1.2 a
	TWW	6.5 ± 0.20b	93 ± 3a	19 ± 4 a	341 ± 19 a	6.0 ± 1.01 b
Sandy	FW	7.85 ± 0.6 A	104± 4 A	28 ± 4 A	444± 22 A	13.5±0.8A
	TWW	8.4 ± 0.20AB	103 ± 1.5A	27 ± 2.5 A	435 ± 22 A	10.4± 0.7 AB
	TWW+Na	6.7 ± 0.51 B	100± 1.93 A	23 ± 3 A	425 ± 32 A	8.8 ± 0.9 B

טבלה 5. איכות פרי בהשפעת סוג הקרקע וטיפול ההשקיה (סוג המים) בניסוי הליזימטרים בסוף העונה השנייה, 13.11.2014. מים שפירים – FW, קולחים – TWW, קולחים בתוספת נתרן כלורי – TWW+Na

Soil	WQ	PT	JV	TA	TSS	MI
Clay	FW	4.26 ± 0.24 a	42.19 ± 0.59 a	1.76 ± 0.05 b	10.83 ± 0.3 a	5.81 ± 0.33 a
	TWW	4.55 ± 0.30 a	37.24 ± 1.30 b	1.89 ± 0.04 a	10.01 ± 0.1 b	5.32 ±0.13 b
Sandy	FW	4.9 ± 0.35 A	45.16 ± 0.8 A	1.56 ±0.06 A	8.36± 0.13 A	5.41±0.26 A
	TWW	5.26 ± 0.39 A	43.04 ± 1.05 AB	1.58± 0.02 A	8.07± 0.11 A	5.09± 0.12 AB
	TWW+Na	6.07 ± 0.41 B	41.96± 0.93 B	1.6 ± 0.03 A	8.18± 0.15 A	5.01 ± 0.14 B

PT – Peel Thickness, JV - Juice Volume (%), TSS – Total soluble sugars,
TA – Titratable acidity, MI – TSS/TA

<u>דיון במדדים הפיזיולוגיים</u>

ערכי הסף לרעילות של כלוריד ונתרן בעלי הדרים הם 7 ו- 2.3 מ״ג\ג חומר יבש (Raveh, 2012), בהתאמה. מכאן שבהשקיה בקולחים ובטיפול של תוספת נתרן כלורי למים דווקא ריכוזי הנתרן בעלים היו מעל ערכי הסף לרעילות בהדרים, בעוד שריכוז הכלוריד היה מתחת לערכי הסף (Storey and Walker, 1998; Chartzoulakis, 2002). לעומת זאת לא ידוע לנו על ערכי סף לרעילות של נתרן וכלור בשורשים של הדרים. ידוע שהצטברות המלחים בעץ הדר הנה הדרגתית ומתחילה בשורשים, בגזע ובענפים ורק כעבור כמה שנים בעלים (Raveh, 2012), כך שהממצאים בעבודה זו בתקופה של שנתיים בלבד מצביעים על המשך מגמה של רעילות הנתרן והכלוריד בהשקיה בקולחים. ריכוזי הבורון בעלים בפרדס היו גבוהים, אך מתחת לערכי הסף המקובלים (מעל 200 מ״ג\ק״ג) ובתחום השכיח באיזור עמק יזרעאל. מכיוון שריכוז הבורון בקולחים בניסוי נמוך בהרבה מערך הסף המקובל להשקיה של הדרים (כ- 0.5 מ״ג\ל), הריכוזים הגבוהים יחסית שמתקבלים נובעים מהמשך שחרור בורון מהמאגר בקרקע שנבנה בתקופה בה ריכוז הבורון בקולחים היה גבוה, עד 1.0 מ״ג\ל (Lado et al., 2012).

המגמה של עליה ביבול במים שפירים לעומת קולחים נמצאת בהתאמה למדדים הפיזיולוגים הרבים שבהם מצאנו השפעה חיובית לשפירים לעומת הקולחים. בהסתמך על דווחים בספרות על מטעים שניזוקו מהשקיה בקולחים או ממים מליחים לאחר מספר שנים שבהם לא נמצאה התאמה בין היבול לבין מדדים פיזיולוגיים אחרים שהצביעו על נזק לעצים (ראה Raveh, 2012), אנו מניחים שגם בניסוי זה חשוב המשך מעקב ארוך טווח למעקב אחר היבול ומדדים פיזיולוגיים אחרים.

הפגיעה בצימוח שורשים בקרקע החרסיתית לעומת הקלה וההשפעה השלילית של השקיה בקולחים ובקולחים עם תוספת נתרן כלורי עשויה להיות תוצאה של הגורמים הבאים: רעילות ספציפית של מלחים שונים (נתרן, כלוריד, בורון, מתכות) או מזהמים אחרים, ירידה בזמינות המים להתרחבות התאים, צירוף של הגורמים הללו או תגובה מבוקרת של הצמח לגורמי עקה (Rewald et al., 2013). הקשחה של דופן התאים באזור ההתארכות של קצות השורשים (Neumann et al., 1994), ליגניפיקציה שמקשיחה את דופן התא (Neves et al., 2010), הצטברות מלחים, חומצות הומיות או מתכות כבדות בשורשים (Cramer et al., 1988, Neumann 1995, Yermiyahu et al., 1997). בנוסף להשפעות אוסמוטיות ורעילות, ירידה בהתפתחות הסיבים או בקבוצת גיל בשורשים עשויה להיות בהשפעת גומלין עם תכונות הממברנות, שינויים אנטומיים בשורש, ירידה בתכונות הקוהזיביות למים כתוצאה מריכוזי מלח או מזהמים אחרים בדופן התא של השורש. כול אלה עשויים להשפיע על הירידה שמצאנו בקליטת המים אפילו בהבדלים קטנים בפוטנציאל המים בגזע (Aroca et al. 2012; Asli and Neumann 2010). יתר על כן, ירידה בפעילות או בנוכחות של אקווופורינים בשורשים בהשקיה במים מאיכות נמוכה יכולה להיות הסיבה לירידה במוליכות ההידראולית של השורשים (Toze, 2006).

הירידה בפוטוסינטיזה או חילוף הגזים והיכולת של אשכולית נראית כתגובת נגד של העץ להשפעת המליחות על השימוש במים, אך עשויה לנבוע גם מהירידה במוליכות ההידראולית של השורשים (Ramos and Kaufmann, 1979; Rewald et al. 2011) והתפתחות של מחסור במים (Storey and Walker, 1998). אפשר להסביר את הירידה שנצפתה בחילוף הגזים בשתי איכויות המים כנובעת מגירעון במים. אולם הירידה הגדולה במוליכות הפיוניות בהשקיה בקולחים עם תוספת נתרן כלורי משקפת את העקה האוסמוטית שחוו הצמחים בטיפול זה. ההבדל בפוטנציאל המים בקסילם ובעלים באמצע היום בין הביקורת למליחות הגבוהה

היה רק 10% ואילו ההבדל במוליכות הפיוניות בין הטיפולים הללו היה גבוה באופן ניכר (25%-30%, איור 23). עקה אוסמוטית מבוקרת על ידי רגישות גבוהה של מוליכות הפיוניות לשינויים קטנים בפוטנציאל המים (Flexas and Medrano, 2002; Sperling et al. 2014). הבקרה הפיזיולוגית הזו של הפיוניות נעשית על ידי איתות כימי והורמונלי (לדוגמה שורש-נוף) ומאיתות הידראולי (Schachtman and Goodger, 2008). בנוסף, כפי שדווח בעבר, הירידה במדדים הפוטוסינטטים קשורים להצטברות מלחים בעלים ו\או להצטברות סביב השורש (Lopez-Climent et al., 2008), אשר עשוי להיות הגורם להשפעה הגדולה והחזקה יותר בקרקע החרסיתית. גורם נוסף הוא פגיעה במבנה הקרקע מהשקיה בקולחים כפי שהתבטא ביציבות התלכידים (איור 8), דבר שעלול לפגוע באוורור הקרקע ולהשפיע על הצימוח והתפקוד של השורשים.

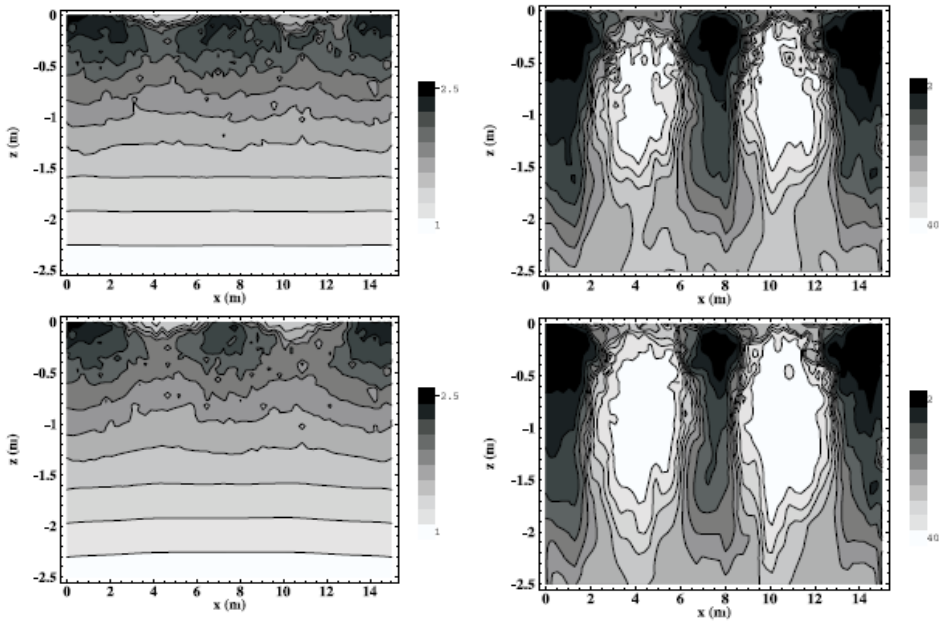
לסיכום, נמצאו השפעות שליליות של השקיה בקולחים על עצי אשכולית שהיו ניכרים יותר בקרקע החרסיתית מאשר בחולית. הירידה בגדול שורשים דקים ובמוליכות ההידראולית של השורשים היו הסיבה לפגיעה בקליטת המים על ידי העץ ולעקת המים בעץ. ירידה בפעילות הפוטוסינטטית בעקבות הצטברות מלחים, ירידה בגידול של פיגמנטים פוטוסינטטים וירידה במוליכות ההידראולית היו הגורמים לירידה ביעילות השימוש במים והירידה ביבול. השאלה האם השפעת המליחות הייתה באינטראקציה עם פגיעה באוורור הקרקע נשארה פתוחה וצריכה להיבחן במחקר בעתיד.

ניתוח של זרימת מים והסעת מומסים בקרקע חרסיתית המושקית בקולחים

המודל תלת-מימדי של הפרוס המרחבי של תכונות הקרקע הרלבנטיות לזרימה והסעה נבנה ע״י שימוש בכלים גיאו-סטטיסטיים (4) תוך התבססות על הנתונים המדודים של תכונות אלה. תוצאות המודל הגיאו-סטטיסטי במונחים של חתכים של הממוצעים וסטית התקן של שמונת הפרמטרים המתארים את הפונקציות ההידרוליות הבי-מודליות של הקרקע בסקלה המקומית, מוצגים באיור 1 בנספח 3. בולטת העובדה שהשינוי עם העומק של ממוצעי הפרמטרים קטן יחסית, אולם השונות המרחבית בעיקר של K_S ו- α_1, α_2 -, בעומקים מסוימים עשויה להיות גבוהה יחסית.

נערכה הדמיה לזרימת מים והסעה של תמיסת נתרן/סידן כלורי בקרקע חרסיתית לא-רוויה/רוויה עם שונות מרחבית בתכונותיה ההידרוליות, בתנאים של השקיה במים שפירים (ריכוז כלוריד 11.8 מא״ק/ליטר, SAR=4.51), והשקיה במים מושבים (ריכוז כלוריד 19.3 מא״ק/ליטר, SAR=4.88), עבור תקופה של שבע שנים עוקבות. פרוס עומד לחץ מי הקרקע (מטר) וריכוז הכלוריד (מא״ק/ליטר) במישור האנכי של הקרקע בניצב לשורות העצים בין 2 העצים הממוקמים במיקום אופקי x_3=3.25m, x_2=4.5m ו- x_3=3.25m, x_2=10.5m, לאחר 60 ימים במהלך עונת ההשקיה של השנה השנייה, מוצגים באיור 28.

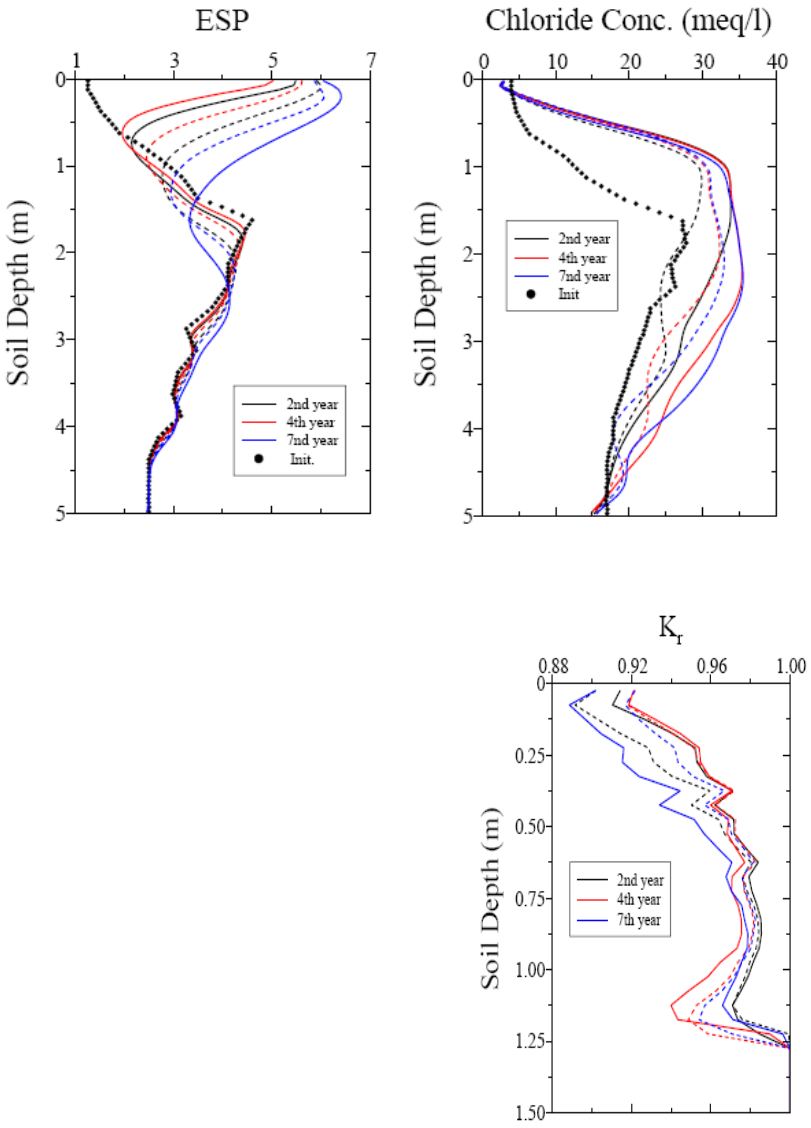
פרוסי הרטיבות (במונחים של עומד לחץ המים) והמליחות (במונחים של ריכוז הכלוריד) באיור זה מתייחסים להשקיה במים שפירים (עליון) ולהשקיה במים מושבים (תחתון). באופן כללי ההבדלים בפרוס הרטיבות בין שני סוגי המים אינם גדולים, אולם חתך הקרקע בהשקיה במים מושבים רטוב יותר מאשר זה המושקה במים שפירים לכל עומקו של החתך המוצג (2.5 מ׳). לעומת זאת ההבדלים בפרוס המליחות בין שני סוגי המים משמעותיים וחתך הקרקע בהשקיה במים מושבים מלוח באופן ניכר מזה המושקה במים שפירים לכל עומקו של החתך המוצג.



איור 28: פירוס עומד לחץ המים (במטר, משמאל) וריכוז הכלוריד (מימין, במא"ק/ליטר) במישור האנכי של הקרקע בניצב לשורות העצים. השקיה במים שפירים (עליון) לעומת השקיה במים מושבים (תחתון).

ההשפעה ארוכת הטווח של השימוש במים מושבים על ההמלחה והניתרון של חתך הקרקע ועל כושרה של הקרקע להוליך מים ומומסים מודגמת באיור 29 ע"י החתכים הממוצעים (שהתקבלו ע"י מיצוע אופקי על השטח המלבני המקווקו באיור 2) של ריכוז הכלוריד בתמיסת הקרקע, אחוז הנתרן הספוח בקרקע והמוליכות ההידרולית היחסית, בסוף עונת הגשמים של השנה השנייה, הרביעית והשביעית.

החתכים הממוצעים של הכלוריד באיור 29 מראים שקצב ההמלחה של חתך הקרקע קטן עם הזמן, ולאחר תקופה של מספר שנים למעשה "מתייצב" עם רמת מליחות גבוהה יותר בחתך בהשקיה במים מושבים לעומת מים שפירים. לעומת זאת החתכים הממוצעים של הנתרן הספוח באיור 29 מראים שקצב הנתרון של חתך הקרקע איטי, אך מהיר יותר בהשקיה במים מושבים לעומת מים שפירים. התופעה מוסברת ע"י העקמומיות של איזוטרמת החילוף Na/Ca, מצידה גדלה עם העלייה ביחס ספיחת הנתרן והירידה בריכוז הכלוריד בתמיסת הקרקע. עבור שני סוגי המים, החתכים של המוליכות ההידרולית היחסית באיור 29 מראים ירידה קטנה יחסית במוליכות ההידרולית של הקרקע תופעה הנובעת מהקטנת ההשפעה של הנתרן הספוח על האינטראקציה זורם-קרקע עם העלייה במליחות. אם זאת, עבור שני סוגי המים, במהלך תקופות של גשם, עקב מיהול תמיסת הקרקע בסמוך לפני הקרקע, המוליכות ההידרולית בפני הקרקע עשויה לקטון באופן ניכר עקב האינטראקציה זורם-קרקע (איור 2 נספח 3).



איור 29: חתכים אנכיים ממוצעים של ריכוז הכלוריד בתמיסת הקרקע, אחוז הנתרן הספוח בקרקע והמוליכות ההידרולית היחסית, בסוף עונת הגשמים של השנה השנייה, הרביעית והשביעית. קוים מלאים וקוים מקווקוים מציינים מים מושבים (TWW) ומים שפירים (LW), בהתאמה.

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. לכן נפח הקרקע ממנו נקלטים מים ע"י שורשי העצים, ומיקומו, תלויים אף הם בזמן (איור 2 (ימין), נספח 3), אך כמעט ואינם מושפעים מסוג מי ההשקיה. ריכוז הכלוריד ומקטע הנקבובים המלאים באוויר בעומק בו ממוקם מרכז נפח הקרקע ממנו נקלטים מים ע"י שורשי העצים, המוצגים באיור (איור 3, נספח 3) עבור השנה השביעית של ההדמיה, מראים באופן ברור את השפעת איכות מי ההשקיה על המליחות והאוורור בנפח הקרקע העיקרי המשפיע על קליטת המים ע"י השורשים. השקיה במים מושבים, מעלה את ריכוז הכלוריד ומפחיתה את תכולת האוויר בעיקר בתקופת ההשקיה אך גם בתקופת הגשמים.

בתנאים של השקיה תכופה יחסית בטפטוף, 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. התופעות המוצגות באיור 3 בנספח 3, באות לכן לידי ביטוי ביכולת קליטת המים של שורשי העצים, המוצגת באיור 4 בנספח 3 במונחים של הטרנספירציה היחסית בתלות בזמן. איור זה מדגים באופן ברור את השפעת איכות מי ההשקיה על קליטת המים ע״י שורשי העצים. בהשקיה במים מושבים, הירידה היחסית בקליטת המים עשויה להגיע ל-25%. עיקר התהליך של הירידה בקליטת המים ע״י שורשי העצים מתרחש בפרק זמן של פחות משנתיים, אך התהליך עשוי להמשך לאורך תקופה ארוכה יחסית, בקצב היורד עם הזמן.

כדי להשיג את מטרה 3ג התייחסנו לחלקת הפרדס הנ״ל המצוידת במערכת השקיה בטפטוף המאפשרת השקיה ממוקדת ותכופה, הנשלטת ע״י המשתמש. בנוסף, הנחנו שמערכת ההשקיה נגישה למים בשתי איכויות שונות: מים מושבים (TWW) ומים מותפלים (DSW), המתקבלים על ידי התפלת ה-TWW, באמצעות אוסמוזה הפוכה.

הגישה לבקרה של מליחות הקרקע שאימצנו כאן היא גישה מוכוונת-נתונים, המתקבלים מחיישני מליחות הממוקמים בקרקע. בעקבות רוסו וחובריו [2005], המיקום האנכי של חיישני קרקע נקבע לפי המיקום האנכי של הצנטרואיד של נפח הקרקע הפעיל בקליטת מים, $z_{cu}(t)$, הניתן על ידי (1) להלן. עבור מערכת זרימה תלת-ממדית, $z_{cu}(t)$ ניתן על ידי:

$$z_{cu}(t)=\frac{1}{V_W(t)}\int_{x'_2}^{x''_2}\int_{x'_3}^{x''_3}\int_{0}^{L_r}\left[\int_{0}^{t} S^*_w(\underline{x},\tau)\,d\tau\right]x_1\,dx_1\,dx_2\,dx_3 \qquad (1\underline{a})$$

כאשר $S^*_w(\underline{x},t)$ הוא השיעור היומי ממוצע של קליטת המים על ידי שורשי הצמח, ו- $V_W(t)$ הוא נפח המים שהוצא על ידי שורשי הצמח עד זמן, t, הניתן על ידי:

$$V_W(t)=\int_{x'_2}^{x''_2}\int_{x'_3}^{x''_3}\int_{0}^{L_r}\left[\int_{0}^{t} S^*_w(\underline{x},\tau)d\tau\right]dx_1\,dx_2\,dx_3 \qquad (1\underline{b})$$

התלות בזמן, t, של המיקום האנכי של הצנטרואיד של נפח הקרקע הפעיל בקליטת מים, z_{cu}, המחושב עבור הליבה הפנימית של המישור האופקי של מערכת הזרימה (הכוללת 4 עצים), מתוארת באיור 5 בנספח 3, עבור שתי איכויות מי השקיה (LWW ו-TWW). איור 5א בנספח 3 מראה ש- $z_{cu}(t)$ מושפע יחסית מעט מאיכות מי ההשקיה. בנוסף, איור 5א בנספח 3 מראה ש- $z_{cu}(t)$ מתנהג באופן מחזורי, עם משרעת של כמה סנטימטרים. $z_{cu}(t)$ גדל (כלומר, הצנטרואיד של נפח הקרקע הפעיל בקליטת מים ממוקם עמוק יותר) בעונות ההשקיה, בהן תמיסת קרקע באזור בית השורשים מרוכזת יחסית, ולהיפך, בעונות הגשמים, בהן תמיסת הקרקע באזור בית השורשים דלילה יחסית.

חיישני מליחות הממוקמים בסמוך לעצים, בעומק הקרקע, $x_1=z_{cu}(t)$, יכולים לספק מידע רציף על מליחות תמיסת קרקע (ז.א., ריכוז הכלוריד) במיקום האנכי של הצנטרואיד של נפח הקרקע הפעיל

בקליטת מים, $C[z_{cu}(t),t]$, (איור 2ב). כאשר $C[z_{cu}(t),t]$ חורג מעבר לערך קריטי, נשלט-משתמש, הנקבע מראש, C_{cr}, תהליך ההתפלה מתחיל ו-TWW מוחלף על ידי DSW, ולהיפך, כאשר $C[z_{cu}(t),t]$ יורד לרמה הנמוכה מ- C_{cr}.

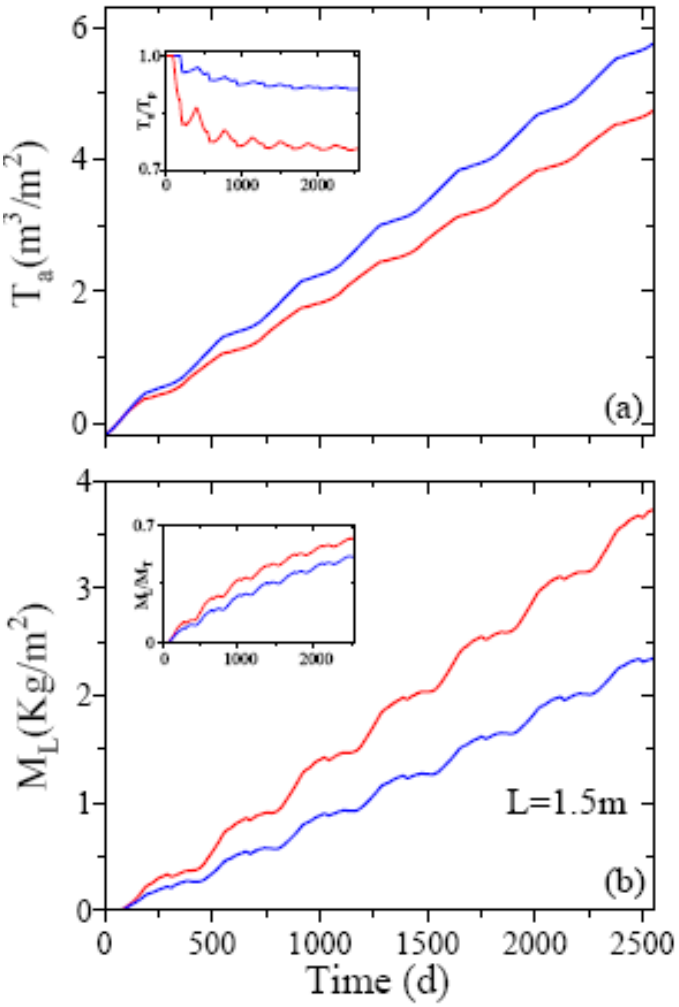
כדי להדגים את הגישה, בוצעו סימולציות מספריות תלת-ממדיות של זרימה והסעה בסקאלת השדה למשך פרק זמן של שבע שנים, תוך שימוש באותן גישות ותנאי שפה והתחלה כפי שתוארו בדו"ח שנה ב', ובהתחשב בתכונות ריאליסטיות של הקרקע, הגידול, מזג האוויר וההשקיה, והצימוד בין הזרימה וההסעה כתוצאה מהתלות של התכונות ההידרוליות בריכוזי היונים בתמיסת הקרקע. התלות בזמן של ריכוז הכלוריד המחושב בסמוך לעצים, בעומק הקרקע, $x_1=z_{cu}(t)$, מדמה את $C[z_{cu}(t),t]$, אשר, מצידו, מנחה את השינוי באיכות מי השקיה בין TWW ו-DSW, עפ"י הקריטריון דלעיל.

תוצאות ודיון

איור 30 וטבלה 6 מדגימים את התוצאה של השינוי לסירוגין של איכות מי ההשקיה בין TWW לבין DSW, על פי הקריטריון דלעיל. איור 30א מתאר את הדיות בפועל, T_a, כפונקציה של הזמן, t, במקרה של שימוש רציף ב-TWW, ולמקרה שבו TWW מוחלף לסירוגין על ידי DSW (יכונה להלן ADW), עבור ערכים שונים של C_{cr}. ברור, שהנפח המצטבר של מים שנקלטו על ידי שורשי העצים, וכתוצאה מכך, הדיות היחסית, $T_r(t)$ (מתוארת בהבלעה של איור 30א), בתנאים של השקיה לסירוגין גבוהים באופן משמעותי לעומת מקביליהם בתנאים של השקיה רציפה ב-TWW, במיוחד כאשר C_{cr} נמוך יחסית.

איור 3ב בנספח 3 מתאר את המסה המצטברת של כלוריד הדולף, M_L, ומקטע מסת כלוריד המצטבר הדולף, M_L / M_T, (ההבלעה של איור 30ב) אל מתחת לבית השורשים, דרך מישור בקרה אופקי (CP) הממוקם במרחק, L, של 1.5 מ' מפני הקרקע, כפונקציה של הזמן, לאותם מקרים שהובאו באיור 30א'. כאן, $M_T=M_A+M_I$, כאשר M_A היא המסה המצטברת של הכלוריד המוסף לקרקע, ו-M_I היא מאסתו התחילית האגורה בחתך הקרקע מפני הקרקע עד לעומק L. באופן ברור, מסת כלוריד המצטברת, M_L, וכתוצאה מכך, M_L / M_T, הדולפים דרך מישור הבקרה האופקי בתנאים של השקיה לסירוגין, קטנים באופן משמעותי לעומת מקביליהם בתנאים של שימוש רציף ב-TWW, במיוחד כאשר C_{cr} נמוך יחסית.

התוצאות המתוארות באיור 30 ומסוכמות בטבלה 6 מראות כי גישת ה- ADW לבקרה של מליחות הקרקע, המבוססת על השינוי לסירוגין של איכות מי ההשקיה בין TWW ו-DSW, המכוון ע"י נתוני מליחות מהצנטרואיד של נפח הקרקע הפעיל בקליטת מים, עשויה להוביל לגידול משמעותי ביבול הפרדס ולירידה משמעותית בעומס המליחות במי התהום. האחרון מיוחס לתחלופה בין קליטת המים ושטף המים, וכתוצאה מכך, שטף המומסים אל מתחת לבית השורשים. יתר על כן, איור 30 וטבלה 6 מראים את התפקיד החשוב שממלא הערך הקריטי, נשלט-המשתמש, C_{cr}. עבור גידול, קרקע, כמות ואיכות המים להשקיה (לדוגמא, TWW) נתונים, C_{cr} קובע את כמות המים באיכות טובה (למשל, DSW), הנדרשת לשמור על $C[z_{cu}(t)]$, $C_{cr}\geq C[z_{cu}(t)]$, וכתוצאה מכך, קובע את הביצועים של גישת ה- ADW במונחים של השיפור המושג ביבול ובאיכות מי תהום.



איור 30: דיות בפועל, T_a, ודיות יחסית, $T_r=T_a/T_p$, (הבלעה) (א), ומסה מצטברת, ומקטע מסה מצטברת (הבלעה) של הכלוריד הדולף מתחת לבית השורשים דרך CP הממוקם בעומק 1.5מ׳ (ב), כפונקציה של הזמן. התוצאות מתוארות עבור השקיה ב-TWW (קווים אדומים), ו- LWW (קווים כחולים).

טבלה 6: המקטע הנפחי של DSW במי ההשקיה, $F_{DW}=Q_{DW}/Q_{AI}$, דיות בפועל מצטברת, ומאסה מצטברת של כלוריד הדולפת מתחת לאזור בית השורשים בגישת ה- ADW, יחסית למקביליהם בשימוש רציף של TWW, $T'_a = T_a(ADW)/T_a(TWW)$, ו- $M'_L = M_L(ADW)/M_L(TWW)$, בהתאמה, עבור ערכי ריכוז כלוריד קריטי, C_{cr}, נבחרים[1].

C_{cr} (meq/ℓ)	F_{DW}	T'_a	M'_L
15	0.771	1.285	0.359
20	0.662	1.272	0.445
25	0.572	1.252	0.536
30	0.452	1.223	0.644

[1] ריכוזי הכלוריד ב-TWW וב-DSW הם 19.3 ו-1.5 מא״ק/ליטר בהתאמה.

יש להדגיש שבקרקעות שהושקו בעבר עם LWW, ובמיוחד, עם TWW, ה- SAR של תמיסת הקרקע, עשוי לגדול באופן משמעותי, במיוחד, בחלק העליון של הקרקע. דילול תמיסת הקרקע , כתוצאה מהשקיה ב-DSW, עשוי לכן להפחית באופן משמעותי את המוליכות ההידרולית של הקרקע, בעיקר בסמוך לפני הקרקע . בניגוד לכך, גישת ה- ADW לבקרת מליחות הקרקע שהוצגה כאן, המבוססת על השינוי לסירוגין של איכות מי ההשקיה בין TWW ו-DSW, מפחיתה את קצב הגידול של ה-SAR של תמיסת הקרקע עם הזמן (בהשוואה לשימוש הרציף ב- TWW), ושומרת על ריכוז כלוריד בתמיסת הקרקע, גבוה יותר מריכוזו ב-DSW, מספיק גבוה על מנת לפצות על ההשפעות השליליות של ה- SAR של תמיסת הקרקע על המוליכות ההידרולית של הקרקע. הניתוחים שערכנו (אינם מוצגים כאן) מצביעים על כך שלעומת שימוש רצוף ב-TWW (או LWW), גישת ה-ADW אינה משנה באופן מהותי את היכולת של מערכת הזרימה להעביר מים ומומסים.

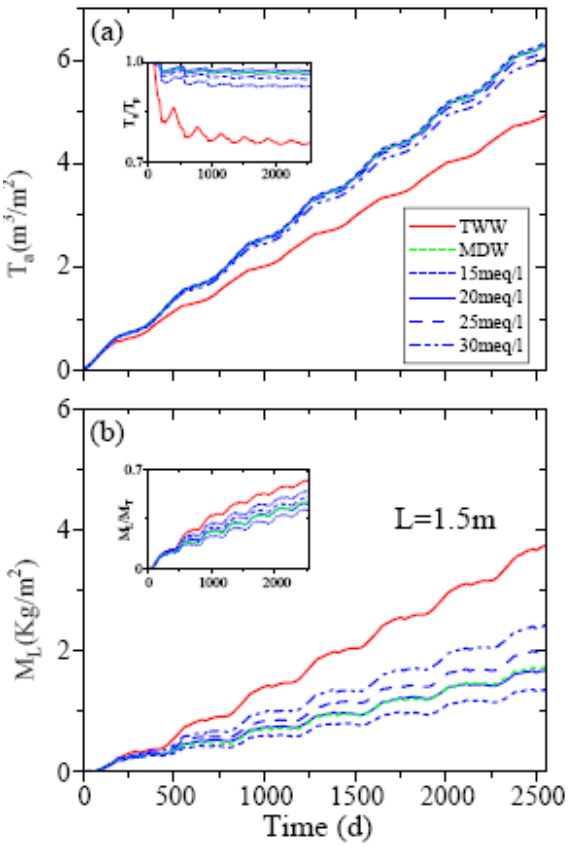
יתרון נוסף אפשרי של גישת ה- ADW, מחוץ לתחום העניין העיקרי של המחקר הנוכחי, הוא ההפחתה של חומרי ההזנה (מיקרו ומאקרו) שיש להוסיף ל-DSW כאשר הוא מיושם ברציפות. בשימוש בגישת ה-ADW המבוססת על שינוי לסירוגין של איכות מי ההשקיה בין TWW ו-DSW, חומרי הזנה הקיימים במי השקיה המקוריים (TWW) , וכתוצאה מכך ,בתמיסת הקרקע, נצרכים על ידי הגידול , ובכך עשויים להקטין את כמות חומרי ההזנה שיש להוסיף למי ההשקיה.

בנוסף, יש להדגיש כי במקרה בו מערכת ההשקיה נגישה למים בשתי איכויות שונות, גישה חלופית לגישת ה- ADW לבקרת מליחות הקרקע, היא גישה המתבססת על ערבוב של סוגי המים השונים לפני יישומם לקרקע, תוך שימוש ביחס ערבוב קבוע, R_m, הנקבע מראש, ז.א.,

$$R_m=Q_{DW}/(Q_{AI}-Q_{DW})=F_{DW}/(1-F_{DW}) \qquad (2)$$

כאשר $Q_{AI}=Q_{DW}+Q_{TW}$, הוא נפח המים המצטבר המוסף במהלך ההשקיות, ו- $F_{DW}=Q_{DW}/Q_{AI}$ הוא המקטע הנפחי של המים המותפלים במי ההשקיה.

בניגוד לגישת ה-ADW, בגישה פשוטה זו, שתקרא להלן גישת ה-MDW, אין צורך במידע על מליחות תמיסת הקרקע בבית השורשים על מנת לנהל את ההשקיה. בשימוש בגישת ה-MDW, איכות מי השקיה קשורה ישירות ל-F_{DW}, כלומר, בגבול $F_{DW} \rightarrow 0$, האיכות מתקרבת לזו של ה- TWW , ואילו בגבול $F_{DW} \rightarrow 1$, האיכות מתקרבת לזו של ה-DSW. בניגוד לכך, בגישת ה-ADW, איכות מי השקיה במהלך ההשקיות משתנה בין TWW לבין DSW, על פי הכלל: החלף את TWW על ידי DSW אם $C[z_{cu}(t)]>C_{cr}$, והחיפך אם $C[z_{cu}(t)]\leq C_{cr}$. כתוצאה מכך ,בגישת ה-ADW, יחס הערבוב המתקבל, r_m, תלוי בערך הנבחר של ריכוז הכלוריד הקריטי , C_{CR}, בתנאי השפה תלויי הזמן בפני הקרקע, וביחסים ההדדיים בין זרימה, הסעה, וקליטת מים על ידי שורשי הצמח; מכאן, בגישת ה-ADW, r_m תלוי בזמן, דהיינו, $r_m=r_m(t;C_{cr})$.



איור 31: דיות בפועל, T_a, ודיות יחסית, $T_r=T_a/T_p$, (הבלעה) (א), ומסה מצטברת, ומקטע מסה מצטברת (הבלעה) של הכלוריד הדולף מתחת לבית השורשים דרך CP הממוקם בעומק 1.5מ' (ב), כפונקציה של הזמן. התוצאות מתוארות עבור שימוש רציף ב-TWW (קווים אדומים), ושימוש בגישת ה-ADW (קווים כחולים, עבור ערכים נבחרים של ריכוז הכלוריד הקריטי, C_{cr}), וגישת ה-MDW (קו מקווקו ירוק), עם יחס ערבוב, Rm =1.96, שווה ערך ל- C_{cr}=20meq/ℓ.

דיון מסכם ומסקנות

מהבדיקות שנעשו בתחילת הניסוי בין ובתוך השורות לאפיון חתך הקרקע לעומק 4.5 מ' מסתבר שהשקיה בקולחים (בהשוואה לקרקע שאינה מושקית) גורמת לפחיתה מובהקת במוליכות ההידראולית ברוויה למרות שלא נמצאו הבדלים מובהקים ב- ESP בין שני סוגי הקרקע לאורך כל חתך הקרקע. אנו משערים שהפחיתה שנצפתה נובעת כנראה מהבדלים במאפייני החומר האורגני המומס בין שני סוגי הקרקעות. התוצאות בתום שנתיים של טיפולי השקיה בשפירים ובקולחים מראות שניתן לשפר את התכונות והפיזיקליות של הקרקע (על פי מדד יציבות התלכידים) בעזרת שיפור באיכות מי ההשקייה, ושהשיפור מתחיל להיווצר תוך זמן קצר יחסית. הממצאים האלה נמצאים בהתאמה עם השפעת ההשקיה בשפירים לעומת קולחים על ערכי ה- ESP וה- SAR בפרדס ותוצאות דומות היו גם בליזימטרים ובהתאמה לפרסומים בספרות (Assouline and Narkis, 2011; Ben-Hur et al., 2009; Lado et al., 2012; Levy et al., 2014a; Schacht and Marschner, 2015,). החידוש במחקר הנוכחי הוא בקצב השינוי

המהיר במעבר מקולחים לשפירים. יש צורך לבחון האם הפחתה של ערך ה- SAR בקולחים שלישוניים תגרום לשיפור דומה בתכונות הקרקע ובהקטנת הנזק לעצים.

מאזני החנקן בליזימטרים מצביעים על אובדני חנקן גזי בדה-ניטריפיקציה, במיוחד בקרקע הגרומוסול. ממצא זה נמצא בהתאמה לדיווחים קודמים של הקבוצה בטכניון (Master et al. 2004; Kremen et al. 2005) ולפרסומים נוספים בספרות (Bar-Tal et al, 2011). יש לבחון בעתיד כיצד ממשקים מתקנים כמו תעלות אוורור וממשק השקיה משפיעים על אובדני החנקן. מאזני זרחן שנבדקו מעידים על ניידות גבוה מאד שלו בקרקע החמרה עם אחוז שטיפה גבוה בנקז הליזימטרים (רמה של בין 19 ל 20% מהמרמה המקובלת לדישון בקולחים). בגרומוסול הייתה שטיפה אפסית של הזרחן בנקז וניידות מאד מוגבלת בכל טיפולי השקיה של הזרחן כלפי מטה בהתאמה לממצאים בפרדס ולדווחים בספרות על השפעת השקיה בקולחים בקרקע גרומוסול לעומת חמרה (Lado et al., 2012). על פי הממצאים מהפרדס ומהליזימטרים הבורון שהצטבר בקרקע הכבדה בהשקיה בקולחים שהיו בעבר עשירים בבורון משתחרר בהדרגה מן הקרקע. הממצאים הללו מאשרים את הידוע מהספרות שבורון אינו נשטף בקלות מהקרקע, אך בתהליך הדרגתי הוא מורחק (Yermiyahu and Keren, 2011).

מדדים פיזיולוגיים - נמצאו השפעות שליליות של השקיה בקולחים על עצי אשכולית שהיו ניכרים יותר בקרקע החרסיתית מאשר בחולית. הירידה בגדול שורשים דקים ובמוליכות ההידראולית של השורשים היו הסיבה לפגיעה בקליטת המים על ידי העץ ולעקת המים בעץ. ירידה בפעילות הפוטוסינטתית בעקבות הצטברות מלחים, ירידה בגידול של פיגמנטים פוטוסינטתים וירידה במוליכות ההידראולית היו הגורמים לירידה ביעילות השימוש במים והירידה ביבול. החידושים העיקריים במחקר זה היו: מדידה כמותית עתית ורצופה של מדדים פיזיולוגיים מגוונים שהראו על תגובה בזמן קצר למעבר מהשקיה בקולחים לשפירים; הקשר שנמצא בין ההשפעות על התפתחות שורשים, שטף המים בגזע, פוטוסיטיזה בעלים וטרנספירציה; ההצטברות של נתרן וכלוריד בשורשים ובעלים והריכוז הגבוה של נתרן בעלים מעבר לערך הסף בעוד שברוב הפרסומים בספרות מתייחסים בעיקר לכלוריד כגורם הרעילות בהשקיה במים מלוחים (Raveh, 2012). השאלה האם השפעת המליחות הייתה באינטראקציה עם פגיעה באוורור הקרקע נשארה פתוחה וצריכה להיבחן במחקר בעתיד.

ניתוח תוצאות ההדמיה מראה שעיקר הירידה במוליכות ההידרולית של הקרקע עקב האינטראקציה בין הזורם לקרקע מתרחשת בתקופת הגשמים המלווה במיהול תמיסת הקרקע בשכבת הקרקע העליונה. בתנאים של פרדס מזרע, הירידה במוליכות ההידרולית היא הפיכה, ולכן היא משתקמת במהלך תקופת ההשקיה (במים שפירים ובמים מושבים) המלווה בהתרכזות תמיסת הקרקע באזור בית השורשים, שמצידה, מהווה פיצוי להשפעה השלילית של הגדלת מנת ספיחת הנתרן בקרקע על המוליכות ההידרולית.

תוצאות ההדמיה מראות שבתנאים של פרדס מזרע, הנטוע על קרקע חרסיתית בנוכחות מי תהום גבוהים, ההשקיה במים שפירים, אך בעיקר בקולחים, עשויה לגרום להמלחה ולבעיות אוורור בבית השורשים, שמצדם עשויים לגרום להקטנת קליטת המים ע"י שורשי העצים ולפחיתה ביבול. בהשקיה במים שפירים, הירידה היחסית בקליטת המים עשויה להגיע ל-8% ואילו בהשקיה במים מושבים, הירידה היחסית בקליטת המים עשויה להגיע ל-25%. עיקר הירידה בקליטת המים ע"י שורשי העצים מתרחשת בפרק זמן של פחות משנתיים, אך התהליך עשוי להמשך לאורך תקופה ארוכה יחסית, בקצב היורד עם הזמן. ההשקיה במים מושבים, הגורמת להמלחת חתך הקרקע, וכתוצאה מכך, להקטנת קליטת המים ע"י שורשי העצים ולהגדלת תכולת הרטיבות בחתך, מגדילה את שטפי המסה של המומסים מתחת לאזור בית השורשים, ולכן מגדילה את סכנת ההמלחה והזיהום של מי התהום.

על מנת לשמור על רמת יבול כלכלי בפרדס, ועל מנת להקטין את סכנת ההמלחה והזיהום של מי התהום כתוצאה מהשימוש במים מושבים, יש צורך בממשק השקיה המוכוון לבקרת המליחות בקרקע. הגישה (ADW) מבוססת על שינוי לסירוגין של איכות מי ההשקיה בין TWW ו-DSW, המוכוון ע״י נתוני מליחות מהצנטרואיד של נפח הקרקע הפעיל בקליטת מים, $C[z_{cu}(t)]$. הגישה רלוונטית לתנאים של השקיה תכופה (למשל, טפטוף), תנאים בהם קליטת המים על ידי שורשי העצים נשלטת בעיקר על ידי המליחות של תמיסת הקרקע באזור בית השורשים. תוצאות הסימולציה מראות שגישת ה-ADW לבקרת מליחות הקרקע, עשויה להוביל לגידול משמעותי ביבול הפרדס, ולירידה משמעותית בדליפת המלחים מתחת לאיזור בית השורשים, ולכן, להקטנה של עומס המלחים במי התהום. תוצאות אלה נובעות מההמרה בין קליטת המים ע״י שורשי העצים ושטף ניקוז המים, וכתוצאה מכך, שטף המומסים אל מתחת לבית השורשים. יש להדגיש שבחירה אופטימאלית של פרמטר השליטה של הגישה, C_{cr}, אשר תמזער את השימוש במים באיכות טובה, מבלי להתפשר על רמת היבול ואיכות מי תהום צריכה להתבצע במסגרת כלכלית.

בנוסף, יש להדגיש שתגובת מערכת הזרימה לגישת ה-ADW, שבה C_{cr} הוא פרמטר השליטה, ויחס הערבוב המתקבל, r_m, הוא תלוי זמן, ז.א., $r_m=r_m(t;C_{cr})$, עשויה להיות דומה לתגובת מערכת הזרימה לגישת ה-MDW הפשוטה יחסית, שבה TWW ו-DSW מעורבבים באמצעות יחס ערבוב קבוע, R_m , לפני יישומם לקרקע , ובלבד שהזהות $R_m=<r_m(t;C_{cr})>$ תתקיים. הבעיה עם גישת ה-MDW, היא שפרמטר השליטה, יחס הערבוב , R_m, אינו ידוע מראש. מחקר נוסף, הכולל סוגי קרקע, תנאי אקלים, גידולים ואיכויות מי השקיה נוספים, נדרש על מנת לבחון את הביצועים של גישת ה- ADW המוצעת לבקרת מליחות הקרקע.

7 סיכום עם שאלות מנחות

מטרות המחקר תוך התייחסות לתוכנית העבודה.
מטרת העבודה הייתה זיהוי ואפיון השינויים שחלים בקרקע כבדה בעקבות השקיה ממושכת בקולחים ולקשור בין בינם בינם לבין תגובת הצמח.
עיקרי הניסויים והתוצאות.
ניסויים בפרדס אשכולית בקרקע חרסיתית במזרע היו בעונת ההשקיה הראשונה, בקיץ 2013, שני טיפולים: קולחים שניוניים ומים שפירים ובעונת ההשקיה השניה, בקיץ 2014, נוסף טיפול של קולחים מסוננים בחול. בפרדס נעשו מעקבים עתיים של תכולת רטיבות בקרקע ושל מדדים פיזיקלים וכימיים בקרקעות שנדגמו מהשדה ונבדקו במעבדה. נמשך ניסוי ליזימטרים שבו שלושה סוגי מים: שפירים, קולחים שלישוניים וקולחים שלישוניים מוגברי SAR, הנבחנים בשני סוגי קרקע: חמרה וגרומוסול ממזרע. בליזימטרים בוצעו אנליזות של מדדים כימיים בדיגומי קרקע, בתמיסת הקרקע ובנקז. בשני הניסויים, פרדס וליזימטרים, נעשה מעקב רציף ועתי של מדדים פיזיולוגים של העצים מרמת האיבר עד הצמח השלם. סימולציה לחיזוי השפעת המליחות והרכב המלחים במים על תנועת המים והמלחים בקרקע של מטע בסקלת השדה ועל קליטת המים על ידי העצים נעשתה ע"י מודל תלת-מימדי לזרימת מים והסעת מומסים בסקלת השדה. תוצאות 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 הפוטוסינתיזה והטרנספירציה ליחידת שטח עלה, ירידה בהתנגדות למעבר מים בעלה, עליה בפוטנציאל המים בעלים חשופים ובגזע (סימן לירידה בעקת המים), ירידה בריכוז פרולין בשורשים, ירידה בדליפת מומסים מהממברנות, וירידה בריכוזי הכלוריד והנתרן בעלים ובשורשים. מדדים אלה הצביעו על שיפור במצב הפיזיולוגי של העצים עם המעבר מהשקיה בקולחים להשקיה במים משפירים. במדידות של פעילות שורשים ומדדי עקה בשורשים ובעלים (פרולין כסמן) מצאנו שהשקיה בקולחים גרמה למצב עקה בעצים, אך לא נמצאו הבדלים מובהקים בהיקף הגזע. בליזימטרים בשנה השניה בקרקע גרומוסול היבול היה גבוה יותר בהשקיה בשפירים מאשר בקולחים וגם איכות הפרי הושפעה, ואילו בקרקע החולית רק בקולחים בתוספת נתרן כלורי התקבל יבול נמוך באופן מובהק מאשר בשפירים. בפרדס התקבלה במשך שנתיים מגמה של יבול גבוה בשפירים מאשר בקולחים, אך ההבדל לא היה מובהק. קרקע –בדוגמאות מחתך הקרקע שנדגמו לפני תחילת ההשקיה במים שפירים, מצאנו ירידה מהירה יותר במוליכות ההידראולית בקרקע שבתוך השורות מאשר בין השורות, המייצגות קרקע עם היסטוריה של השקיה בקולחים לעומת הרטבה במי גשמים בלבד, בהתאמה. בהשוואה של תכונות הקרקע בתום שנתיים לטיפולי ההשקיה בשפירים וקולחים מצאנו שבהשקייה בקולחים ה- ESP בחתך הקרקע היה גבוה יותר ונמצא בהתאמה ליציבות תלכידים נמוכה יותר. ההשקיה בשפירים הפחיתה את המליחות בקרקע (מוליכות חשמלית וריכוזי כלור, נתרן וסידן בקרקע), את ה- pH וריכוזי הביקרבונט, פחמן וחנקן אורגנים מסיסים. גם ריכוזי האשלגן בתמיסת הקרקע והזרחן במיצוי אולסן היו נמוכים יותר בהשקיה בשפירים מאשר בקולחים. בליזימטרים נעשתה גם השוואה בין קרקע קלה (חמרה) לקרקע כבדה (גרומוסול ממזרע) ונמצא שההשפעה השלילית של השקיה בקולחים שלישוניים על מדדי הקרקע והצמח היו ניכרים יותר בקרקע הכבדה. צריכת המים הכוללת בצמחי האשכולית בגרומוסול הייתה משמעותית נמוכה מזו שעל קרקע החמרה. טיפולי הקולחים

בחמרה צרכו כשליש מים פחות מטיפול השפירים. מאזני חנקן נכנס למערכת ויוצא בנקז מלמדים על קליטת חנקן גבוה יותר ע״י העצים בחמרה מאשר בגרומוסול, וגם על יעילות קליטת חנקן גבוה יותר בטיפול השפירים מול הקולחים. מאזני החנקן מצביעים על תהליכי אובדן חנקן גבוהים מאד בדה-ניטריפיקציה בקרקע הגרומוסול. מאזני זרחן שנבדקו מעידים על ניידות גבוה מאד של הזרחן בקרקע החמרה עם אחוז שטיפה גבוה בנקז הליזימטרים ואילו בגרומוסול היתה שטיפה אפסית של הזרחן בנקז וניידות מאד מוגבלת בכל טיפולי ההשקייה של הזרחן כלפי מטה. קרקע הגרומוסול הכילה ריכוזי בורון גבוהים שהשתחררו בנקז (ריכוזים גבוהים בסדר גודל מאשר בחמרה); בנוכחות צמחים ריכוז הבורון בקרקע גרומוסול ירד עם הזמן כתוצאה מקליטה ע״י הצמחים ושטיפה. ההשקיה בקולחים וטיפול תוספת נתרן לקולחים העלו מאוד את המוליכות החשמלית ואת ערך ה-SAR בנקז, במיוחד בנוכחות עצים. השקיה בקולחים יצרה תנאי חימזור בעומק הקרקע בליזימטרים במיוחד בקרקע הגרומוסול.

תוצאות סימולציה - עיקר הירידה במוליכות ההידרולית של הקרקע עקב האינטראקציה בין הזורם לקרקע מתרחשת בתקופת הגשמים המלווה במיהול תמיסת הקרקע בשכבת הקרקע העליונה. בתנאים של פרדס מזרע, הירידה במוליכות ההידרולית היא הפיכה, ולכן היא משתקמת במהלך תקופת ההשקיה בשני סוגי המים, המלווה בהתרכזות תמיסת הקרקע באזור בית השורשים, שמצידה, מהווה פיצוי להשפעה השלילית של הגדלת מנת ספיחת הנתרן בקרקע על המוליכות ההידרולית. תוצאות ההדמיה מראות שבתנאים של פרדס מזרע, הנטוע על קרקע חרסיתית בנוכחות מי תהום גבוהים, ההשקיה במים שפירים, אך בעיקר במים מושבים, עשויה לגרום להמלחה ולבעיות אוורור בבית השורשים, שעשויים לגרום להקטנת קליטת המים ע״י שורשי העצים ולפחיתה של היבול. עיקר הירידה בקליטת המים ע״י שורשי העצים מתרחשת בפרק זמן של פחות משנתיים, אך התהליך עשוי להמשך לאורך תקופה ארוכה יחסית, בקצב היורד עם הזמן. ההשקיה במים מושבים, מגדילה את שטפי המסה של המומסים מתחת לאזור בית השורשים ואת סכנת ההמלחה והזיהום של מי התהום. סימולציה שבחנה אפשרות של קביעת ריכוז מטרה של מלחים בבית השורשים הראתה שניתן לעשות זאת על ידי החלפת הקולחים במים שפירים בכול פעם שריכוז המלחים במרכז בית השורשים עולה על ערך הסף או על ידי השקיה בקולחים מהולים למליחות מתאימה המחושבת על ידי המודל.

מסקנות מדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו. האם הושגו מטרות המחקר לתקופת הדוח?

מטרות העבודה הושגו בכך שאפיינו את השינויים שחלים בקרקע כבדה בעקבות השקיה ממושכת בקולחים ולקשור בינם לבין תגובת הצמח (החל מרמת הצמח השלם ועד לרמה של תהליכים פיזיולוגים) להשקיה במים אלו. תוצאות העבודה אשרו את הנחת המחקר שהשקיה בקולחים בקרקע כבדה גורמת לפגיעה בתכונות פיזיקליות של הקרקע ולעליה במליחות בבית השורשים. בליזימטרים נמצאו אינדיקציות למצב של חוסר אוורור בקרקע בהשקיה בקולחים. נמצא קשר בין השפעות אלו על הקרקע לפגיעה בגדול ופעילות השורשים, פחיתה בקליטת מים, פוטנציאל המים והפוטוסינטיזה בעלים. השקיה בקולחים גרמה לעליה בריכוזי היסודות כלוריד ונתרן בשורשים ובעלים, כאשר ריכוזי הנתרן היו מעבר לערך הסף לרעילות. ההשפעה השלילית של השקיה בקולחים התבטאה בירידת יבול כבר בשנה השניה לטיפולים בעצים במערכת אינטנסיבית בליזימטרים בעוד שבפרדס ההשפעה לא הייתה מובהקת. בליזימטרים הראינו שבקרקע חולית ההשפעות השליליות של השקיה בקולחים על הקרקע והעצים קטנות מאשר בקרקע כבדה, אך תוספת של מלח נתרן כלורי שמעלה את ה- SAR גורם לנזק לקרקע ולעצים. הושגה גם מטרת המחקר לבנות מודל תלת-מימדי של פירוס תכונות הקרקע הרלבנטיות לזרימה והסעה בהתבסס על מדידות של תכונות אלה ותוך שימוש בכלים גיאו-סטטיסטיים. בעזרת הסימולציות במודל הערכנו את ההשפעה ארוכת הטווח של שימוש במים מושבים על תכונות הקרקע, על הולכת מים ומומסים ועל קליטת מים ע״י

השורשים. הדגמנו גישה מוכוונת-נתונים לבקרת המליחות בקרקע תוך שמירה על רמה רצויה של היבול ושל איכות מי התהום. לפי הסימולציות ההשפעה השלילית העיקרית של השקיה בקולחים לטווח ארוך היא על המליחות ואילו המוליכות ההידראולית בעונת ההשקיה פחות רגישה. נושא זה צריך להיבדק לטווח ארוך לאור ממצאים נוגדים בספרות, הפגיעה בתלכידים שמדדנו בתום שנתיים לניסוי וההבדל במוליכות ההידראולית הרוויה בין הקרקע בתוך השורות לקרקע בין השורות. כיוון שהשקיה בשתי איכויות מים הופעלה רק שתי עונות בפרדס ובלזימטרים יש לבחון את ההשפעות לטווח זמן ערוך יותר. בנוסף גם בגורמים שנמצאה השפעה מובהקת לגביהם יש צורך בהמשך המחקר והעמקתו להבנת מנגנוני ההשפעה.

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?

בתחילת המחקר הנחנו שמדובר במחקר ארוך טווח ושנוכל לזהות השפעות משמעותיות של השקיה במים שפירים לעומת קולחים רק לאחר זמן ארוך משלוש שנים. תוצאות העבודה הראו שגם בטווח זמן קצר של שנתיים נמדדו הבדלים משמעותיים בתכונות הקרקע ובמדדים פיזיולוגים בעצים ושניתן לתקן נזקים לקרקע ולעצים מהשקיה בקולחים בזמן קצר על ידי מעבר להשקיה בקולחים. בעזרת הסימולציה הראינו שהגורם העיקרי לנזק הוא כנראה הצטברות המלחים בבית השורשים ושניתן לצמצם מאוד את הבעיה על ידי הקטנת המליחות בקולחים. לאור תוצאות עבודה זו יש לבחון אמצעים אגרוטכניים שימנעו ו\או יצמצמו את הנזקים למטעים בהשקיה לקולחים. למטרה זו הגשנו ביחד עם קבוצת מחקר נוספת הצעת מחקר למיזם משותף בנושא פתוח שיטות למניעה וצמצום הנזקים.

הפצת הידע שנוצר בתקופת הדו " ח: פרסומים בכתב - ציטט ביבליוגרפי כמקובל בפרסום מאמר מדעי;

Russo, D., A. Laufer, G. Bardhan, 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. Journal of Hydrology. http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.04.013

מאמר נוסף נמצא בתהליכי שיפוט:

Paudel, I., Shaviv, A., Bernstein, N., Heuer, B., Shapira, O., Lukyanov, V., Bar-Tal, A., Rotbart, N., Ephrath, J., Cohen, S. 2015. Response of grapefruit (Citrus paradisi Macf.) trees on Volkameriana rootstock in different soils to treated wastewater irrigation: leaf gas exchange and related parameters. Journal of Experimental Botany

בנוסף תוצאות העבודה הוצגו בהרצאות ובפוסטרים בסמינרים וכנסים שהתקיימו בארץ:

כנס האגודה הישראלית למדעי הקרקע, 18.12.2014, מרכז וולקני, בית-דגן:

Paudel, I., Shaviv, A., Bar-Tal, A., Cohen, S. 2014. Influences of treated waste water and soil type on sap flow, water relations, plant growth and yield of grapefruits on Volkamariana rootstock in a semi-arid climate**.**

כנס סטודנטים המכון למדעי הקרקע, מים והסביבה, 29.12.2014, מרכז וולקני, בית-דגן:

Paudel, I., Ephrath, J., Cohen, S. 2014. Effects of saline treated waste water and soil on root characteristics in citrus**.**

סמינר המכון למדעי הקרקע, מים והסביבה, 13.5.2015:

אשר בר-טל, 2015. מיזם – ברור נזקי הקרקע מהשקיה ארוכת טווח בקולחים.
פרסום הדוח: אני ממליץ לפרסם את הדוח: (סמן אחת מהאופציות)
רק בספריות
√ללא הגבלה (בספריות ובאינטרנט)
חסוי – לא לפרסם.
האם בכוונתך להגיש תוכנית המשך בתום תקופת המחקר הנוכחי? אנחנו מגישים תוכנית מחקר ביחד עם קבוצה נוספת בראשות חורחה טרטיצ׳קי במסגרת מיזם בנושא שיפור הממשק בהשקיית מטעים בקולחים.

רשימת ספרות

Aroca R, Porcel R, Ruiz-Lozano JM (2012) Regulation of root water uptake under abiotic stress conditions. Journal of experimental botany 63: 43-57.

Asli S, Neumann PM (2010) Rhizosphere humic acid interacts with root cell walls to reduce hydraulic conductivity and plant development. Plant and soil 336: 313-322.

Assouline, S., and K. Narkis. 2011. Effects of long-term irrigation with treated wastewater on the hydraulic properties of a clayey soil. Water Resources Research 47: 1-12.

Aubrey DP, Teskey RO (2009) Root- derived CO2 efflux via xylem stream rivals soil CO2 efflux. New Phytologist 184: 35-40.

Ayers, R.S. and D.W. Wetscot, 1985. Water Quality for Agriculture. *FAO Irrig. Drain.*, paper 29. FAO, Rome.

Bañón S, Miralles J, Ochoa J, Franco J, Sánchez-Blanco M (2011) Effects of diluted and undiluted treated wastewater on the growth, physiological aspects and visual quality of potted lantana and polygala plants. Scientia Horticulturae 129: 869-876.

Bar-Tal, A. (2011) Nitrogenin treated waste-water-irrigation. In: Use of Treated Waste Water in Agriculture: Impacts on Soil Environment and Crop. (G. Levy, P. Fine and A. Bar-Tal, eds.) pp. 131-166. Wiley-Blackwell, UK.

Ben-Hur M (2004) Sewage water treatments and reuse in Israel. Water in the Middle East and in North Africa. Springer.

Ben-Hur, M., et al. 2009. Soil structure changes: aggregate size and soil texture effects on hydraulic conductivity under different saline and sodic conditions. Soil Research 47(7):688-696.

Borisover, M., Lordian, Anna, and Levy G.J. (2012). Water-extractable soil organic matter characterization by chromophoric indicators: effects of soil type and irrigation water quality. Geoderma 179-180:28-37.

Buffle, J., & Leppard, G. G. (1995). Characterization of aquatic colloids and macromolecules. 1. Structure and behavior of colloidal material. Environmental science & technology, 29(9), 2169-2175.

Carden DE, Walker DJ, Flowers TJ, Miller AJ (2003) Single-cell measurements of the contributions of cytosolic Na+ and K+ to salt tolerance. Plant Physiology 131: 676-683.

Chen, Y., Senesi, N., & Schnitzer, M. (1977). Information provided on humic substances by E4/E6 ratios. Soil Science Society of America Journal, 41(2), 352-358.

Cohen S, Naor A, Bennink J, Grava A, Tyree M (2007) Hydraulic resistance components of mature apple trees on rootstocks of different vigours. Journal of experimental botany 58: 4213-4224.

Deutsch, C. V., and A. G. Journel, 1998. GSLIB Geostatistical Software Library and User's Guide, 2nd ed., 369 pp., Oxford Univ. Press, New York.

Durner, W. 1994. Hydraulic conductivity estimation for soils with heterogeneous pore structure, *Water Resour. Res.*, 30, 211-223.

El Eimelech, M., and W. A. Phillip, 2011. The future of seawater desalination: Energy, technology, and the environment, *Science*, 333, 712–717.

Eshel, G., G. J. Levy, U. Mingelgrin, and M. J. Singer, Critical evaluation of the use of laser diffraction for particle-size distribution analysis, *Soil Sci*. *Soc*. *Am*. *J*., 68, 736-743, 2004.

Fares A, Alva A (1999) Estimation of Citrus Evapotranspiration By Soil Water Mass Balance1. Soil Science 164: 302-310.

Flexas J, Medrano H (2002) Drought- inhibition of photosynthesis in C3 plants: stomatal and non- stomatal limitations revisited. Annals of Botany 89: 183-189.

Ghosh, K., & Schnitzer, M. (1979). UV and visible absorption spectroscopic investigations in relation to macromolecular characteristics of humic substances. Journal of Soil Science, 30(4), 735-745.

Gupta, S. K., & Chen, K. Y. (1975). Partitioning of trace metals in selective chemical fractions of nearshore sediments. Environmental Letters, 10(2), 129-158.

Hadas E, Kislev Y (2010) Economic aspects of irrigation with treated wastewater. Treated Wastewater in Agriculture: Use and Impacts on the Soil Environment and Crops: 113-127.

Iannelli R, Giraldi D (2010) Sources and composition of sewage effluent; treatment systems and methods. Treated Wastewater in Agriculture: Use and Impacts on the Soil Environment and Crops: 1-50.

Kononova, M. M. (1966). Soil organic matter (Vol. 377). Oxford: Pergamon Press.

Kretzschmar, R., & Schäfer, T. (2005). Metal retention and transport on colloidal particles in the environment. Elements, 1(4), 205-210.

Lado, M., Bar-Tal, A. Azenkot, A. Assouline, S., Ravina, I., Erner, Y., Fine, P., Dasberg, S. and Ben-Hur, M. (2012**).** Changes in chemical properties of semiarid soils under long-term secondary-treated wastewater irrigation. Soil Science Society American Journal 76, 1358-1369

Kremen, A., Bear, J., Shavit, U., Shaviv, A. 2005. Model demonstrating the potential for coupled nitrification denitrification in soil aggregates. Environmental Science Technology 39, 4180-4188.

Levy, G.J., Fine, P., Goldstein, D., Azenkot, A., Zilberman, A., Chazan, A., Grinhut, T. 2014a. Long term irrigation with treated wastewater (TWW) and soil sodification. Biosystem Engineering, 128: 4-10.

Levy, G.J., Lordian, A., Goldstein, D., and Borisover, M. 2014b. Soil structural indices dependence on irrigation water quality and their association with chromophoric components in dissolved organic matter. European Journal of Soil Science, 65: 197-205.

López, F. J., Giménez, E., & Hernández, F. (1993). Analytical study on the analytical chemistry, 346(10-11), 984-987.

Lopez-Climent MF, Arbona V, Pérez-Clemente RM, Gómez-Cadenas A (2008) Relationship between salt tolerance and photosynthetic machinery performance in citrus. Environmental and Experimental Botany 62: 176-184.

Master, Y., Laughlin, R.J., Stevens, R.J., Shaviv, A. 2004. Nitrite formation and nitrous oxide emissions as affected by reclaimed effluent application. Journal Environmental Quality 33, 852-860.

Morgan KT, Wheaton TA, Parsons LR, Castle WS (2008) Effects of reclaimed municipal waste water on horticultural characteristics, fruit quality, and soil and leaf mineral concentration of citrus. HortScience 43: 459-464.

Mualem, Y., 1976. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. Water Resources Research 12, 513-522.

Noshadi M, Fahandej S, Sepaskhah A (2013) Effects of salinity and irrigation water management on soil and tomato in drip irrigation. International Journal of Plant Production 7: 295-312.

Paranychianakis N, Chartzoulakis K (2005) Irrigation of Mediterranean crops with saline water: from physiology to management practices. Agriculture, ecosystems & environment 106: 171-187.

Parsons LR, Wheaton TA, Castle WS (2001) High application rates of reclaimed water benefit citrus tree growth and fruit production. HortScience 36: 1273-1277.

Pedrero F, Mounzer O, Alarcón J, Bayona J, Nicolás E (2013) The viability of irrigating mandarin trees with saline reclaimed water in a semi-arid Mediterranean region: a preliminary assessment. Irrigation Science 31: 759-768.

Raveh, E. 2012. Assessing salinity tolerance in citrus: latest developments. In: A.K. Srivastava (Ed.) Advances in Citrus Nutrition. Chapter 28. Springer

Russo, D. 2013. Consequences of salinity-induced-time-dependent soil hydraulic properties on flow and transport in salt-affected soils. *Procedia Environmental Sciences* 19: 623-632.

Russo, D., and M. Buton. 1992. Statistical analysis of spatial variability in unsaturated flow parameters. Water Resources Research. 28(7):1911-1925.

Russo, D., A. Laufer, A. Silber and S. Assouline. 2009. Water uptake, active root volume and solute leaching under drip irrigation: A numerical study, Water Resour. Res., 45, W12413, doi:10.1029 /2008WR008015

Russo, D., A. Laufer, R. H. Shapira and D. Kurtzman, 2013. Assessment of solute fluxes beneath an orchard irrigated with treated sewage water: A numerical study, *Water Resour. Res*. 49, doi:10.1002/wrcr.20085.

Russo, D., J. Zaidel and A. Laufer, 2004. Numerical analysis of transport of interacting solutes in a three-dimensional unsaturated heterogeneous soil. *Vadose Zone Journal* 3: 1286-1299.

Schachtman DP, Goodger JQ (2008) Chemical root to shoot signaling under drought. Trends in plant science 13: 281-287.

Schacht, K., Marschner, B. 2015. Treated waste water irrigation effects on soil hydraulic conductivity and aggregate stability of loamy soils in Israel. J. Hydrol. Hydromech. 63:47-54

Shirshova, L., Ghabbour, E. A., & Davies, G. (2006). Spectroscopic characterization of humic acid fractions isolated from soil using different extraction procedures. *Geoderma*, 133(3), 204-216.

Silber, A., Y. Israeli, I. Elingold, M. Levi, I. Levkovitch, D. Russo, and S. Assouline, 2015. Irrigation with desalinated water: a step toward increasing water saving and crop yields, *Water Resour. Res.*, 51, doi:10.1002/2014WR016398.

Sperling O, Lazarovitch N, Schwartz A, Shapira O (2014) Effects of high salinity irrigation on growth, gas-exchange, and photoprotection in date palms (Phoenix dactylifera L., cv. Medjool). Environmental and Experimental Botany 99: 100-109.

Storey R, Walker R (1998) Citrus and salinity. Scientia Horticulturae 78: 39-81.

Tester M, Davenport R (2003) Na+ tolerance and Na+ transport in higher plants. Annals of Botany 91: 503-527.

Tal, A., 2006. Seeking sustainability: Israel's evolving water management strategy, *Science*, 313, 1081–1084.

Toze S (2006) Reuse of effluent water—benefits and risks. Agricultural water management 80: 147-159.

Van Genuchten M.T.H., 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Science Society of American Journal 44, 892-989.

van Schilfgarrde, J., L., Bernstein, J.D. Rhoades, and S.L. Rawlins, 1974. Irrigation management for salt control. *J. Irrig. Drain. Div.* IRS 100: 321-338.

Yang S, Aydin M, Kitamura Y, Yano T (2010) The impact of irrigation water quality on water uptake by orange trees. African Journal of Agricultural Research 5: 2661-2667.

Yermiyahu, U., Ben-Gal, A, Keren, R. (2011) Boron. In: Use of Treated Waste Water in Agriculture: Impacts on Soil Environment and Crop. (G. Levy, P. Fine and A. Bar-Tal, eds.) pp. 216-233. Wiley-Blackwell, UK.

8. נספחים

נספח 1 נתונים ותוצאות קרקע מפרדס מזרע

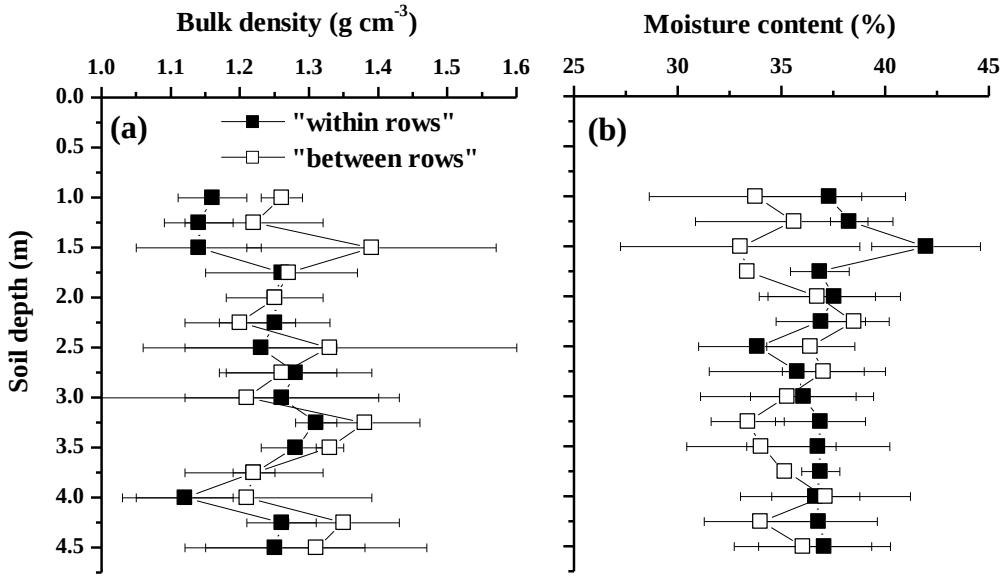
טבלה 1. תוצאות ניתוח שונות חד כווני להשוואת המוליכות ההידראולית הרוויה של דוגמאות קרקע מהדיגום "בתוך השורות" ו-"בין השורות".

Depth 0.75-1.0 m						
Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*
Between Groups	1.323169	1	1.323169	163.3156	1.79E-25	3.906849
Within Groups	1.166676	144	0.008102			
Total	2.489846	145				
Depth 1.75-2.0 m						
Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*
Between Groups	2.075379	1	2.075379	444.3785	3.2755E-62	3.871054
Within Groups	1.475813	316	0.00467			
Total	3.551192	317				
Depth 2.75-3.0 m						
Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*
Between Groups	3.586128	1	3.586128	216.1339	2.77E-34	3.88528
Within Groups	3.550722	214	0.016592			
Total	7.13685	215				
Depth 3.75-4.0 m						
Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*
Between Groups	0.508581	1	0.508581	61.41438	1.91E-13	3.883688
Within Groups	1.838412	222	0.008281			
Total	2.346993	223				

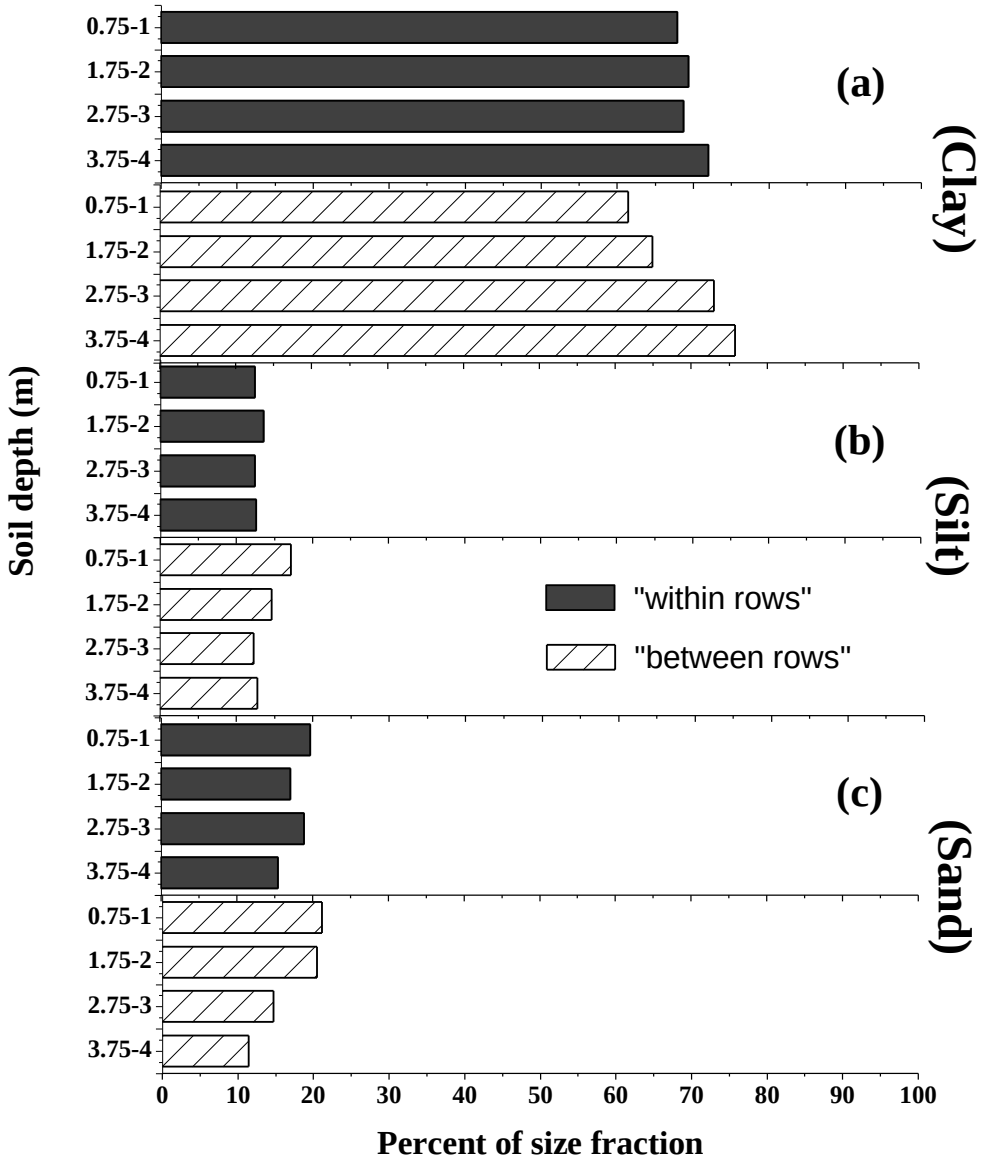
טבלה 2. מדדים מחושבים[a] מתוך התאמת עקומי עקום התאחיזה של דוגמאות קרקע מהדיגום "בתוך השורות" ו-"בין השורות".

Soil depth (m)	θs	α	n	θ_{FC}	θ_{WP}	θ_{AWC}
	gm gm^{-1}	cm^{-1}		gm gm^{-1}		
"within rows"						
1-1.25	0.699	0.034	1.237	0.610	0.270	0.340
2-2.25	0.707	0.077	1.196	0.569	0.270	0.299
3-3.25	0.683	0.015	1.250	0.640	0.310	0.330
4-4.25	0.738	0.058	1.161	0.636	0.350	0.286
"between rows"						
1-1.25	0.748	0.035	1.196	0.660	0.340	0.320
2-2.25	0.749	0.097	1.167	0.604	0.320	0.284
3-3.25	0.766	0.031	1.184	0.690	0.380	0.310
4-4.25	0.795	0.054	1.150	0.700	0.410	0.290

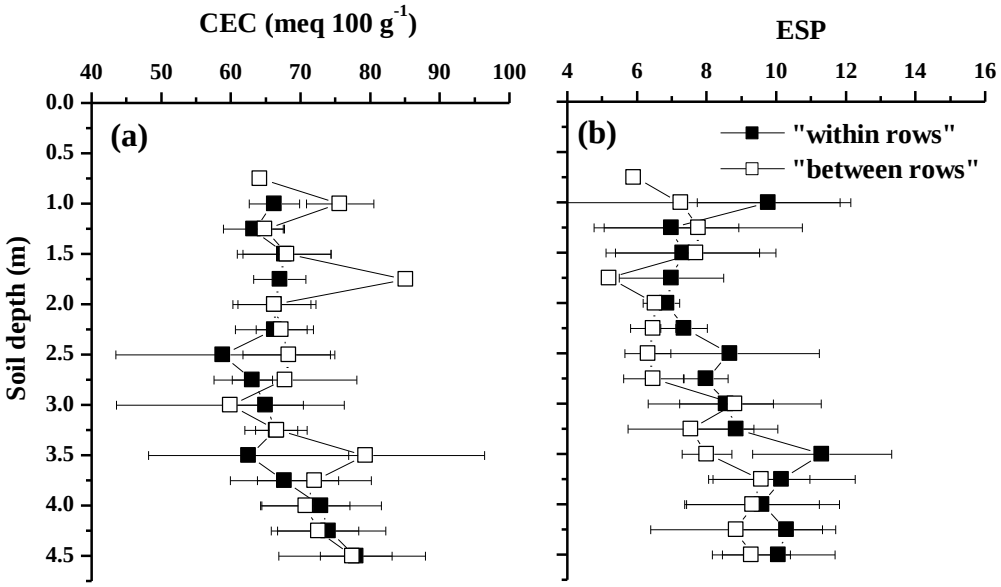
[a] θs – water content at saturation; α, n – empirical constants affecting the shape of the water retention curve; θ_{FC} – water content at field capacity; θ_{WP} – water content at wilting point; θ_{AWC} – available water content (i.e., the difference between θ_{FC} and θ_{WP}).



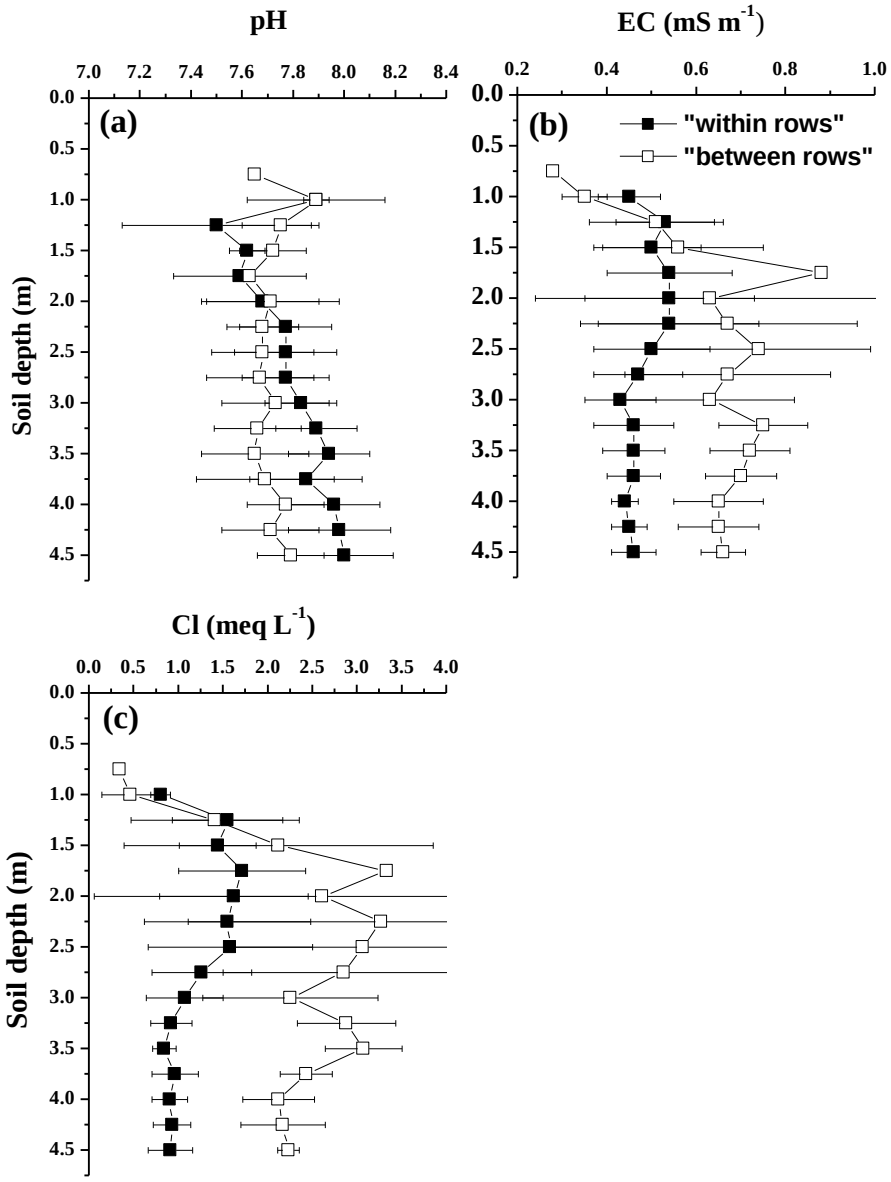
איור 1. השינוי בצפיפות גושית (a) ותכולת רטיבות (b) עם העומק עבור הדוגמאות שנלקחו בתוך השורה (within rows) ובין השורות (between rows).



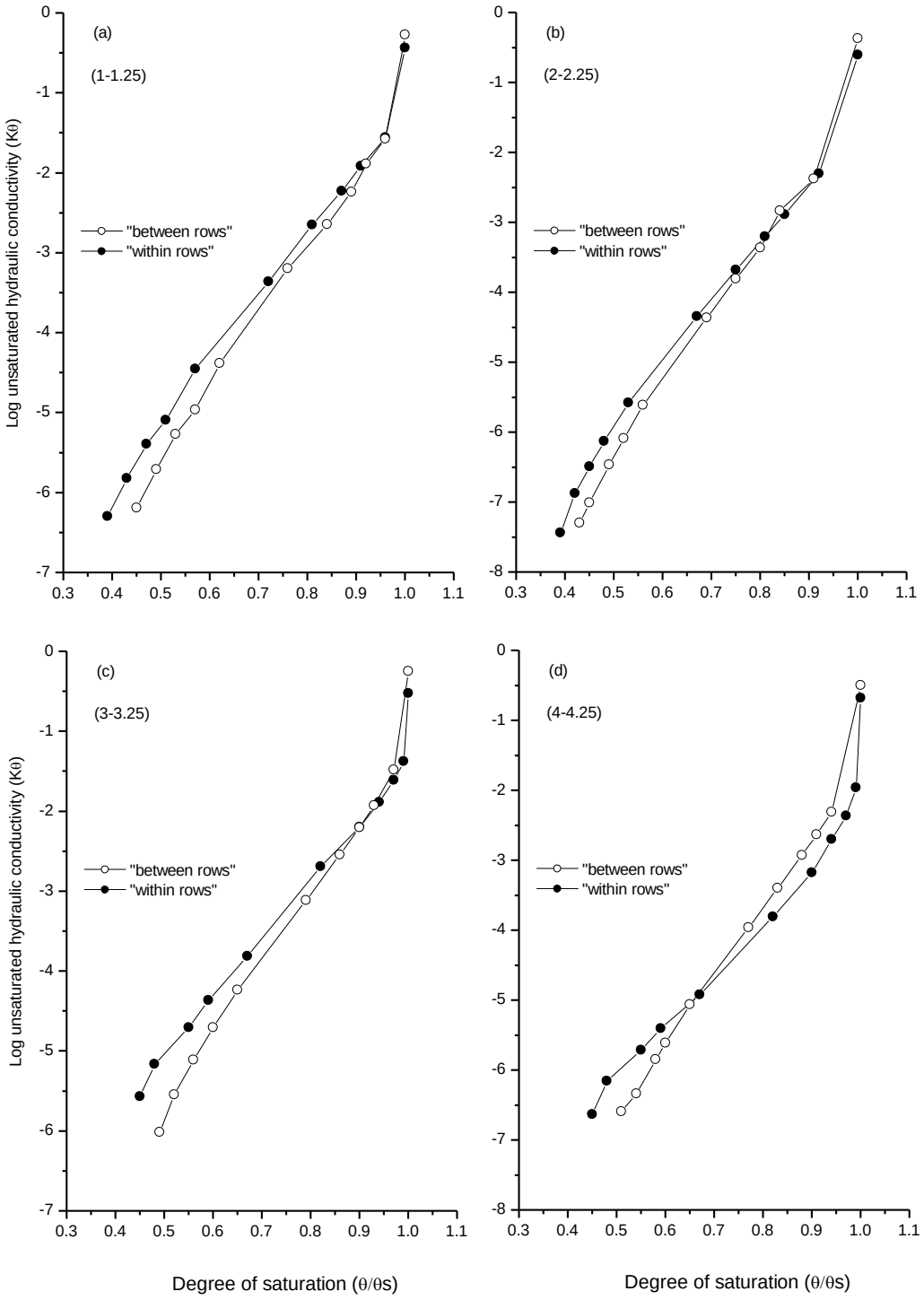
איור 2. תכולת חרסית (a), סילט (b) וחול (c) עבור הדוגמאות שנלקחו בתוך השורה (within rows) ובין השורות (between rows).



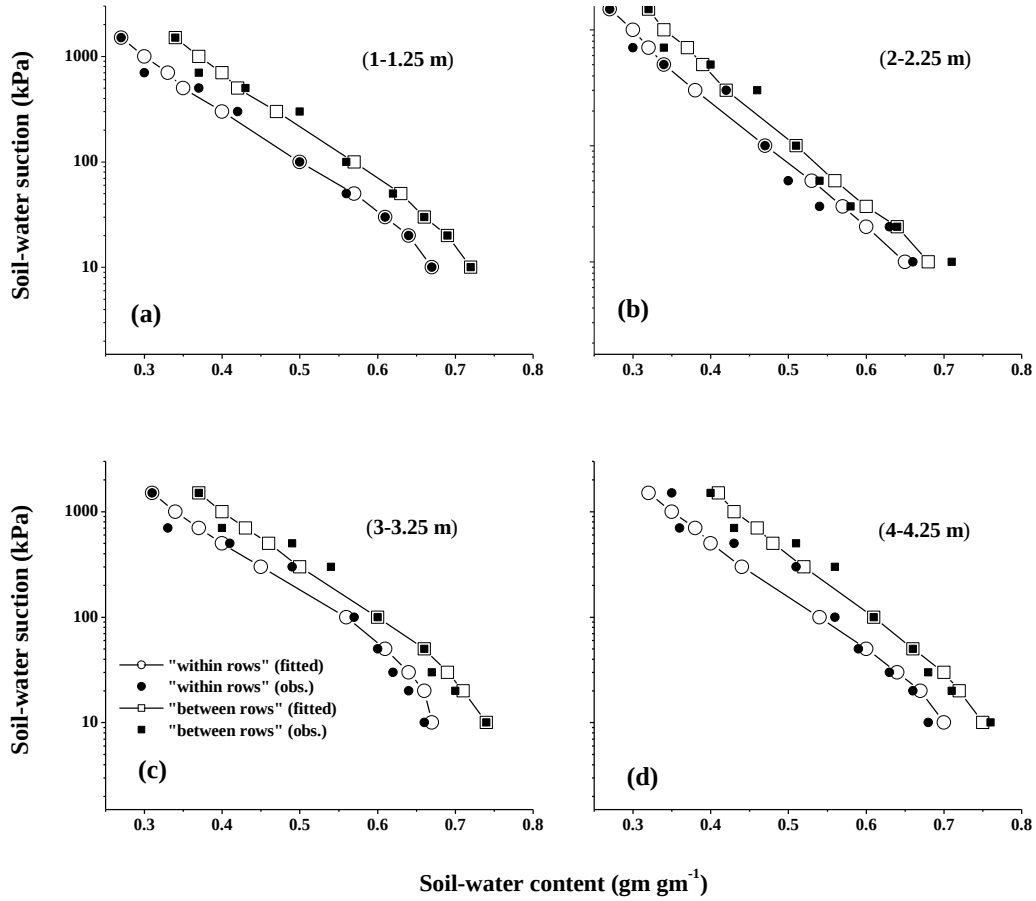
איור 3. השינוי בקיבול קטיונים חליפיים (CEC) ובאחוז נתרן ספוח (ESP) עם העומק עבור הדוגמאות שנלקחו בתוך השורה (within rows) ובין השורות (between rows).



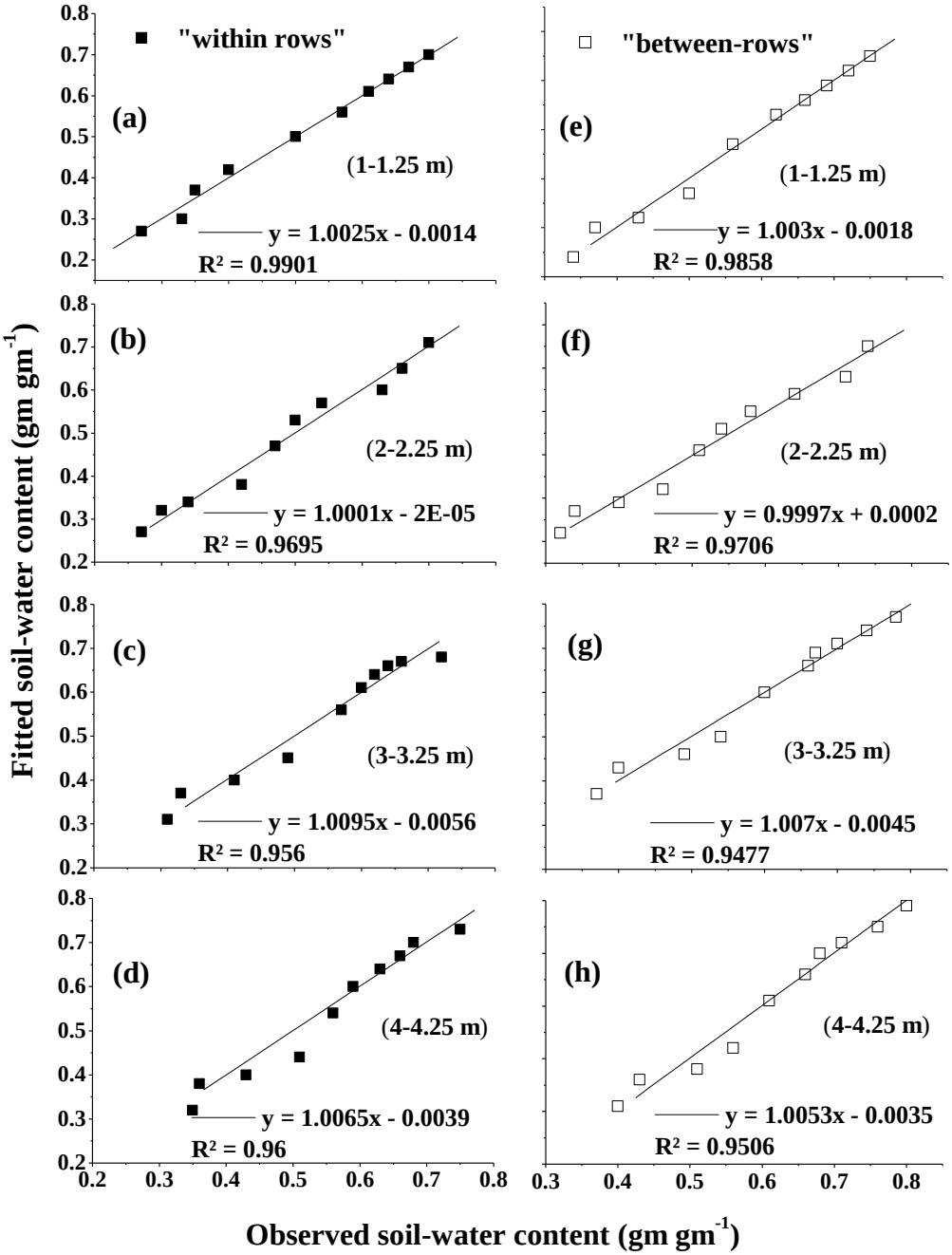
איור 4. השינוי ב pH, מוליכות חשמלית (EC) וריכוז כלוריד (Cl) עם העומק עבור הדוגמאות שנלקחו בתוך השורה (within rows) ובין השורות (between rows).



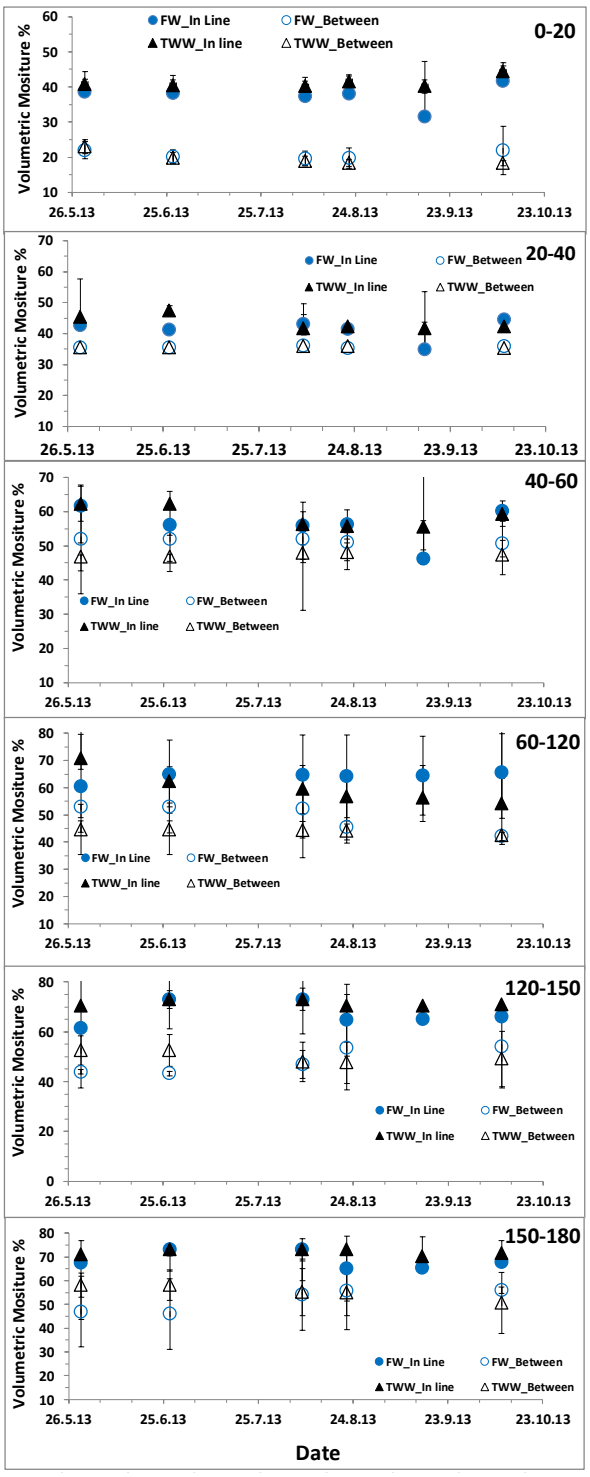
איור 5. מוליכות הידראולית באי-רוויה כתלות בדרגת הרטיבות בקרקע עבור הדוגמאות שנלקחו בתוך השורה (within rows) ובין השורות (between rows) בארבעה עומקים שונים בפרדס מזרע לפני תחילת טיפולי ההשקיה.



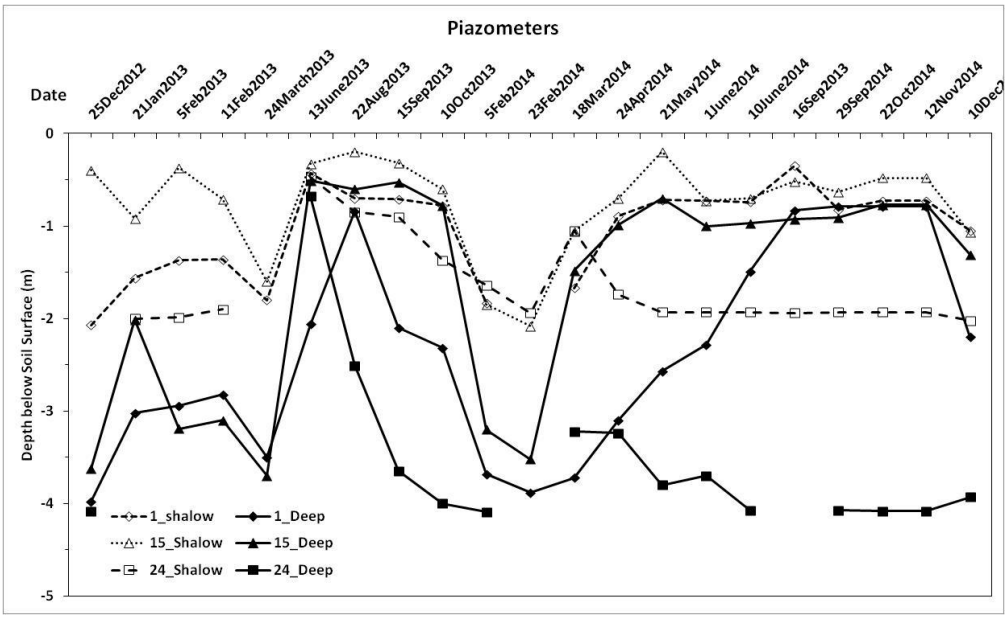
איור 6. עקומי תאחיזה מדודים ומחושבים עבור הדוגמאות שנלקחו בתוך השורה (within rows) ובין השורות (between rows) בארבעה עומקים שונים.



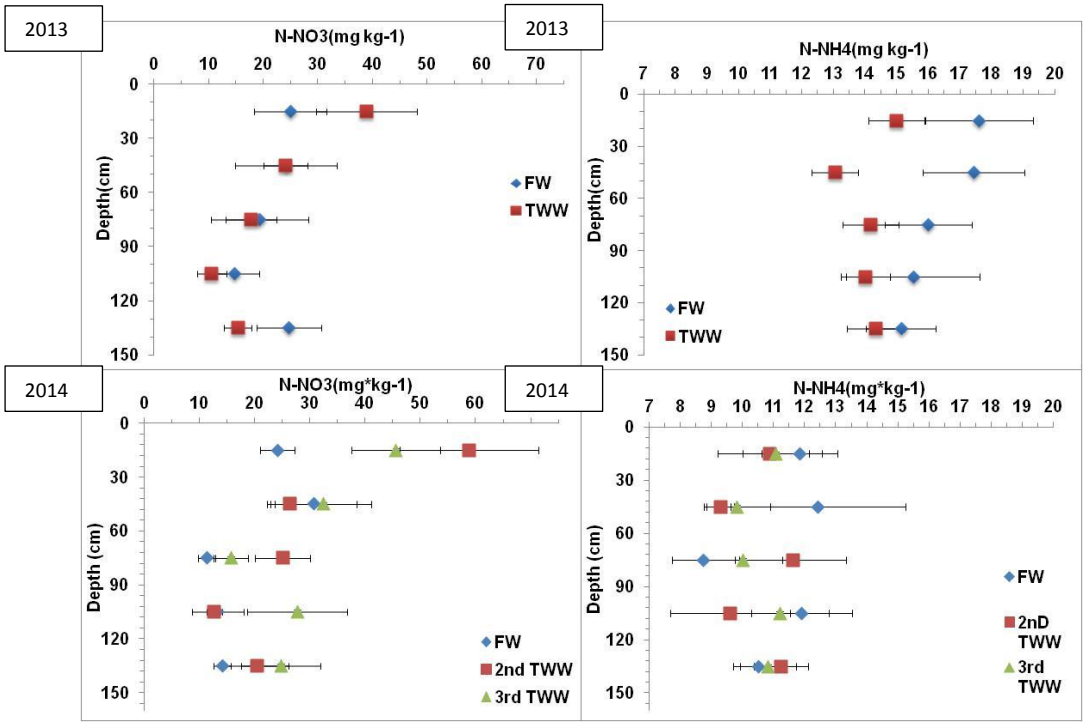
איור 7. תוצאות מחושבות מול תוצאות מדודות של עקומי התאחיזה עבור הדוגמאות שנלקחו בתוך השורה (within rows) ובין השורות (between rows) בארבעה עומקים שונים.



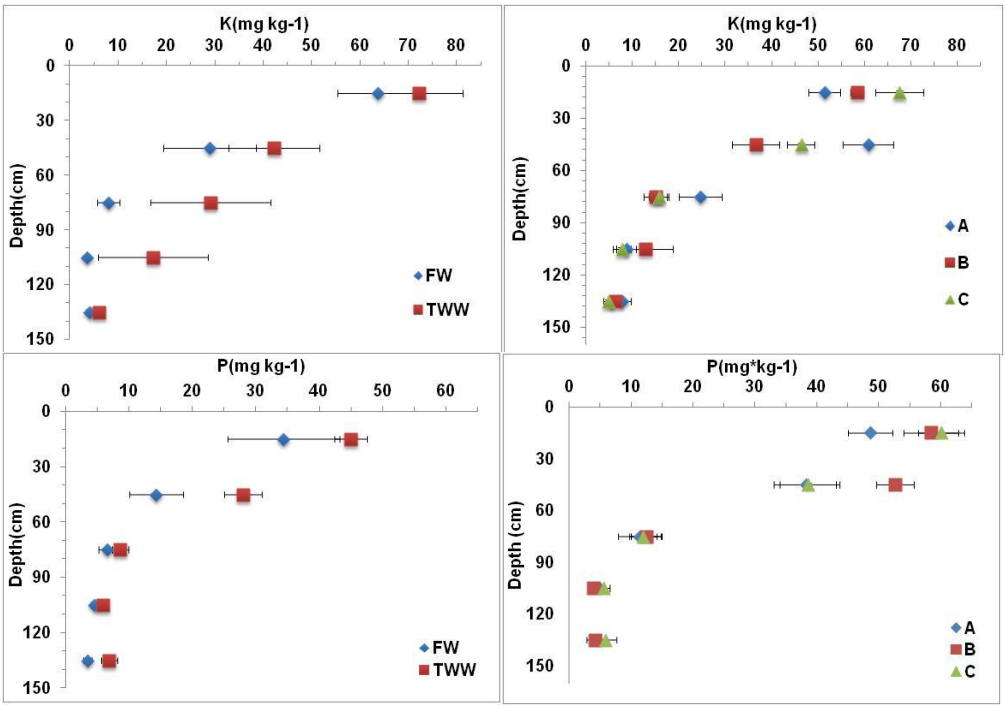
איור 8. מהלך הרטיבות בקרקע בפרדס מזרע בעונת ההשקיה 2013 בתוך השורות (in line) ובין השורות (Between) בהשקיה בשפירים (FW) ובקולחים (TWW).



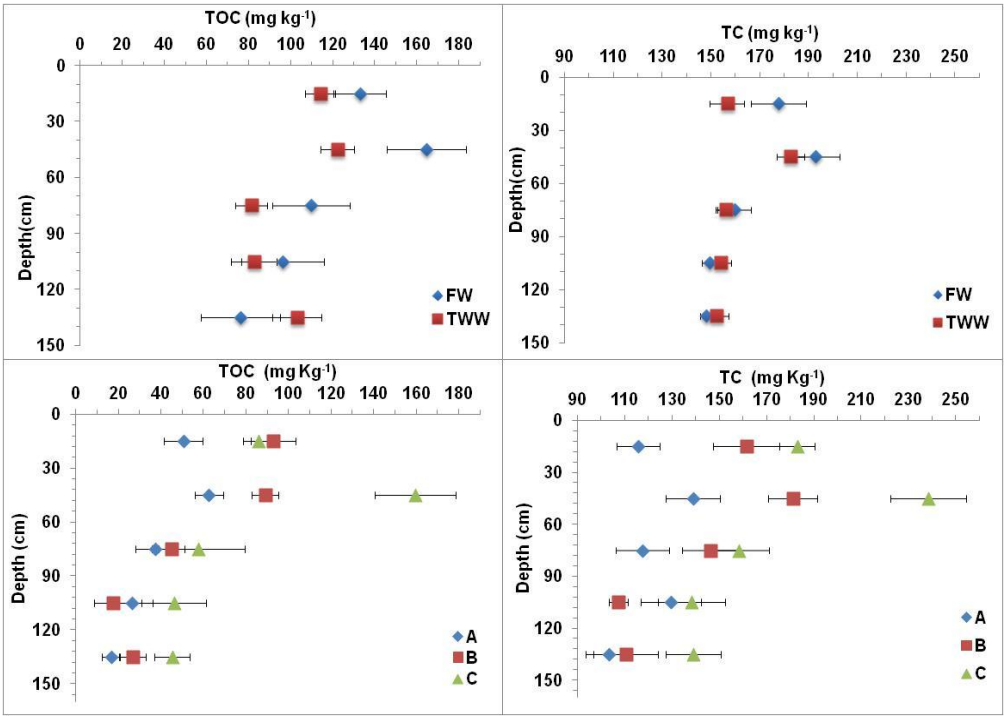
איור 9. מהלך גובה המים בפיאזומטרים בפרדס מזרע בשתי עונות השקיה 2013 ו- 2014. פיאזומטרים עד עומק 4 מ' (deep), פיאזומטרים עד עומק 2 מ' (shalow) בתוך השורות (in line) ובין השורות (Between). המספרים הם מספרי חלקות, בכולם השקיה בקולחים.



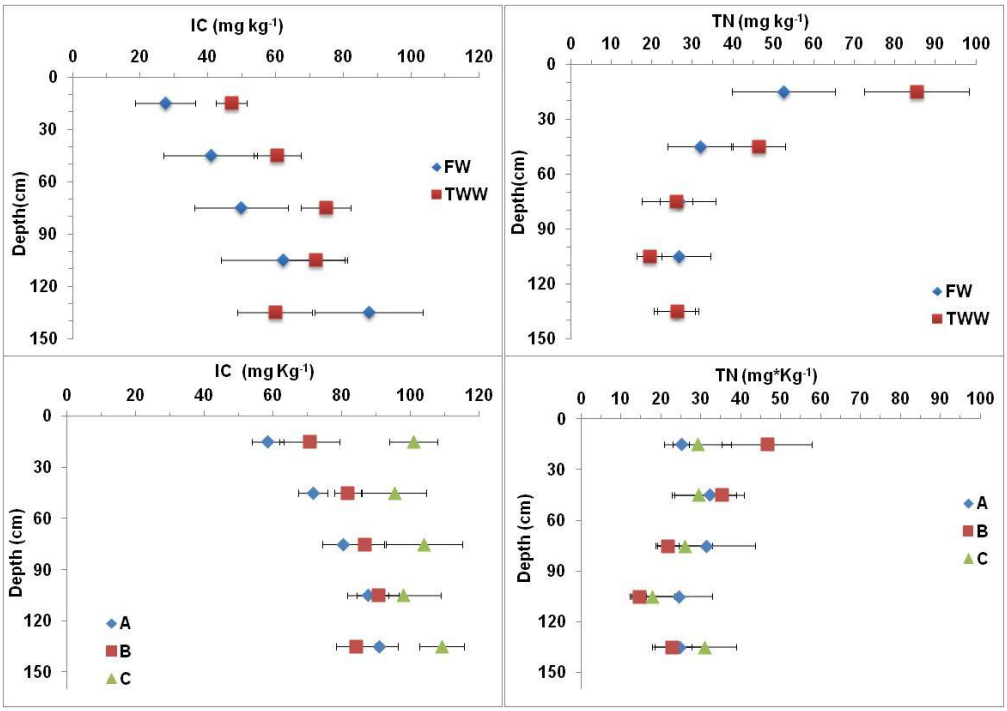
איור 10. אמון וחנקה זמינים בקרקע (מיצוי ב- 1N KCl) בתום עונת ההשקיה הראשונה והשנייה (אוקטובר 2013 ואוקטובר 2014). הסימונים ב-2013 : שפירים - FW, קולחים – TWW ; הסימונים ב-2014 : שפירים - FW, קולחים –2nd TWW, קולחים סינון חול – 3rd TWW



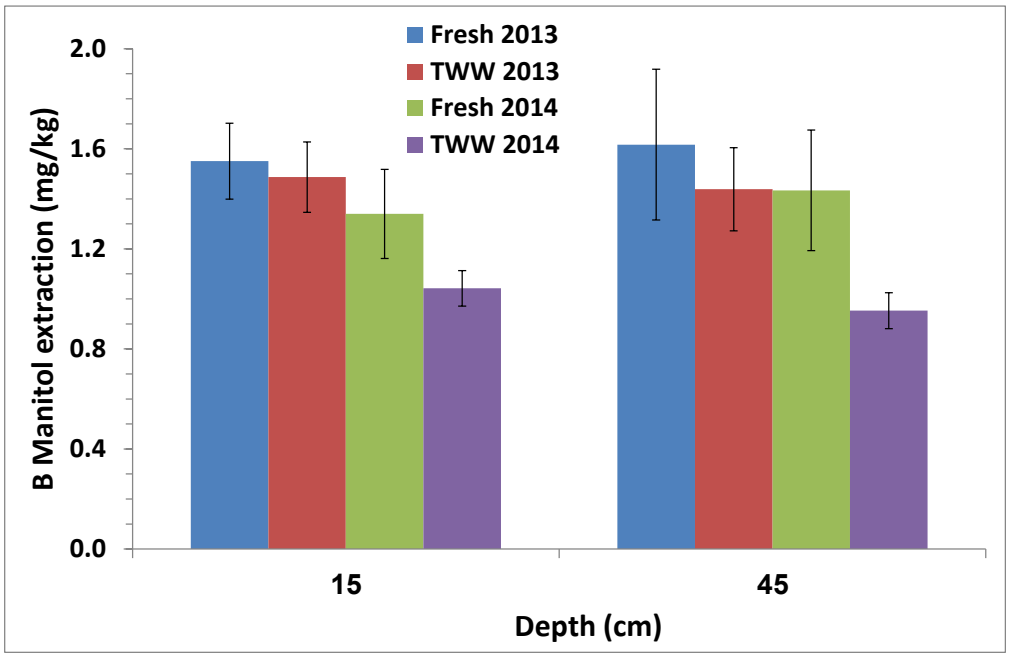
איור 11. אשלגן בתמיסת הקרקע (מיצוי מים קרקע 1\5) וזרחן זמין במיצוי אולסן בתום עונת ההשקיה הראשונה והשנייה (אוקטובר 2013 ואוקטובר 2014). הסימונים ב-2013 : שפירים - FW, קולחים – TWW ; הסימונים ב-2014 : שפירים - A, קולחים –B, קולחים סינון חול – C



איור 12. פחמן כללי (TC) ופחמן אורגני (TOC) בתמיסת הקרקע (מיצוי מים קרקע 1\5) בתום עונת ההשקיה הראשונה והשנייה (אוקטובר 2013 ואוקטובר 2014). הסימונים ב-2013 : שפירים - FW, קולחים – TWW ; הסימונים ב-2014 : שפירים - A, קולחים –B, קולחים סינון חול – C



איור 13. פחמן אנאורגני מסיס (IC) וחנקן כללי מסיס אורגני (TN) בתמיסת הקרקע (מיצוי מים קרקע 1\5) בתום עונת ההשקיה הראשונה והשנייה (אוקטובר 2013 ואוקטובר 2014). הסימונים ב-2013 : שפירים - FW, קולחים – TWW ; הסימונים ב-2014 : שפירים - A, קולחים –B, קולחים סינון חול – C



איור 14. בורון בקרקע במיצוי מניטול בתום עונת ההשקיה הראשונה והשנייה (אוקטובר 2013 ואוקטובר 2014). שפירים - FW, קולחים – TWW

נספח 2: נתוני ותוצאות מים וקרקע בניסוי ליזימטרים בטכניון

טבלה 1: בדיקות קרקע גרומוסול, מאי 2014, שלושה עומקי דגום לליזימטר, טיפול 1- השקייה במים שפירים, טפול 2+3 השקייה בקולחים, a- עומק עליון, b- אמצע, c-עומק תחתון.

EC	pH	Mn	P	Fe	Mg	Ca	K	Na	N-NO2+3	N-NH4			
		µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g		עומק	טיפול
1.08	7.10	0.01	5.76	2.98	34.6	86	795	206	28.3	31.6	avg	A	1
0.06	0.29		4.27	2.65	12.1	20	43	24	27.3	4.3	std		
1.13	7.41	0.38	9.35	9.15	12.4	40	134	149	18.1	5.0	avg	B	1
0.63	0.15	0.42	6.91	5.27	2.8	5	12	8	9.3	1.4	std		
0.84	7.40	<0.02	0.65	0.71	47.5	124	161	251	88.1	9.2	avg	C	1
0.28	0.05		0.26	0.61	10.6	28	36	23	17.2	4.1	std		
0.56	7.12	0.17	4.44	3.79	22.9	56	74	247	21.1	6.6	avg	A	2+3
0.30	0.24	0.14	2.26	1.64	8.5	18	21	80	5.2	1.6	std		
0.63	7.44	<0.02	2.79	1.56	23.2	75	110	238	23.7	3.8	avg	B	2+3
0.05	0.07		1.56	0.73	5.2	18	18	38	4.5	0.8	std		
1.17	7.37	<0.02	1.27	0.06	70.8	187	170	345	24.4	8.2	avg	C	2+3
0.30	0.11		0.77	0.02	17.1	67	52	86	8.9	4.6	std		

טבלה 2 : בדיקות קרקע חמרה, מאי 2014, שלושה עומקי דגום לליזימטר

טיפול 1 – השקייה במים שפירים, 2- השקייה בקולחים שלישוניים+ נתרן, 3- השקיה בקולחים שלישוניים, a- עומק עליון, b- אמצע, c-עומק תחתון.

EC	pH	Mn	P	Fe	Mg	Ca	K	Na	N-NO2+3	N-NH4			
		µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g			
												עומק	טיפול
0.48	7.45	0.36	4.61	37.0	10.4	14.3	57.2	32.3	3.03	4.73	avg	A	1
0.03	0.05	0.07	2.95	5.4	4.4	11.9	20.2	3.4	1.81	2.59	std		
0.36	7.61	0.19	4.54	24.8	11.7	11.8	39.4	38.6	2.14	2.94	avg	B	1
0.04	0.02	0.05	0.65	7.1	1.7	0.1	6.2	1.4	0.19	0.45	std		
0.15	7.42	0.04	4.65	5.7	11.5	21.9	55.9	33.8	4.61	3.93	avg	C	1
0.04	0.31	0.02	0.79	2.4	2.6	9.9	9.4	7.3	2.52	1.14	std		
0.40	7.42	0.23	5.24	26.3	9.2	19.2	59.9	63.6	5.97	3.84	avg	A	2
0.10	0.18	0.16	0.79	21.3	1.5	8.4	0.7	4.9	3.53	1.22	std		
0.26	7.43	0.15	3.73	7.2	9.4	22.5	49.4	60.0	4.92	3.57	avg	B	2
0.13	0.06	0.17	1.12	3.4	1.5	0.6	24.9	18.2	2.99	1.56	std		
0.18	7.40	0.06	4.77	10.8	10.4	25.0	56.0	82.7	18.12	6.55	avg	C	2
0.08	0.17	0.05	0.30	0.9	0.6	1.0	22.8	18.4	9.51	3.97	std		
0.37	7.25	0.48	4.25	15.6	7.1	14.1	29.4	62.5	4.83	20.05	avg	A	3
0.20	0.19	0.69	0.13	3.5	1.3	1.5	0.8	7.2	2.90	1.20	std		
0.48	7.38	0.06	3.28	7.7	10.1	18.6	57.2	46.2	3.29	3.69	avg	B	3
0.26	0.13	0.02	0.90	3.2	1.6	2.2	8.8	11.9	1.35	1.89	std		
0.45	7.37	0.28	3.59	18.7	10.6	16.3	18.4	64.3	4.11	2.38	avg	C	3
0.16	0.12	0.14	0.27	1.6	0.4	0.8	2.2	3.3	0.07	0.27	std		

טבלה 3: בדיקות קרקע גרומוסול, נובמבר 2014, שלושה עומקי דגום לליזימטר, טיפול 1- השקייה במים שפירים, טפול 2+3 השקייה בקולחים, a- עומק עליון, b- אמצע, c-עומק תחתון.

EC	pH	B	Mn	P	Fe	Mg	Ca	K	Na	N-NO3+2	N-NO2	N-NH4			
		µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g		עומק	טיפול
0.33	7.69	0.29	0.16	11.4	21.8	19.4	48.7	61.3	141.3	33.0	<0.5	11.4	avg	A	1
0.04	0.25	0.10	0.09	1.9	10.3	1.8	3.0	12.0	40.8	10.5		5.6	std		
0.48	7.54	0.36	0.10	6.5	8.5	21.7	61.7	76.3	223.1	25.2	<0.5	7.7	avg	B	
0.06	0.07	0.06		4.5	6.6	6.7	18.3	21.6	15.8	16.4		4.4	std		
0.59	7.48	0.40	<0.02	1.5	1.5	35.0	95.6	93.2	212.0	49.7	<0.5	10.3	avg	C	
0.13	0.03	0.04		1.1	1.1	15.4	35.8	17.6	13.8	22.0		7.1	std		
0.40	7.75	0.38	0.20	8.4	27.7	20.4	53.8	61.7	164.1	15.6	<0.5	5.7	avg	A	2+3
0.10	0.09	0.06	0.04	2.3	13.2	4.7	16.0	13.4	29.2	9.6		1.6	std		
17.93	23.93	0.36	0.15	7.3	18.6	20.1	55.7	86.2	236.4	18.8	<0.5	6.9	avg	B	
0.14	0.16	0.09	0.08	4.4	16.0	4.7	14.5	25.6	78.5	9.6		4.3	std		
0.63	7.59	0.44	0.18	2.1	8.7	27.5	72.9	86.9	288.7	36.3	<0.5	5.7	avg	C	
0.05	0.23	0.18	0.06	1.9	14.0	11.1	29.6	22.1	45.9	29.0		3.4	std		
0.27	7.79	0.34				28.0	51.2	61.4	123.3	8.6	<0.5	5.7		A	4
0.28	7.74	0.33				18.8	48.2	60.2	130.9	11.6	<0.5	4.2		B	
0.52	7.64	0.34				34.0	97.0	103.2	167.6	56.7	<0.5			C	
0.55	7.23	0.22				26.6	89.4	72.4	154.2	47.0	<0.5	6.6		A	5
0.39	7.58	0.3				19.9	58.5	75.1	116.3	23.8	<0.5	5.49		B	
0.63	7.59	0.31				41.5	112.0	97.6	177.3	59.5	<0.5	4.05		C	

טבלה 4: בדיקות קרקע חמרה, נובמבר 2014, שלושה עומקי דגום לליזימטר

טיפול 1 – השקייה במים שפירים, 2- השקייה בקולחים+ נתרן, 3- השקיה בקולחים, - עומק עליון, b- אמצע, c-עומק תחתון, 4- בקורת - השקייה בקולחים ללא צמחים, 5- בקורת השקייה במים שפירים ללא צמחים.

EC	pH	B	Mn	P	Fe	Mg	Ca	K	Na	N-NO3+2	N-NO2	N-NH4			
		µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g			
														עמק	טיפול
0.5	7.0	0.25	0.5	10.4	52.5	31.3	32.6	40.4	124.2	12.3	<0.5	5.2	avg	A	1
0.1	0.0	0.04	0.2	0.7	14.0	5.5	5.8	9.8	11.3	5.9		3.5	std		
0.4	7.1	0.25	0.5	7.8	59.1	28.4	28.4	23.9	123.3	4.0	<0.5	4.0	avg	B	
0.1	0.1	0.04	0.0	0.5	1.3	2.1	2.7	5.1	14.4	0.6		0.8	std		
0.6	7.1	0.24	0.4	7.6	35.2	36.5	41.4	26.5	170.9	10.2	<0.5	5.7	avg	C	
0.1	0.0	0.06	0.1	1.0	10.1	6.5	8.1	16.6	21.2	3.0		3.9	std		
0.5	6.9	0.25	0.4	11.6	44.8	33.5	36.6	32.0	169.2	10.7	<0.5	8.1	avg	A	2
0.0	0.1	0.03	0.1	0.5	13.0	3.8	4.2	7.4	21.2	3.8		2.7	std		
0.5	7.1	0.21	0.4	10.0	47.2	30.5	33.3	33.5	165.2	3.9	<0.5	8.4	avg	B	
0.1	0.1	0.01	0.1	0.6	8.0	3.7	4.6	7.9	24.9	0.8		2.2	std		
0.7	7.3	0.21	0.3	9.5	34.0	38.1	44.6	33.6	238.0	6.3	<0.5	7.9	avg	C	
0.2	0.2	0.03	0.1	1.3	11.9	7.0	8.7	15.3	43.2	2.9		4.3	std		
0.3	6.6	0.20	0.6	7.6	69.8	24.3	23.5	32.7	90.2	5.3	<0.5	4.0	avg	A	3
0.1	0.2	0.03	0.2	1.3	29.3	4.9	4.8	8.7	9.7	2.1		1.4	std		
0.3	6.9	0.20	0.7	9.2	74.4	25.9	24.9	34.0	101.2	3.2	<0.5	3.4	avg	B	
0.0	0.1	0.03	0.3	0.9	37.7	6.6	4.8	8.9	15.0	0.3		0.7	std		
0.4	7.1	0.18	0.6	7.5	54.6	25.8	29.7	35.7	118.7	4.9	<0.5	3.8	avg	C	
0.0	0.1	0.02	0.1	0.1	10.6	2.0	2.5	8.7	14.2	0.8		0.5	std		
0.292	6.53	0.13	0.21	8.4	23.2	14.7	16.4	19.4	91.3	4.9	< 0.5	4.13		A	4
0.304	6.62	0.19	0.69	7.7	68.7	23.6	22.7	26.4	89.6	5.0	< 0.5	2.88		B	
0.325	6.78	0.14	0.35	7.1	38.7	22.4	25.5	13.0	103.2	6.4	< 0.5	3.14		C	
0.271	6.58	0.15	0.29	11.5	30.8	13.9	16.1	25.4	79.6	5.9	< 0.5	3.74		A	5
0.338	6.8	0.18	0.53	8.6	48.9	23.0	25.2	27.0	98.0	4.1	< 0.5	3.17		B	
0.332	7.02	0.16	0.42	6.9	38.8	23.7	28.4	13.8	98.8	6.5	< 0.5	3.28		C	

טבלה 5: שינויים ברמות אמון (מיצוי KCL) וזרחן מיצוי מימי, בקרקע גרומוסול, עבור דיגומי קרקע שנעשו בין מאי 2013 ועד נובמבר 2014. עבור טיפול 1- השקייה במים שפירים, טפול 2+3 השקייה בקולחים, a- עומק עליון, b- אמצע, c-עומק תחתון. ערך התחלתי בתחתית הטבלה מייצג בדיקות הקרקע לפני תחילת הניסוי.

Phosphorus - זרחן				Ammonium - אמוניום					Grumosol	
נוב-14	מאי-14	נוב-13	מאי-13	דצמ-14	מאי-14	נוב-13	מאי-13			
µg/g				µg/g				עומק	טיפול	חזרה
11.4	5.8	3.9	6.2	11.4	31.6	11.8	6.2	A	1	avg
1.9	4.3	1.4	2.5	5.6	4.3	3.0	0.9			std
6.5	9.4	7.9	6.4	7.7	5.0	14.0	5.6	B	------"------	avg
4.5	6.9	0.2	2.5	4.4	1.4	2.6	0.5			std
1.5	0.6	1.1	3.1	10.3	9.2	17.7	98.2	C	------"------	avg
1.1	0.3	0.6	2.9	7.1	4.1	6.9	1.6			std
8.4	4.4	4.9	8.3	5.7	6.6	11.5	8.5	A	2+3	avg
2.3	2.3	1.2	2.2	1.6	1.6	3.0	1.0			std
7.3	2.8	4.2	6.4	6.9	3.8	15.0	21.4	B	------"------	avg
4.4	1.6	2.3	3.1	4.3	0.8	5.8	14.0			std
2.1	1.3	0.7	3.3	5.7	8.2	35.5	98.5	C	------"------	avg
1.9	0.8	0.4	4.1	3.4	4.6	30.6	18.9			

ערך	התחלתי	22.1 (2.1)	6.2(0.52)

טבלה 6: שינויים ברמות בורון במיצוי מימי, בקרקע גרומוסול, עבור דיגומי קרקע שנעשו בין מאי 2013 ועד נובמבר 2014. עבור טיפול 1- השקייה במים שפירים, טפול 2+3 השקייה בקולחים, a- עומק עליון, b- אמצע, c-עומק תחתון. ערך התחלתי בתחתית הטבלה מייצג בדיקות הקרקע לפני תחילת הניסוי.

Boron בורון				Grumosol		
דצמ-14	מאי-14	נוב-13	מאי-13			
µg/g				עומק	טיפול	חזרה
0.29	0.68	0.23	1.04	A	1	avg
0.10	0.05	0.08	0.67			std
0.36	0.39	0.33	1.26	B	------"------	avg
0.06	0.05	0.07	0.26			std
0.40	0.58	0.39	1.08	C	------"------	avg
0.04	0.14	0.09	0.45			std
0.38	0.55	0.29	0.30	A	2+3	avg
0.06	0.15	0.07	0.52			std
0.36	0.44	0.25	0.83	B	------"------	avg
0.09	0.04	0.10	0.17			std
0.44	0.52	0.25	0.56	C	------"------	avg
0.18	0.11	0.12	0.21			

ערך	התחלתי	0.8/0.1

טבלה 7: שינויים ברמות אמון (מיצוי KCL) וזרחן מיצוי מימי, בקרקע חמרה, עבור דיגומי קרקע שנעשו בין מאי 2013 ועד נובמבר 2014. עבור טיפול 1- השקייה במים שפירים, טפול 2+3 השקייה בקולחים, - בקורת - השקייה בקולחים ללא צמחים, 5- בקורת השקייה במים שפירים ללא צמחים. a- עומק עליון, b- אמצע, c-עומק תחתון. ערך התחלתי בתחתית הטבלה מייצג בדיקות הקרקע לפני תחילת הניסוי.

Phosphorus - זרחן			Ammonium - אמוניום					Sandy Loan
נוב-13	מאי-14	דצמ-14	נוב-13	מאי-14	דצמ-14			
µg/g			µg/g			עומק	טיפול	חזרה
6.2	4.6	10.4	8.8	4.7	5.2	A	1	avg
0.6	3.0	0.7	2.9	2.6	3.5			std
6.4	4.5	7.8	9.3	2.9	4.0	B	-----"-----	avg
0.8	0.6	0.5	2.5	0.4	0.8			std
6.1	4.7	7.6	13.2	3.9	5.7	C	-----"-----	avg
1.7	0.8	1.0	12.4	1.1	3.9			std
6.9	5.2	11.6	9.2	3.8	8.1	A	2	avg
1.9	0.8	0.5	4.3	1.2	2.7			std
6.5	3.7	10.0	8	3.6	8.4	B	-----"-----	avg
0.8	1.1	0.6	0.3	1.6	2.2			std
6.4	4.8	9.5	6.8	6.5	7.9	C	-----"-----	avg
2.4	0.3	1.3	1.1	4.0	4.3			std
6.5	4.3	7.6	9	20.0	4.0	A	3	avg
1.3	0.1	1.3	1.6	1.2	1.4			std
7	3.3	9.2	7.8	3.7	3.4	B	-----"-----	avg
1.1	0.9	0.9	1	1.9	0.7			std
6	3.6	7.5	7.6	2.4	3.8	C	-----"-----	avg
1.2	0.3	0.1	1	0.3	0.5			std
6.7		11.4	7.9		4.1	A	4	avg
								std
8.8		9.8	8.1		3.6	B	-----"-----	avg
								std
7.4		8.0	8.6		3.8	C	-----"-----	avg
								std
7.4		9.9	7.5		3.9	A	5	avg
								std
7.5		8.1	7.3		3.0	B	-----"-----	avg
								std
7.5		7.0	11.6		3.2	C	-----"-----	avg

ערך התחלתי	9.7/1.1	2.1/0.2

טבלה 8 : זמינות בורון ומאפייני חומר אורגני בבדיקות קרקע –בטבלה ראשונה – **גרומוסול** , בטבלה בדף שני תוצאות עבור **חמרה**. המקורות שמתארים ב\שיטות הבדיקה מתוארים בתחתית הטבלה. הסבר לפרמרטרים, וגם רפרנסים עבור הבדיקות ומשמעותן מוצגים בהמשך לטבלאות.

Sandy Loam

		*Available Boron		Absorption **254 nm	***e4/e6 ratio
Treatment		**Nov 13**	**Nov 14**	**Nov 14**	**Nov 14**
Fresh water	**avr**	0.167	0.070	2.638	2.9
	sd	0.063	0.073	1.122	0.1
	n	10	10	10	10
RWW + Na	**avr**	0.204	0.040	3.331	3.0
	sd	0.067	0.022	0.811	0.2
	n	10	10	12	12
RWW	**avr**	0.064	0.077	3.405	3.3
	sd	0.031	0.057	1.239	0.1
	n	3.0	12	12	12
No plants	**avr**	0.064	**-**	1.996	4.2
RWW	**sd**	0.031	**-**	0.985	0.1
	n	3		3	3

Grumosol

Treatment		*Available Boron		Absorption **254 nm		***e4/e6 ratio	
		Nov 13	Nov 14	Nov 13	Nov 14	Nov 13	Nov 14
Fresh water	**avr**	1.434	0.500	0.438	0.511	2.8	7.8
	sd	0.202	0.138	0.166	0.388	0.5	2.3
	n	9	9	9	9	9	9
RWW	**avr**	1.534	0.456	0.343	0.642	2.5	9.1
	sd	0.326	0.219	0.253	0.443	0.5	1.9
	n	18	18	18	16	18	18
No plants	**avr**	1.231	0.314	0.526	0.876	3.2	7.6
RWW	**sd**	0.296	0.113	0.304	0.558	0.6	5.5
	n	3	3	3	3	3	3
No plants	**avr**	1.262	0.307	0.274	0.282	2.6	>>8
Fresh water	**sd**	0.289	0.066	0.197	0.055	0.1	
	n	3	3	3	3	3	3

*Available Boron for direct determination by azomethine-H method, (López et al., 1993), presumably dissolved (boric acid, borates) and (easy) exchangeable compounds.

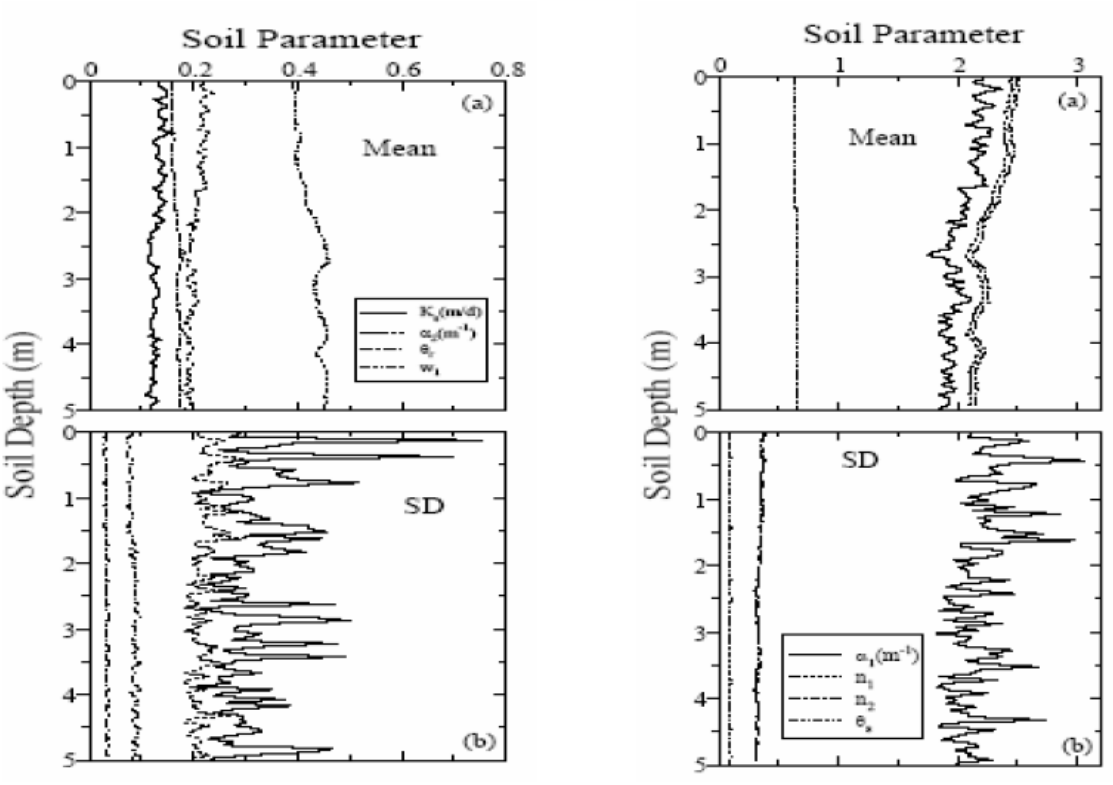
. **e254 – light absorption at λ 254 nm, an indication of dissolved (water mobile) organic matter content (Kononova, 1966; Ghosh and Schnitzer, 1979).

**e4/e6 – ration of light absorption at λ 465 and 665 nm, indicating DOM condensation and aromaticity (maturation). The lower e4/e6 index the higher DOM condensation level (Chen et al., 1977; Shirshova et al., 2006).

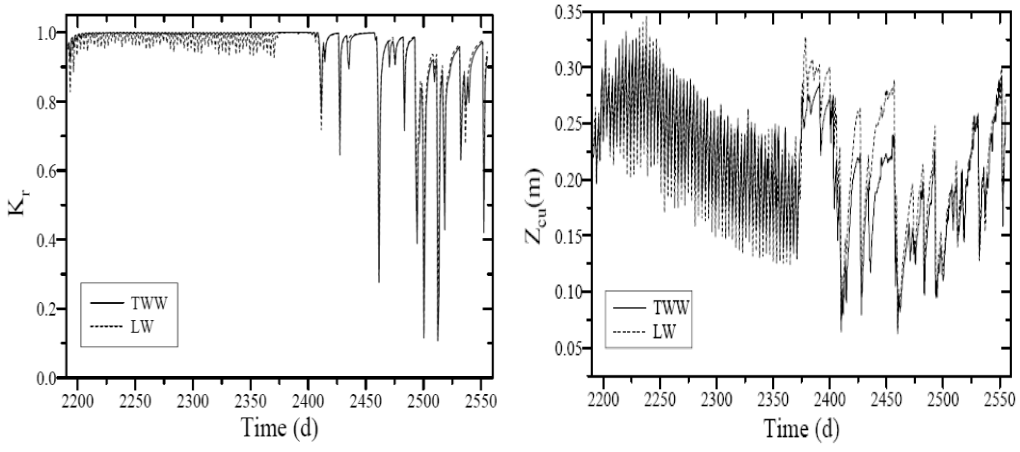
טבלה 9: בחינת שינויים בערכי עכירות בתמיסת נקז NTU (כמדד לדיספרסיה), וערכי מוליכות חשמלית ובורון בנקז שנאסף מטיפולי קרקע חמרה, לאחר ארוע גשם משמעותי ב16 לפברואר 2015.

		חמרה		
	16/02/2015	מדידות בנקז אחרי סופת גשם		
Boron	EC	עכירות		
mg/l	ds/m	NTU		טיפול
0.13	**1.42**	**33.0**	**ממוצע**	**1 FR**
0.04	0.23	*32.2*	*STD*	
0.16	**1.60**	**115.5**	**ממוצע**	**2 RWW+Na**
0.02	0.42	*53.7*	*STD*	
0.14	**1.65**	**68.6**	**ממוצע**	**3 RWW**
			STD	
0.09	**0.60**	**55.3**	**ממוצע**	**4 RWWC**
			STD	
0.08	**0.48**	**51.8**	**ממוצע**	**5 FR C**
			STD	

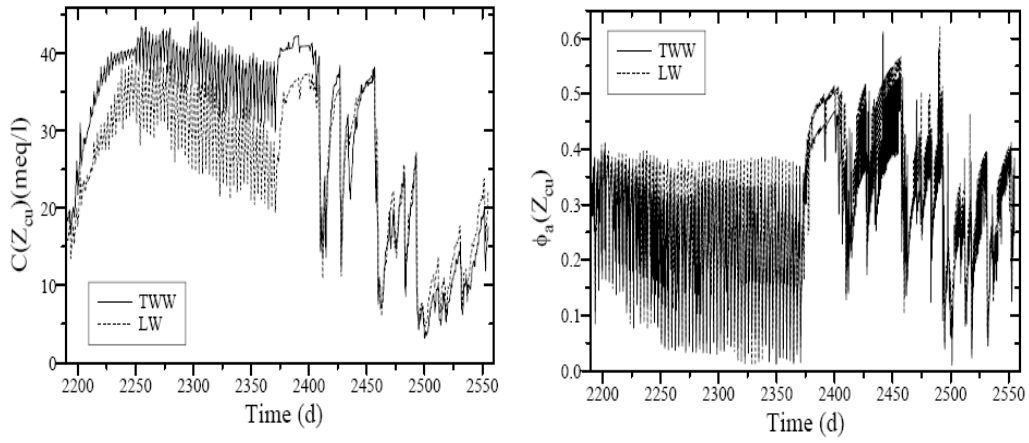
נספח 3: תוצאות סימולציה בפרדס מזרע



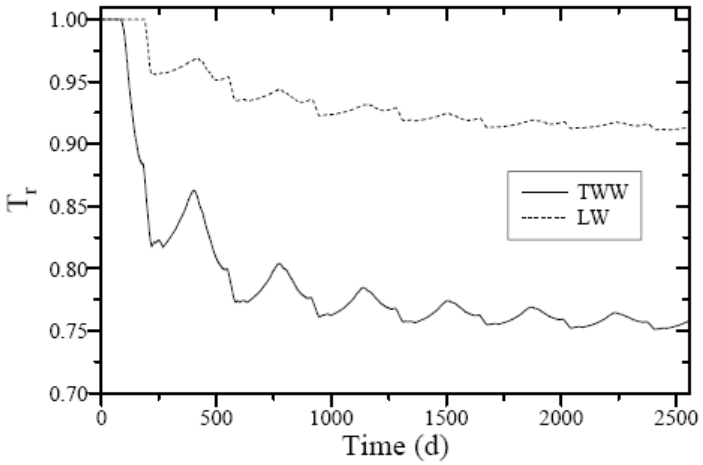
איור 1. : חתכים אנכיים של הפרמטרים ההידרוליים של הקרקע.



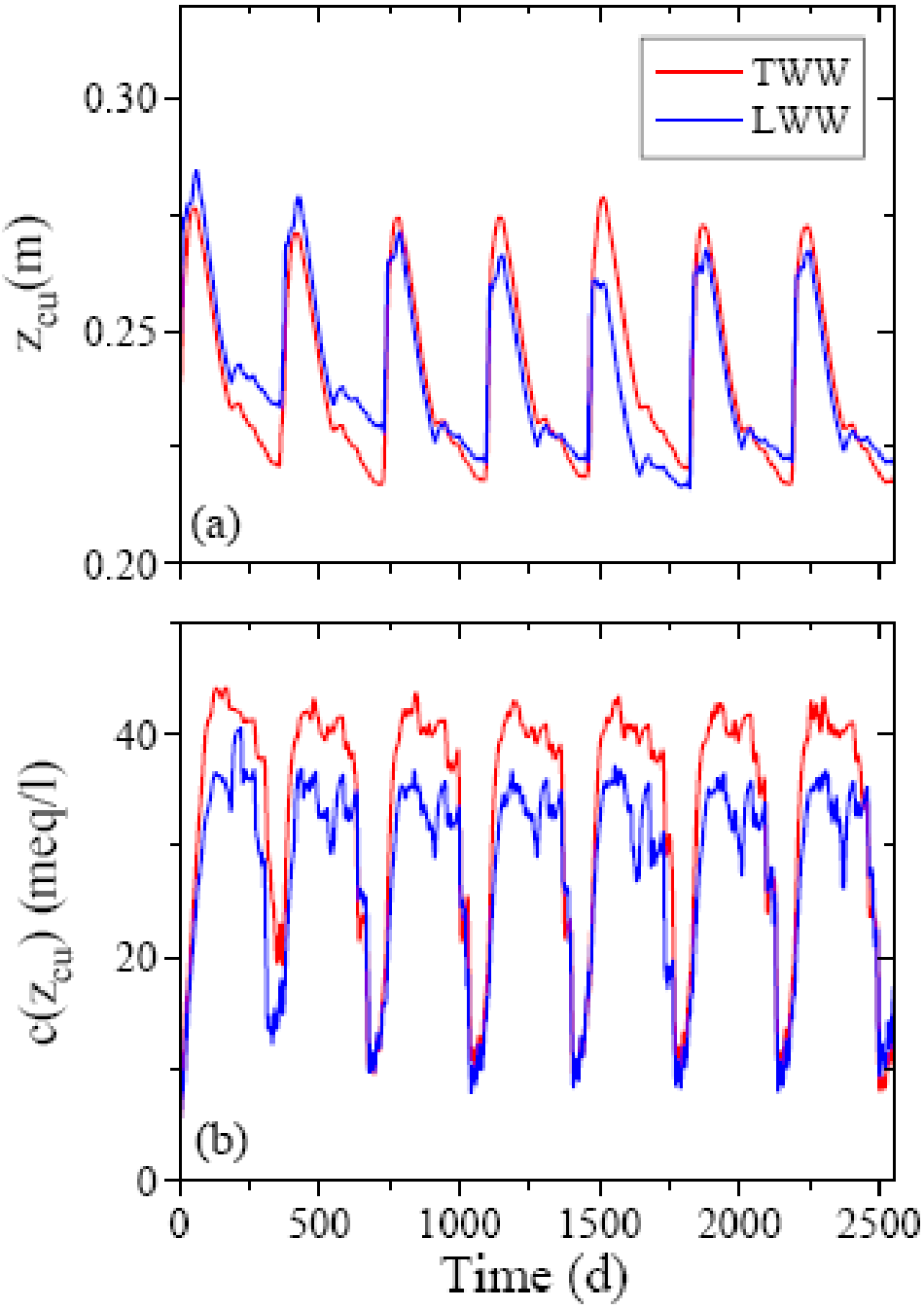
איור 2: המוליכות ההידרולית היחסית בפני הקרקע (שמאל) והמיקום האנכי של מרכז נפח הקרקע ממנו נקלטים מים ע"י שורשי העצים (ימין) במהלך השנה השביעית של ההדמיה.



איור 3: ריכוז הכלוריד (שמאל) ומקטע הנקבובים המלאים באוויר (ימין) בעומק בו ממוקם מרכז נפח הקרקע ממנו נקלטים מים ע״י שורשי העצים במהלך השנה השביעית של ההדמיה.



איור 4: טרנספירציה יחסית בתלות בזמן



איור 5: המיקום האנכי של הצנטרואיד של נפח הקרקע הפעיל בקליטת מים ע״י שורשי העצים, z_{cu}, מחושב עבור הליבה הפנימית של המישור האופקי של מערכת הזרימה (הכוללת 4 עצים) (א), וריכוז הכלוריד, $C(z_{cu})$, (ב), כפונקציה של הזמן, t. התוצאות מתוארות עבור TWW (קווים אדומים) ו-LWW (קווים כחולים).