

דו"ח מסכם לתוכנית מחקר מספר 11-0732-301

השפעת השקייה בקולחים על ניתרון קרקעות במטעים

Effects of irrigation with treated wastewater on soil sodicity in orchards

מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות

ע"י:

גיא לוי, אבנר זילבר, פנחס פיין, דינה גולדשטיין, המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מינהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני.
אשר איזנקוט, אברהם זילברמן, שירות שדה, שה"מ
בנימין גמליאל, מו"פ לכיש

G. Levy, A. Silber, P. Fine, D. Goldstein, Institute of Soil, Water and Environmental Sciences, ARO, The Volcani Center

E-mail: vwguy@volcani.agri.gov.il

A. Eisenkot, A. Silberman, Field service, Shaham

B. Gamliel, Lachish R&D station.

אפריל 2013

אייר תשע"ג

2. האם הנך מאשר את ציון הפסקה הבאה בדף הפתיחה לדו"ח כן/לא מחק את המיותר*
הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים ואינם מהווים המלצות לחקלאים

חתימת החוקר:

תוכן עניינים

2	3. תקציר מדעי
3	4. רשימת פרסומים
3	5. מבוא
4	6. שיטות וחומרים
6	7. תוצאות ודיון
10	8. רשימת ספרות מצוטטת
12	9. סיכום עם שאלות מנחות
13	10. נספחים (טבלאות ואיורים)

3. תקציר מדעי

בחלק ניכר ממי הקולחים המשמשים להשקיה ערך יחס ספיחת הנתרן (SAR) ~ 4 , ומקובל לחשבו על פי הריכוז הכללי של היונים במים. מקובל גם להעריך בעזרת הנומוגרמה שפותחה על ידי המעבדה למליחות בארה"ב כי השקיה במים עם ערכי SAR בתחום לעיל צפויה לגרום לכך שאחוז הנתרן הספוח (ESP) בתצמיד הסופח בקרקע יהיה 5-6. לאחרונה מצטברות עדויות לכך שבחתך הקרקע במטעים (עומק < 30 ס"מ) ה-ESP מגיע לערכים בתחום 6-9 בעקבות השקיה ממושכת בקולחים בעלי SAR בתחום של 3-5 ואף נמוך מזה. חוסר ההתאמה הזו יכול לנבוע: (א) מהערכת חסר של ה-SAR, עקב הזנחת העוצמה היונית וההרכב הכימי של תמיסת הקרקע, ואפשרות ההיווצרות של קומפלקסים בין היונים הדו-ערכיים לבין ליגנדים אורגניים ולא-אורגניים; (ב) העדר שיווי-משקל בחתך הקרקע בין ה-SAR של תמיסת הקרקע ל-ESP שיכול לגרום לספיחת נתרן גבוהה מהחזוי; (ג) אי תקפות של הנומוגרמה לעיל לתנאי הקרקע בארץ. **מטרות המחקר** היו (1) לאפיין את ה-ESP בחתך הקרקע במטעים המושקים בקולחים, (2) לבחון את הקשר בין ה-SAR של מי ההשקיה ושל מיצוי תמיסת הקרקע לבין ה-ESP המתקבל בקרקע ו-(3) לבחון את השפעת ההשקיה בקולחים על המוליכות ההידראוית ברוויה של הקרקע. בחנו דוגמאות קרקע ממטעים הגדלים בטיפוסי קרקע שונים והמושקים בקולחים וקבענו בהם את ה-ESP ואת ה-SAR של מיצוי עיסה רוויה. עבור חלק מהדוגמאות בדקנו גם את אחוז האשלגן הספוח (EPP) ויחס ספיחת האשלגן (PAR) של מיצוי עיסה רוויה, חשבנו את ה-SAR המתוקן (SARadj) וקבענו את המוליכות ההידראולית ברוויה. **תוצאות המחקר** הראו שבכל הדוגמאות למעט מקרה אחד של קרקע חולית ($\sim 9\%$ חרסית), חלה הצטברות של נתרן בתת הקרקע (< 30 ס"מ). ערכי ה-ESP שהתקבלו היו גבוהים בהרבה מהצפוי על סמך הקשר המקובל על פי המעבדה למליחות בארה"ב בין ה-SAR של מי ההשקיה ל-ESP של הקרקע. מאידך נמצא מתאם טוב בין ה-SAR של

מיצוי עיסה רוויה לבין ה- ESP של הקרקע, גם כאשר משתמשים ב-SARadj. המוליכות ההידראולית של הקרקע המושקית בקולחים הייתה נמוכה פי 3 ויותר מאשר זו של הקרקע המושקית במים שפירים או קרקע שאינה מושקית כלל בכל חתך הקרקע. את הפחיתה במוליכות ההידראולית ניתן לייחס לערכי ESP גבוהים יותר שגורמים לתפיחה ולהצרה של נקבובים מוליכי מים בקרקע. גם בקרקעות בעלות EPP גבוה (שנבע מהשקיה בקולחים), נצפתה פגיעה במוליכות ההידראולית של הקרקע.

4. רשימת פרסומים

1. ג. לוי. (2012). השקייה רבת שנים בקולחים: האם משפיעה לרעה על מבנה הקרקע ויציבותה. כנס הנגב למחקר ופיתוח חקלאי - "משק המים בנגב: איכויות והשלכות על חקלאות וסביבה". (הרצאה מוזמנת).

2. Levy G.J. (2013). Irrigation with treated wastewater: how sustainable is it? Soil-Water-Waste workshop: Olive mill wastes and low quality water in agriculture. Effects and interactions in soil. Landau (Pfalz), Germany, April 3-5. (oral presentation)

3. Levy G.J. (2013). Irrigation with treated wastewater: how sustainable is it? European Geosciences Union (EGU), General Assembly, Vienna, Austria. April 7-12. (oral presentation).

4. ג. לוי, פ. פיין, ד. גולדשטיין, א. אייזנקוט, א. זילברמן, ע. חזן, צ. גרינהוט. 2013. השקיה ממושכת בקולחים: האם מתכון לניתרון תת-הקרקע? כרם מחוות לכיש כמקרה בוחן. הוגש לפרסום ל"מים והשקייה".

5. מבוא

השקייה במי קולחים כרוכה במספר סיכונים הן מן ההיבט החקלאי והן מזה הסביבתי. הסיכונים לקרקע נובעים מכך שריכוז כלל המלחים, יחס ספיחת הנתרן (SAR), והעומס האורגני גבוהים במי הקולחים מאשר במים שפירים. השקייה ממושכת במי קולחים עלולה לכן לגרום לעליה באחוז הנתרן הספוח (ESP) בקרקע ולפגיעה ביציבות מבנה קרקע הצפויה להתרחש בעיקר במהלך החורף כאשר הקרקע נשטפת במי גשם ורגישותה של החרסית בקרקע לתהליכי תפיחה ודיספרסיה גבוהה. בקירוב ראשון מקובל להעריך את ה- ESP המתקבל בקרקע בעקבות השקיה במים בעלי SAR נתון בעזרת הנומוגרמה שפותחה על ידי המעבדה למליחות בארה"ב (1). על פי נומוגרמה זו, השקיה במים עם ערכי SAR בתחום המצוי בקולחים צפויה לגרום ל- ESP בקרקע בשיעור של 4-5. ראוי לציין שישנם מחקרים המדווחים שכבר בערכי ESP כאלו ישנה, בתנאים מסוימים, פגיעה ביציבות תלכידי הקרקע ובכשרה להוליך מים (2).

לאחרונה מצטברות עדויות לכך שבחתך הקרקע במטעים (עומק 30 ס"מ) ה-ESP מגיע לערכים בתחום 6-9 בעקבות השקיה ממושכת בקולחים בעלי SAR בתחום של 3-5 ואף נמוך מזה. חוסר ההתאמה הזו יכול לנבוע: (א) מהערכת חסר של ה-SAR, עקב הזנחת העוצמה היונית וההרכב הכימי של תמיסת הקרקע, ואפשרות ההיווצרות של קומפלקסים בין היונים הדו-ערכיים לבין ליגנדים אורגניים ולא-אורגניים; (ב) העדר שיווי-משקל בחתך הקרקע בין ה-SAR של תמיסת הקרקע ל-ESP שיכול לגרום לספיחת נתון גבוהה מהחזו; (ג) אי תקפות של הנומוגרמה לעיל לתנאי הקרקע בארץ. מטרת המחקר העיקרית היא לבחון את ההשפעה של ה-SAR במי הקולחים על ה-ESP - בחתך הקרקע במטעים. המטרות הפרטניות הן: (1) לאפיין את ה-ESP בחתך הקרקע במטעים המושקים בקולחים, (2) לבחון את הקשר בין ה-SAR של מי ההשקיה ושל מיצוי תמיסת הקרקע לבין ה-ESP המתקבל בקרקע ו-(3) לבחון את השפעת ההשקיה בקולחים על המוליכות ההידראוית ברוויה של הקרקע.

6. שיטות וחומרים

6.1 דוגמאות קרקע

בחנו דוגמאות קרקע ממקורות שונים כדלקמן:

א. דוגמאות קרקע נלקחו מכרם ענבים למאכל הגדל בחוות לכיש המושקה מזה 10 שנים במי קולחים באיכות טיהור שניונית במהלך חודשי מאי ויוני 2011 ובמהלך חודש נובמבר 2012. הניסוי בכרם כלל תשעה טיפולים, שלוש איכויות מים (שפירים, קולחים, קולחים+דשן) ושלוש רמות השקיה (40, 60 ו-80% מצריכת מים בליזימטר). דוגמאות הקרקע נלקחו מ-4 עומקים, 0-30, 30-60, 60-90 ו-90-120 ס"מ בכל אחת מארבע החזרות בכל טיפול. הדיגום בוצע מתחת לקו הטפטוף באמצע המרחק בין שני הצמחים האמצעיים בשורת הגידול המרכזית בכל טיפול נתון. בנוסף, נלקחו דוגמאות קרקע באותם עומקים מאמצע השורה בין שתי שורות גידול בטיפול של מים שפירים ומי קולחים במנת המים הגבוהה ובמנת המים הנמוכה ביותר.

ב. דוגמאות קרקע (דיגום סתיו 2010 ואביב 2011) נלקחו מניסוי בכרם זיתים הגדל בקדמה ומושקה 5 שנים בקולחי ירושלים (3). הניסוי כלל שני זני זית (לצינו וברנע) ושלושה טיפולי השקיה (מים שפירים, קולחים עם הזנה רגילה, קולחים עם הזנה מותאמת בהתאם לרמת הנוטריינטים בקולחים). דוגמאות קרקע נלקחו מ-3 עומקים, 0-30, 30-60 ו-60-90 ס"מ מתחת לטפטפת במרכז של כל חזרה.

ג. דוגמאות קרקע (דיגום סתיו, ספטמבר 2011) נלקחו ממטע אבוקדו של קיבוץ יפעת (עמק יזרעאל) המושקה 5 שנים בקולחי עמק יזרעאל. מאחר וכל החלקה מושקת בקולחים נלקחו דוגמאות קרקע מ-4 עומקים, 0-30, 30-60, 60-90 ו-90-120 ס"מ מתחת לקו הטפטוף באמצע המרחק בין שני עצים סמוכים ומאמצע השורה - חצי המרחק בין שתי שורות גידול סמוכות (4 חזרות בכל מיקום דיגום).

ד. דוגמאות קרקע (דיגום קיץ, יוני 2012) נלקחו ממטע אבוקדו של קיבוץ המעפיל המושקה כ- 15 שנים במי קולחים שינוניים. דוגמאות הקרקע נלקחו מ- 4 עומקים, 0-30, 30-60, 60-90 ו- 90-120 ס"מ ב- 4 חזרות מכל איכות מי השקייה (שפירים וקולחים). הדיגום בוצע מתחת לקו הטפטוף באמצע המרחק בין שני עצים סמוכים. בנוסף, נלקחו דוגמאות קרקע באותם עומקים מאמצע השורה בחצי המרחק בין שתי שורות גידול סמוכות.

6.2. בדיקות מעבדה

דוגמאות הקרקע הובאו למעבדה, יובשו ונכתשו לגודל חלקיקים > 2 מ"מ ובוצעו בהן הבדיקות הבאות:

א. קיבול והרכב הקטיונים החליפיים.

ב. מיצוי עיסה רוויה (רק בדוגמאות מלכיש) בו נקבעו המוליכות החשמלית, pH, ריכוזי נתרן, אשלגן, סידן, מגנזיום כלור ודו-פחמה.

ג. תכולת גיר וחומר אורגני (רק בדוגמאות מלכיש).

ד. שטיפה של עמודות קרקע (אורך 10 ס"מ וקוטר 5 ס"מ) בתמיסות מלח ומים חסרי יונים בעומד קבוע בוצעה בדוגמאות הקרקע מלכיש, יפעת, המעפיל וניר חן.

6.3. חישובים וניתוח תוצאות

מהנתונים שהתקבלו חושבו ה- SAR ויחס ספיחת האשלגן (PAR) של תמיסת הקרקע, וה- ESP ואחוז האשלגן הספוח (EPP) בקרקע. כמו כן, בהסתמך על הקשרים בין SAR ל- ESP ובין PAR ו- EPP כפי שהוצעו על ידי המעבדה למליחות (1) חושבו ערכי ה- ESP הצפויים להתקבל על סמך נתוני ה- SAR של מיצוי העיסה הרוויה.

עבור הדוגמאות מלכיש חושב גם ה- SAR המותאם (SAR_{adj}) הלוקח בחשבון את השפעת נוכחות יוני סידן ודו-פחמה בתמיסת הקרקע והיחס בניהם על ה- SAR. כאשר ריכוז יוני הסידן והדו-פחמה במי השקייה או בתמיסת הקרקע גבוהים חלק מיוני הסידן יכולים לשקוע כגיר. מכאן ריכוז הסידן האפקטיבי (Ca_{eq}) המשפיע על ה- SAR מערכת כזו יהיה נמוך מריכוז הסידן הכללי. חישוב ה- SAR_{adj} נעשה באופן הבא (ריכוזי כל היונים הם במא"ק/ל") (4) :

$$\text{Sum of cations (SC)} = (\text{Na}) + (\text{Ca}) + (\text{Mg}) \quad (1)$$

$$\text{Ionic strength (Is)} = (1.3477 * \text{SC} + 0.5355)/1000 \quad (2)$$

$$\text{Log (x)} = 1/3 [4.6629 + 0.6103\text{log(Is)} + 0.0844\{\text{log(Is)}\}^2 + 2\text{log}(\text{Ca}/2\text{HCO}_3)] \quad (3)$$

$$Ca_{eq} = 10^{\log(x)} * 0.17758 \quad (4)$$

$$SAR_{adj} = (Na) / ((Ca_{eq} + Mg)/2)^{0.5} \quad (5)$$

ה- SAR_{adj} שחושב השווה ל- SAR בו ריכוז הסיידן לא מתוקן וכן חושב על פיו ה- ESP הצפוי על פי הקשרים שפותחו על ידי המעבדה למליחות (1).

בעזרת נתוני התשטיף שנאסף (נפח תשטיף, זמן איסופו) מעמודות הקרקע, אורך עמודת הקרקע והעומד ההידראולי חושבה המוליכות ההידראולית ברוויה של דוגמאות הקרקע שנבחנו.

7. תוצאות ודין

7.1 – ערכי SAR ו- ESP

השפעת השקייה בקולחים בעלי SAR של 4.3 על ה- SAR של תמיסת הקרקע וה- ESP בקרקע בכרם בלכיש מוצגת באיור 1. ניתן לראות (א) כי ישנה עליה מובהקת הן ב- SAR והן ב- ESP עם העומק, (ב) ערכי ה- SAR של תמיסת הקרקע בעומק 60 ס"מ גבוהים באופן משמעותי מה- SAR במי ההשקייה; תופעה דומה עבור ה- SAR של אותה חלקה דווחה כבר בעבר (5), (ג) בהתאמה עם התצפיות לגבי ה- SAR , גם ערכי ה- ESP בעומק 60 ס"מ הגיעו לערכים 10 שגבוהים בהרבה מערכי ה- ESP הצפויים, (ד) ערכי ה- SAR של תמיסת הקרקע וה- ESP בין השורות מצביעים על כך שהקרקע המקורית אינה נתרנית ושהשינויים שחלו בפרמטרים אלו באזור המושקה הם תולדה של איכות המים בהם השקו. בנוסף, ניתן גם לראות שהשפעת השקייה בקולחים על ה- SAR של תמיסת הקרקע הייתה תלויה במימשק הדישון. אובחנה מגמה המצביעה על כך שתוספת דשן למי הקולחים גורמת להתמתנות מסויימת בערכי ה- SAR בהשוואה להשקייה בקולחים ללא תוספת דשן (איור 2). השוואת ערכי ה- ESP של פרופיל הקרקע בין שני הדיגומים (קיץ 2011 ו- וסתיו 2012) מצביעה על כך שלא חל שינוי משמעותי ב- ESP (איור 3) ומכאן שהשינויים שחלים ב- ESP בפרופיל הקרקע הם איטיים ולא ניתן להבחין בהם בטווח זמן קצר.

בדומה לתוצאות מלכיש, גם במטע הזיתים בקדמה שהושקה במי קולחים בעלי SAR של 5.3 אובחנה הצטברות של נתרן ספוח בתת הקרקע לערכים 8 (איור 4). בשונה מלכיש, נראה שבקדמה העליה החדה ב- ESP חלה רק בשכבה 30-60 ס"מ ולא הגיעה לשכבות העמוקות יותר. הסיבה לכך יכולה לנבוע מהעובדה שהזיתים מושקים בקולחים רק 5 שנים בהשוואה ל- 10 שנות השקייה בלכיש ודחיקת יוני נתרן טרם הגיעה לשכבות עמוקות יותר.

בקרקה חרסיתית מיפעת המושקית כ- 5 שנים במי קולחים נצפה גם כן שה- ESP של תת- הקרקע (30 ס"מ) היה 6 (איור 5) ולא נמצא בהתאמה עם ה- SAR של מי ההשקיה (~4). בקרקע החמרה מהמעפיל פרופיל ה- ESP בקרקע שהושקתה בקולחים היה תלוי בתכולת החרסית בקרקע. בחלקות בהם תכולת החרסית הייתה ~9%, ה- ESP בפרופיל הקרקע היה נמוך ודומה עבור קרקע שהושקתה בקולחים וזו שהושקתה במים שפירים (איור 5). מאידך, כאשר תכולת החרסית בקרקע הייתה ~15%, חלה עליה ב- ESP עם העומק לערכים של 7-8 (איור 5). ניתן לשער שהסיבה לכך שבקרקע עם תכולת החרסית הנמוכה לא נמצאה הצטברות של נתון ספוח בפרופיל שנדגם כיון שבקרקע זו הייתה שטיפה לעומק רב יותר של תמיסת הקרקע והצטברות הנתון הספוח במידה ואכן ארעה, חלה בעומק רב יותר שאליו לא הגענו בדיגום הקרקע.

תוצאות דיגומי הקרקע במטעים השונים הראתה שבכל האתרים (למעט קרקע מעפיל החולית) ניתן לראות שערכי ה- ESP בתת הקרקע גבוהים בהרבה מה- ESP שהיה צפוי על פי ה- SAR של מי ההשקיה ומכאן שקיימת סכנה לניתרון תת הקרקע. תוצאות אלו מצביעות על כך שלא ניתן לחזות את ה- ESP בתת הקרקע רק על סמך ידיעת ה- SAR של מי ההשקיה.

7.2 – תיקון לחישוב ה- SAR

השוואת ערכי ה- SAR בתמיסת הקרקע בדוגמאות מלכיש בין ערכים שהתקבלו מחישוב ה- SAR ללא תיקון עבור ריכוז יוני הסידן לבין ערכי ה- SAR_{adj} מוצגים באיור 4. ערכי ה- SAR היו בחלק גדול מהמקרים נמוכים ב- 10-20% מערכי ה- SAR_{adj} ללא תלות באיכות מי ההשקיה. הקרקע בלכיש מכילה כ- 15% גיר שמשפיע על הריכוז של יוני הסידן והדו פחמה בתמיסת הקרקע ועל היחס בין שני יונים אלו. התוצאות שלנו מצביעות על כך שבקרקע גירית כאשר לא מתקנים עבור ריכוז הסידן האפקטיבי יכולה להתקבל במקרים רבים הערכת חסר של ה- SAR של תמיסת הקרקע ללא תלות באיכות מי ההשקיה. תוצאה זו יכולה בתורה גם לגרום להערכת חסר של ה- ESP הצפוי בקרקע.

7.3 הקשר בין SAR ל- ESP

הקשר בין ה- SAR של תמיסת הקרקע לבין ה- ESP המדוד וזה המחושב לפי המעבדה למליחות (1) עבור SAR לא מתוקן ועבור SAR_{adj} בדוגמאות הקרקע מלכיש מוצג באיור 8. נראה שקיים קשר בין ה- SAR של תמיסת הקרקע ובין ה- ESP עבור דוגמאות מכל חתך הקרקע, דבר המעיד על כך שקיים שיווי משקל כימי בין הרכב היונים בתמיסת הקרקע לבין הקומפלקס הסופח בקרקע. עם זאת, נמצא שעבור הקרקע מלכיש פונקצית גידול אקספוננציאלי מתארת טוב יותר, מאשר המודל הקווי המקובל של המעבדה למליחות (1), את הקשר בין שני מדדים אלו הן עבור שימוש ב- SAR והן עבור שימוש ב- SAR_{adj}. מכאן נראה שלצורך חיזוי ה- ESP של הקרקע ניתן להשתמש בצורת החישוב

המקובלת לחישוב ה- SAR, קרי להסתפק בחישוב של ה- SAR הלא מתואם שהינו קל יותר לחישוב. בנוסף, הממצא שלעיל מעיד על כך שעבור התנאים השוררים בארץ - קרקע ומימשק השקייה – השונים מאלו שבארה"ב, אומדן של ה- ESP בקרקע בהסתמך על ידיעת ה- SAR של תמיסת הקרקע והחישוב המוצע על ידי המעבדה למליחות (1) יכול לשמש כאומדן ראשוני וגם בלבד של רמת הנתרן הספוח בקרקע ביחוד עבור ערכי SAR <6.

הקשר בין ה- SAR של תמיסת הקרקע לבין ה- ESP המדוד וזה המחושב לפי המעבדה למליחות (1) עבור SAR לא מתוקן בדוגמאות הקרקע ממטע הזיתים בקדמה מוצג באיור 9. בשונה מלכיש, לא אובחן תחום של SAR בו הייתה התאמה טובה בין ערכי ה- ESP המדודים לבין אלו המחושבים. נראה כי עד ערכי SAR >8 במרבית המקרים ה- ESP המדוד היה נמוך מהמחושב. מכאן שבתחום זה הערכת ה- ESP של הקרקע על סמך ידיעת ה- SAR של תמיסת הקרקע והחישוב המוצע על ידי המעבדה למליחות (1) יגרום להערכת יתר של רמת הנתרן הספוח בקרקע בהשוואה לזו שנמדדה בפועל (איור 9). למרות חוסר דיוק זה בהערכת ה- ESP מצב זה עדיף על מצב בו מתקבלת הערכת חסר של ה- ESP. עבור ערכי SAR <8 לא ניתן היה להבחין במגמה ברורה באשר לקשר בין ה- ESP המדוד והמחושב (איור 9).

הממצאים שלעיל מעידים על כך שעבור התנאים השוררים בארץ - קרקע ומימשק השקייה – השונים מאלו שבארה"ב, אומדן של ה- ESP בקרקע בהסתמך על ידיעת ה- SAR של תמיסת הקרקע והחישוב המוצע על ידי המעבדה למליחות (1) יכול לשמש כאומדן ראשוני וגם בלבד של רמת הנתרן הספוח בקרקע ביחוד עבור ערכי SAR <6.

7.4 ערכי EPP בקרקע

השפעת איכות מי ההשקייה על ערכי ה- EPP בחתך הקרקע בכרם בלכיש מוצג באיור 10. בכל הטיפולים ישנה כצפוי פחיתה מסויימת ברמת האשלגן הספוח עם העומק. ערכי ה- EPP שהתקבלו בשתי שכבות הקרקע העליונות בדוגמאות המושקות בקולחים מאוד גבוהים ולא אופייניים להשקיה בקולחים. תופעה דומה של ערכי EPP גבוהים בשכבות הקרקע העליונות נצפתה במטע צעיר של שיחי אקליפטוס לנוי במושב ניר-חן שהושקה גם כן במשך כ-4 שנים בקולחי קרית גת (טבלה 1). ריכוז מקובל של אשלגן במי הקולחים הוא בתחום של 0.5-0.7 מא"ק/ל (20-30 מ"ג/ל) וה- PAR שלהם הוא ~0.4. מקור הקולחים בלכיש הוא קולחי קרית גת שמחציתם מגיעים ממפעל אינטל. ריכוז האשלגן בקולחי קרית גת מגיע ל 7-9 מא"ק/ל (280-350 מ"ג/ל) ובעקבות זאת ה- PAR של המים הוא ~4. התוצאות שלנו מראות שה- EPP בהשקייה בקולחים בלכיש מגיע ל – 9% בעומק 0-30 ס"מ בעוד שבהשקיה במים שפירים הוא 5% בלבד. בטיפול השקייה בקולחים בתוספת דישון עלה אחוז האשלגן הספוח בשכבת הקרקע העליונה ל- 14% (נתונים לא מוצגים). במטע בניר חן התקבלו ערכי EPP <20. חשוב לציין כי

השימוש באשלגן במפעל "אינטל" שגרם להעשרת שפכי המפעל באשלגן החל רק בשנת 2009, כשנתיים לפני דיגום הקרקע. בסקר קרקע לפני נטיעה שנעשה בחוות לכיש נמצא שאחוז האשלגן הספוח היה ~3% בלבד. עלית אחוז האשלגן הספוח בחלקות הכרם ומטע האקליפטוס המושקות במי קולחים הייתה בקצב מהיר למדי ונראה כי לא ירחק היום בו הקרקע תגיע למצב שו"מ עם הרכב מי הקולחים ורמת האשלגן הספוח תגיע לערכים בהם לאשלגן יכולה כבר להיות השפעה שלילית על הקרקע (6).

7.5 מוליכות הידראולית ברוויה

המוליכות ההידראולית ברוויה במצב עמיד בשכבות הקרקע השונות בדוגמאות הקרקע מלכיש כתלות באיכות מי ההשקיה מוצגות באיור 11. ניתן לראות כי ערכי המוליכות ההידראולית בקרקע שהושקתה במים שפירים גבוהים פי 3-4 מהערכים שהתקבלו בקרקע שהושקתה במי קולחים. את הפחיתה הגדולה במוליכות ההידראולית בשתי שכבות הקרקע העמוקות בעקבות ההשקיה בקולחים ניתן להסביר בערכי ה-ESP הגבוהים (<10) בשכבות אלו (איור 1). בשתי שכבות הקרקע העליונות ערכי ה-ESP אינם כה גבוהים (5-6) ובכל זאת התקבלה מוליכות הידראולית מאוד נמוכה בדוגמאות שהושקו בקולחים (איור 8). סיבה אפשרית לתופעה זו היא הערכים הגבוהים של אשלגן ספוח בשכבות אלו (~8) שבשילוב עם ה-ESP הבינוני גרמו לפחיתה שנצפתה במוליכות ההידראולית. הפגיעה במוליכות ההידראולית בקרקע שהושקתה בקולחים, כפי שנצפה בבדיקות שלנו, ממחישה את הסכנה הרבה הטמונה בניטרון תת הקרקע בעקבות השקיה בקולחים ואת הצורך במציאת פתרון לבעיה זו.

בדיקת השפעת השקיה בקולחים על המוליכות ההידראולית בקרקע החרסיתית מיפעת הראתה שבעת שטיפת הקרקע בתמיסת מלח המדמה השקיה במי קולחים כמעט ולא נצפתה פגיעה במוליכות ההידראולית של הקרקע בכל ארבע שכבות הקרקע שנבדקו (איור 12). אולם ערכי המוליכות ההידראולית בדוגמאות הקרקע שנלקחו מבין שורות העצים (ולא נחשפו להשקיה בקולחים) היו גבוהים יותר מהערכים שהתקבלו בדוגמאות הקרקע שנלקחו מתוך שורות העצים ונחשפו להשקיה במי קולחים. עם המעבר לשטיפת הקרקע במים מזוקקים-חיקוי למי גשם בחורף (מצויין על ידי חץ אדום באיור 12), החלה פחיתה משמעותית במוליכות ההידראולית של הדוגמאות שנחשפו במטע להשקיה בקולחים, שהגיעה לערך >0.02 ס"מ/שעה בכל שכבות הקרקע שנבדקו (איור 12). מאידך, בדוגמאות הקרקע שנלקחו בין שורות העצים ולא נחשפו להשקיה, הפחיתה במוליכות ההידראולית בעת השטיפה במים מזוקקים הייתה מתונה והערך הסופי היה גבוה בהרבה (בסדר גודל - במקרה של שתי שכבות הקרקע העמוקות) מזה שהתקבל בדוגמאות שנלקחו בתוך שורות העצים ונחשפו להשקיה בקולחים. את ההבדל בשינויים במוליכות ההידראולית בין שני הטיפולים ניתן לייחס להבדלים בערכי ה-ESP בין שני הטיפולים

(איור 5). במקרה של הקרקע שהושקתה בקולחים ה- ESP הגבוה (5-7) גרם לתפיחה של הקרקע, להצרה של הנקבובים מוליכי המים ולפגיעה קשה במוליכות ההידראולית של הקרקע. בכדי לבחון את תרומת האשלגן הספוח לפחיתה במוליכות ההידראולית שנצפתה בשתי שכבות הקרקע העליונות בדוגמאות הקרקע מלכיש בחנו גם את המוליכות ההידראולית של דוגמאות הקרקע ממטע שיחי האקליפטוס במושב ניר חן. בדוגמאות אלו ה- ESP היה נמוך וה- EPP מאוד גבוה (טבלה 1). תוצאות הבדיקה מראות כי לערכי EPP כפי שמצוי בקרקע שהושקתה במי קולחים הייתה השפעה שלילית על הקרקע שגרמה לפחיתה מהירה יותר ולערכים נמוכים יותר במוליכותה ההידראולית בהשוואה לקרקע שהושקתה במים שפירים (איור 13).

אנו משערים שהצטברות של נתרן ספוח לערכים גבוהים בעומק העולה על 60 ס"מ בקרקעות השונות בעקבות השקיה במי קולחים בעלי SAR של 4~ ובעקבות זאת השפעתו המזיקת על תכונותיה הפיזיקליות וההידראוליות של הקרקע, נובעת מתהליך של דחיקת יוני הנתרן הספוח משכבות הקרקע העליונות בעיקר במהלך עונת החורף שבה מתמוסס הגיר (CaCO_3) המצוי בקרקע בעת גשם ויוני הסידן מחליפים את יוני הנתרן הספוח שבתורם נדחקים אל תת-הקרקע בה הם נספחים מחדש אל הקומפלקס הסופח. אנו מניחים שאופי פרופיל הנתרן הספוח שיתקבל בקרקע נתונה בעקבות השקיה ממושכת במי קולחים יהיה תלוי בגורמים רבים ובהם ריכוז הנתרן וה- SAR של מי הקולחים, מנת ההשקיה השנתית (כמה נתרן מוסף לקרקע כל שנה), באגרוטכניקה של ההשקיה (טפטוף, מתזים), בתדירות ההשקיה, כמות המשקעים השנתית, ותכונות הקרקע (תכולת חרסית והרכבה, קיבול קטיונים חליפיים, ונוכחות של גיר וגבס בקרקע).

הבעת תודה

המחברים מביעים תודה למדען הראשי של משרד החקלאות על עזרתו במימון המחקר. כמו כן ברצוננו להודות למר עמרם חזן ולד"ר צפירי גרינהוט מחוות לכיש על עזרתם בדיגום הקרקע.

8. רשימת ספרות מצוטטת

1. US Salinity Laboratory Staff. 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. USDA Handbook 60. Washington, D.C.
2. Mace, J.E., and C. Amrhein. 2001. Leaching and reclamation of a soil irrigated with moderate SAR waters. Soil Sci. Soc. Am. J. 65: 199-204.

3. א. דג, א. בן-גל, א. ירמיהו, ז. כרם, א. חנוך. 2011. שימוש בקולחים להשקיית שמן זית. דו"ח מסכם של תוכנית מחקר 203-0620-10 מוגש למדען הראשי של משרד החקלאות.
4. Lesch, S.M., Suarez, L.D. 2009. A short note on calculating the adjusted SAR index. ASABE 52:493-496.
5. י. נצר, מ. שנקר, א. שורץ. 2011. הצטברות נתרן בקרקע בהשקיית קולחים ארוכת טווח בכרמי מאכל. "עלון הנוטע" חוברת 65 עמ' 16-20.
6. Chen, Y., Banin, A., Borochovit, A. 1983. Effect of potassium on soil structure in relation to hydraulic conductivity. Geoderma, 30:135-147.

9. סיכום עם שאלות מנחות

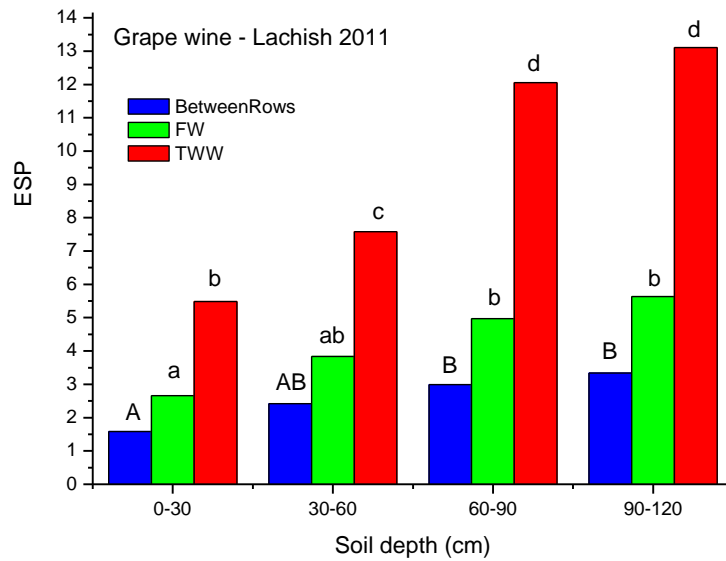
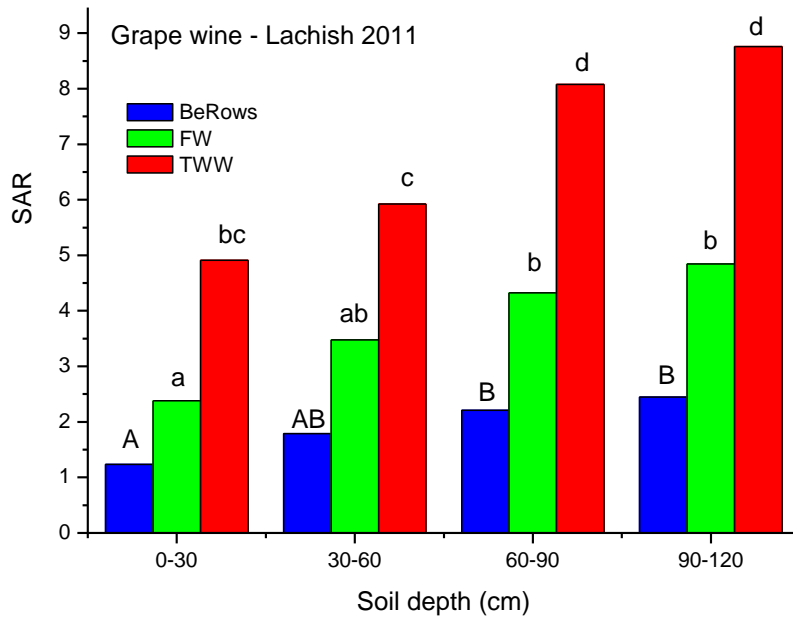
מטרות המחקר תוך התייחסות לתוכנית העבודה.
מטרת המחקר העיקרית הייתה לבחון את ההשפעה של ה-SAR במי הקולחים על ה-ESP -בחנת הקרקע במטעים. המטרות הפרטניות היו: (1) לאפיין את ה-ESP בחנת הקרקע במטעים המושקים בקולחים, (2) לבחון את הקשר בין ה-SAR של מי ההשקיה ושל מיצוי תמיסת הקרקע לבין ה-ESP המתקבל בקרקע ו-(3) לבחון את השפעת ההשקיה בקולחים על המוליכות ההידראוית ברוויה של הקרקע.
עיקרי הניסויים והתוצאות.
בחנו דוגמאות שנדגמו (עד לעומק 120 ס"מ) ממטעים הגדלים בטיפוסי קרקע שונים והמושקים מזה זמן רב בקולחים וקבענו בהם את ה-ESP ואת ה-SAR של מיצוי עיסה רוויה. עבור הדוגמאות מהכרם בלכיש בדקנו גם את ה-EPP וה- PAR של מיצוי עיסה רוויה, חשבנו את ה-SAR המתוקן (SARadj). כמו כן קבענו את המוליכות ההידראולית ברוויה בשלושה טיפוסי קרקע שונים.
התוצאות הראו שחלה הצטברות של נתרן בתת הקרקע (<30 ס"מ) במטעים שנבדקו. ערכי ה-ESP שהתקבלו היו גבוהים בהרבה מהצפוי על סמך הקשר הידוע בין ה-SAR של מי ההשקיה ל-ESP של הקרקע. מאידך נמצא מתאם טוב בין ה-SAR של מיצוי עיסה רוויה לבין ה-ESP של הקרקע, גם כאשר משתמשים ב-SARadj. המוליכות ההידראולית הרוויה של קרקע המושקית בקולחים הייתה נמוכה באופן מובהק מזו של קרקע המושקית במים שפירים בעקבות ה-ESP הגבוה יותר.
מסקנות מדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו. האם הושגו מטרות המחקר לתקופת הדוח?
מטרות המחקר הושגו. המחקר הראה שלא קיים שיווי משקל בין ה-SAR של מי ההשקיה לבין הקומפלקס הסופח של הקרקע. מאידך קיים שיווי משקל כימי בין תמיסת הקרקע לקומפלקס הסופח. התוצאות מצביעות על כך שחל ניתרון של תת הקרקע בעקבות השקיה ממושכת של מטעים בקולחים ושלא ניתן לחזות את ה-ESP בתת הקרקע על סמך ידיעת ה-SAR של מי ההשקיה.
בעיות שנתרו לפתרון ו/או שינויים (טכנולוגיים, שיווקיים ואחרים) שחלו במהלך העבודה; התייחסות המשך המחקר לגביהן, האם יושגו מטרות המחקר בתקופה שנתורה לביצוע תוכנית המחקר?
מחקר עתידי נדרש להבנת המנגנון הגורם לניתרון תת-הקרקע בעקבות השקיה ממושכת בקולחים ומציאת פתרון מימשי לבעיה זו.
הפצת הידע שנוצר בתקופת הדוח: פרסומים בכתב - ציטוט ביבליוגרפי כמקובל בפרסום מאמר מדעי; פטנטים - יש לציין שם ומס' פטנט; הרצאות וימי עיון - יש לפרט מקום, תאריך, ציטוט ביבליוגרפי של התקציר כמקובל בפרסום מאמר מדעי.
חלק מהתוצאות הוצגו (1) בהרצאה מוזמנת במסגרת כנס הנגב שנערך בחודש אפריל: ג. לוי. (2012). השקיה רבת שנים בקולחים: האם משפיעה לרעה על מבנה הקרקע ויציבותה. כנס הנגב למחקר ופיתוח חקלאי - "משק המים בנגב: איכויות והשלכות על חקלאות וסביבה", (2) בסדנא על שימוש במים מאיכות נחותה שנערכה בלנדאו, גרמניה, בחודש אפריל 2013, (3) בכנס השנתי של European Union of Geosciences (EGU) שנערך בוניה, אוסטריה, בחודש אפריל 2013, ו-(4) ג. לוי, פ. פיין, ד. גולדשטיין, א. אייזנקוט, א. זילברמן, ע. חזן, צ. גרינהוט. 2013. השקיה ממושכת בקולחים: האם מתכון לניתרון תת-הקרקע? כרם מחוות לכיש כמקרה בוחן. הוגש לפרסום ל"מים והשקיה".
פרסום הדוח: אני ממליץ לפרסם את הדוח: (סמן אחת מהאופציות)
רק בספריות <
X ללא הגבלה (בספריות ובאינטרנט) <
חסוי - לא לפרסם <
האם בכוונתך להגיש תוכנית המשך בתום תקופת המחקר הנוכחי? כן* - לא -

*יש לענות על שאלה זו רק בדוח שנה ראשונה במחקר שאושר לשנתיים, או בדוח שנה שניה במחקר שאושר לשלוש שנים

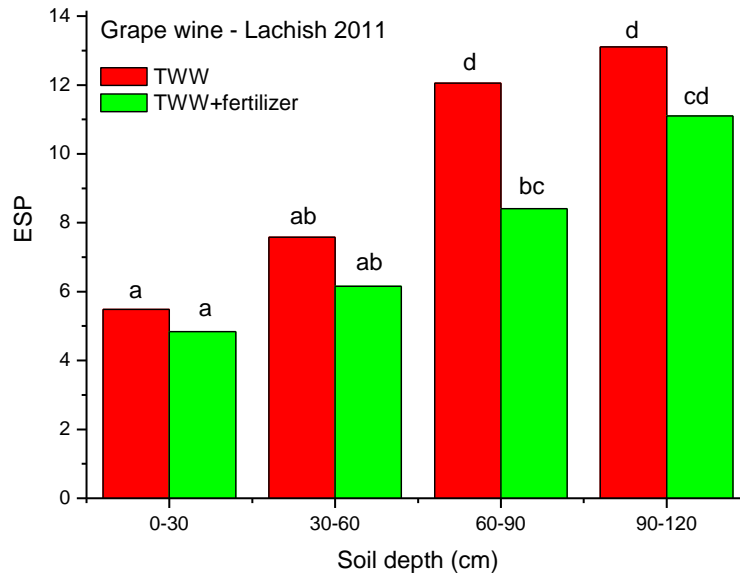
10. נספחים (איורים)

טבלה 1. השפעת השקיייה בקולחים על אחוז הנתרן הספוח (ESP) ואחוז האשלגן הספוח (EPP) בקרקע חרסיתית-חולית ממושב ניר-חן המשמשת לגידול שיחי אקליפטוס לנוי ומושקת בקולחי קרית גת כ- 4 שנים.

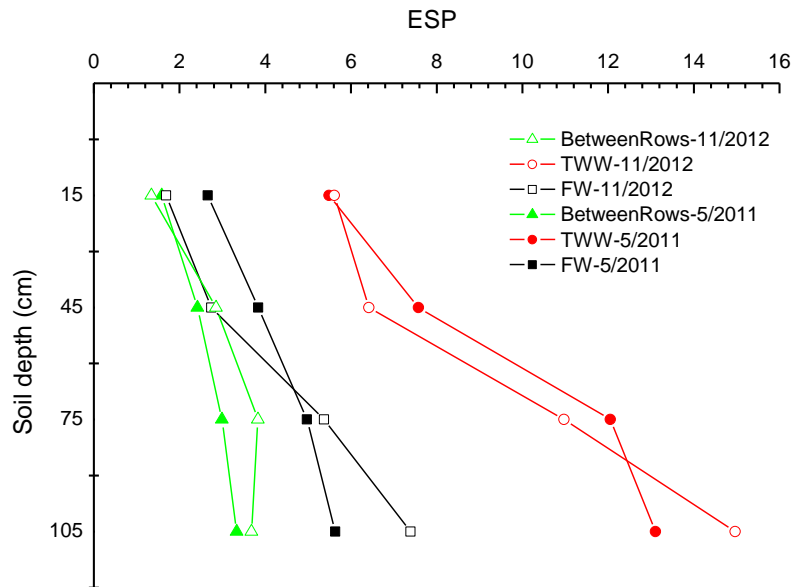
EPP	ESP	עומק דיגום (ס"מ)	איכות מים
4.55	2.14	0-30	שפירים
4.52	2.20	30-60	
31.10	2.83	0-30	קולחים
20.85	3.19	30-60	



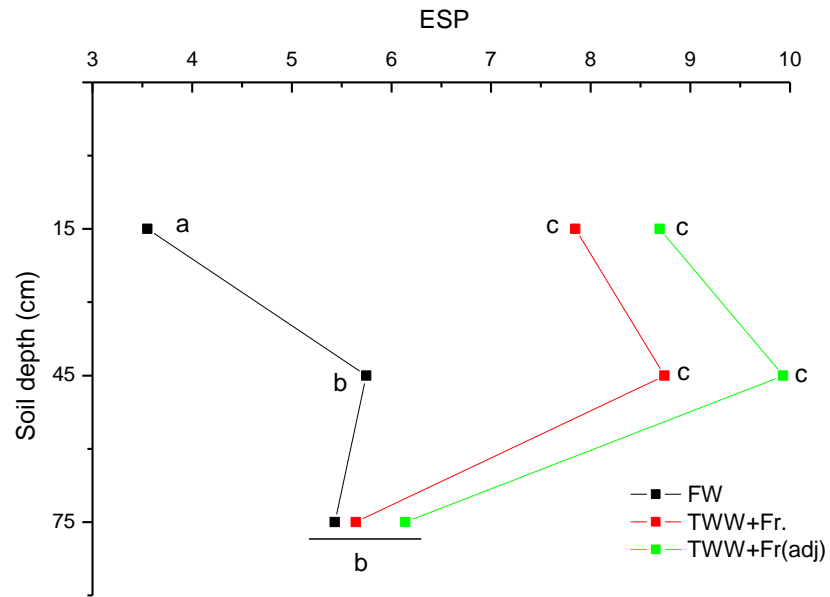
איור 1. השפעת איכות המים על ה- SAR (תת-איור עליון) ועל ה- ESP (תת-איור תחתון) של שכבות הקרקע השונות בכרם בלכיש. בכל תת-איור עמודות מעליהן אותה גודלה אינן נבדלות באופן מובהק ($P < 0.05$). בכל תת-איור עמודות מעליהן אותה קטנה אינן נבדלות באופן מובהק ($P < 0.05$). FW- מים שפירים. TWW- מי קולחים.



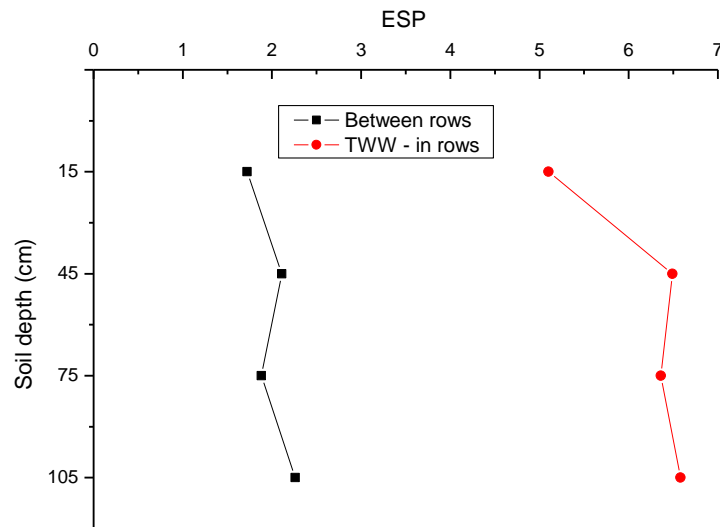
איור 2. השוואת ערכי SAR בתמיסת הקרקע בשכבות הקרקע השונות בין השקייה בקולחים להשקייה בקולחים+דשן. עמודות מעליהן אותה אות קטנה אינן נבדלות באופן מובהק ($P < 0.05$). TWW - מי קולחים.



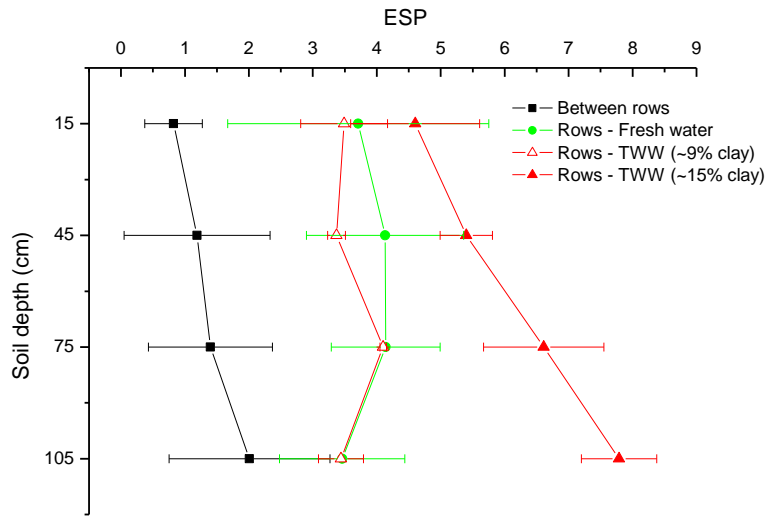
איור 3. השפעת איכות מי ההשקייה על ה-ESP של הקרקע בגרם בלכיש בשני מועדי הדיגום השונים. FW - מים שפירים. TWW - מי קולחים.



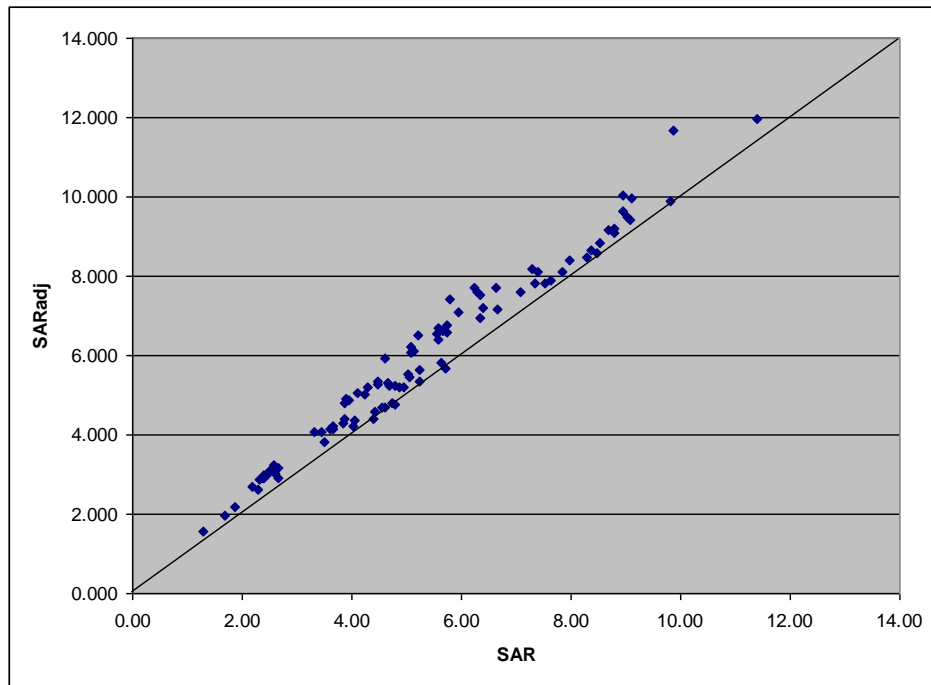
איור 4. השפעת איכות מי ההשקיה על ה- ESP של הקרקע במטע הזיתים מזן לצינו בקדמה. נקודות המסומנות על ידי אותה אות אינן נבדלות באופן מובהק ($P < 0.05$). FW - מים שפירים. TWW - מי קולחים.



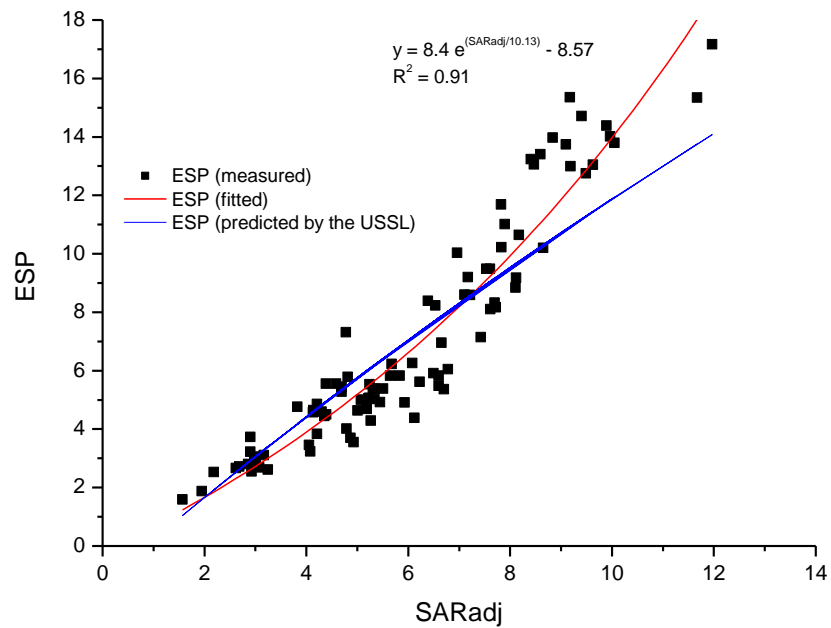
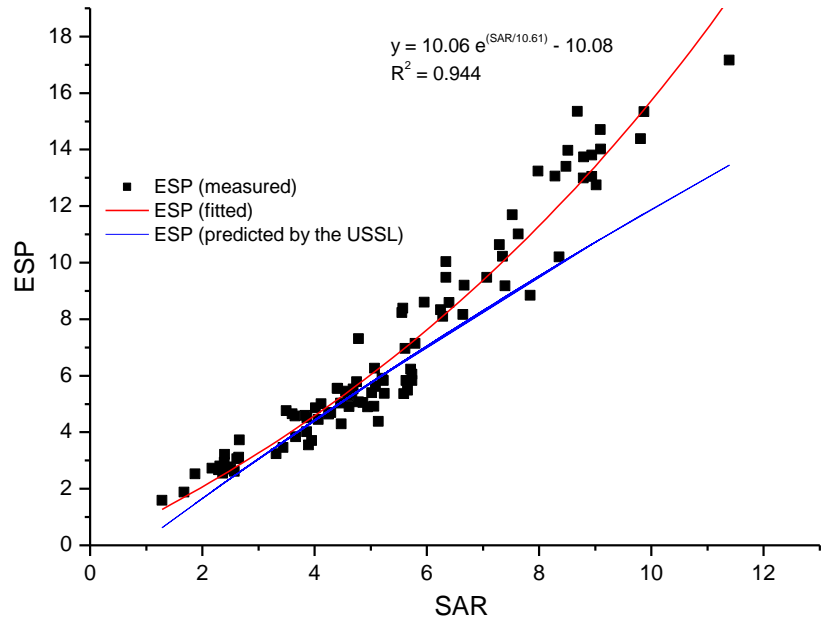
איור 5. השפעת השקיה בקולחים על ה- ESP של הקרקע לעומת ה- ESP באיזור שאינו מושפע מההשקיה (חצי המרחק בין שתי שורות עצים סמוכות) במטע האבוקדו ביפעת. TWW - מי קולחים.



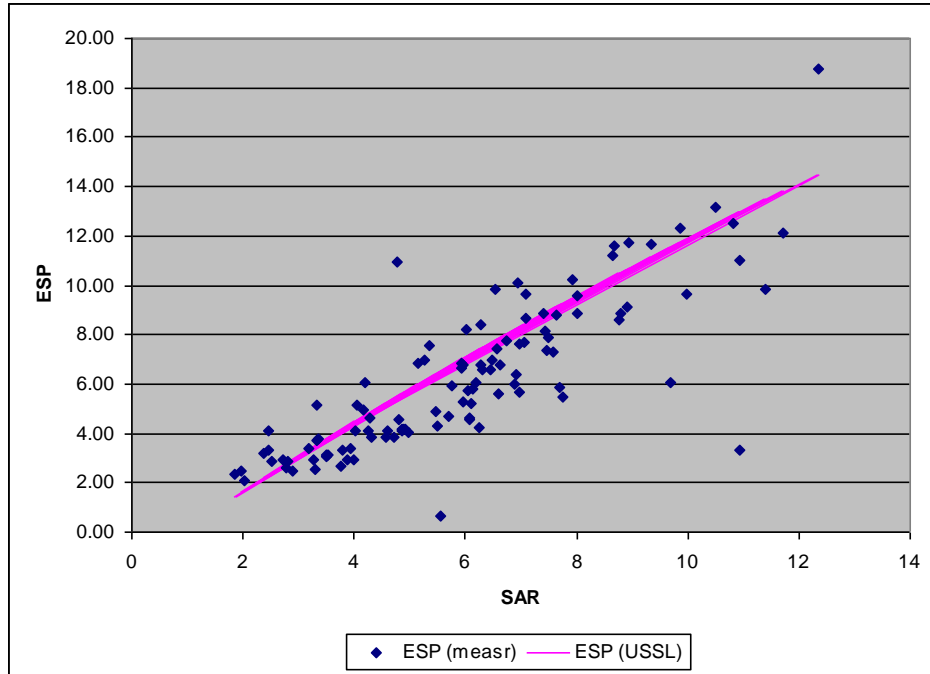
איור 6. השפעת איכות מי ההשקיה (שפירים וקולחים) על ה-ESP של הקרקע במטע האבוקדו במעפיל-TWW מי קולחים.



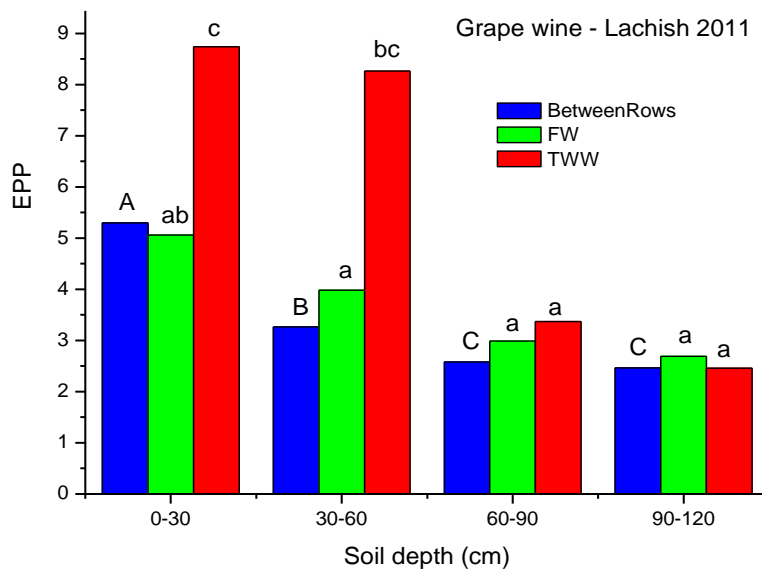
איור 7. השוואת ערכי ה-SAR שחושב ללא תיקון עבור ריכוז הסיידן ויון הדו-פחמה (SAR) לערכי ה-SARadj בתמיסת הקרקע בדוגמאות מלכיש. האלכסון מייצג את הקו 1:1.



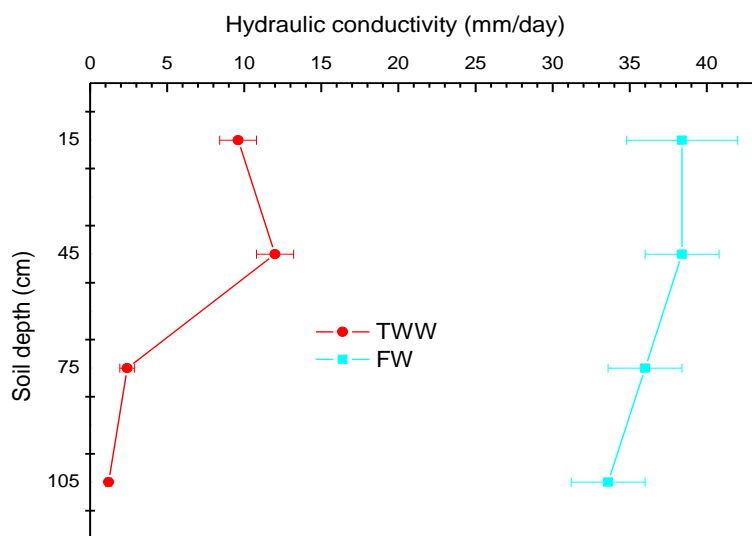
איור 8. הקשר בין ה- SAR הלא מתוקן (תת-איור עליון) וה- SARadj (תת-איור תחתון) של תמיסת הקרקע לבין ה- ESP המדוד (נקודות) וזה המחושב לפי המעבדה למליחות (קו רציף) עבור דוגמאות הקרקע מלכיש.



איור 9. הקשר בין ה- SAR הלא מתוקן של תמיסת הקרקע לבין ה- ESP המדוד (נקודות) וזה המחושב לפי המעבדה למליחות (קו רציף) עבור דוגמאות הקרקע ממטע הזיתים בקדמה.

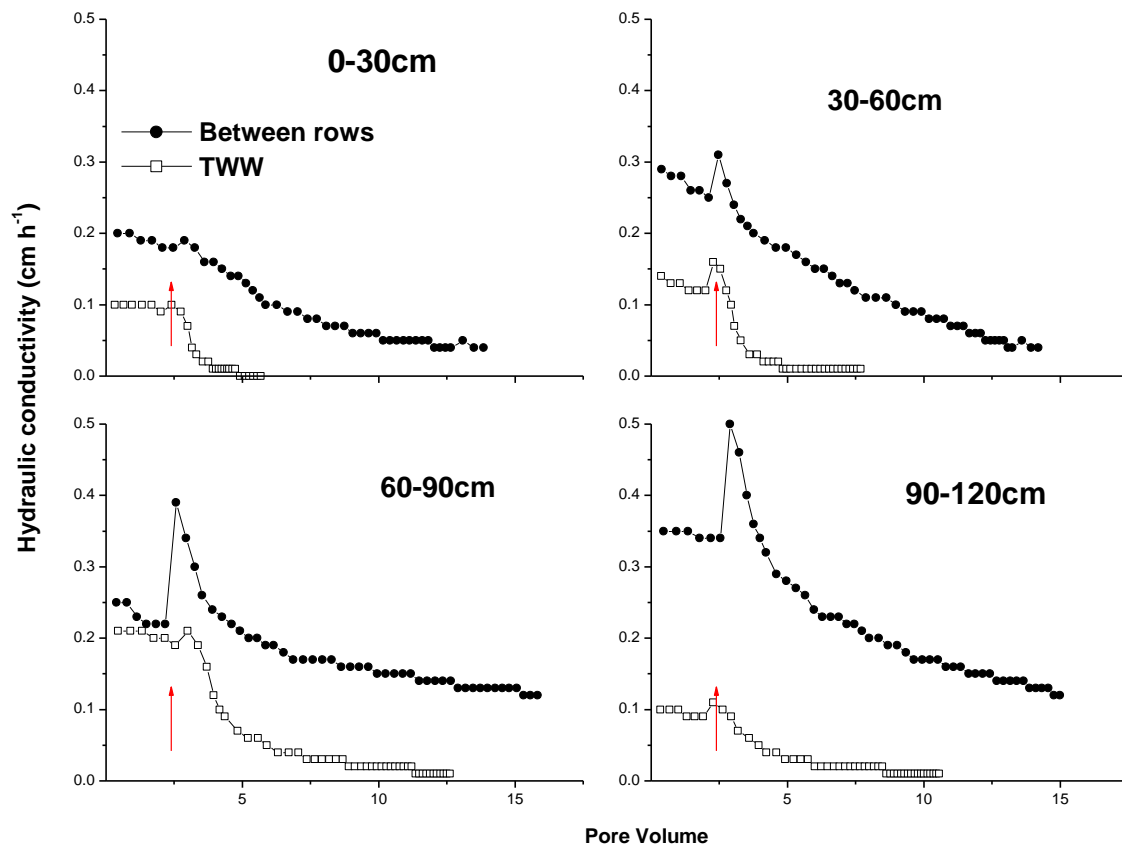


איור 10. השפעת איכות המים על ה- EPP של שכבות הקרקע השונות בכרם בלכיש. עמודות מעליהן אותה אות גדולה אינן נבדלות באופן מובהק ($P < 0.05$). עמודות מעליהן אותה אות קטנה אינן נבדלות באופן מובהק ($P < 0.05$). FW- מים שפירים. TWW- מי קולחים.

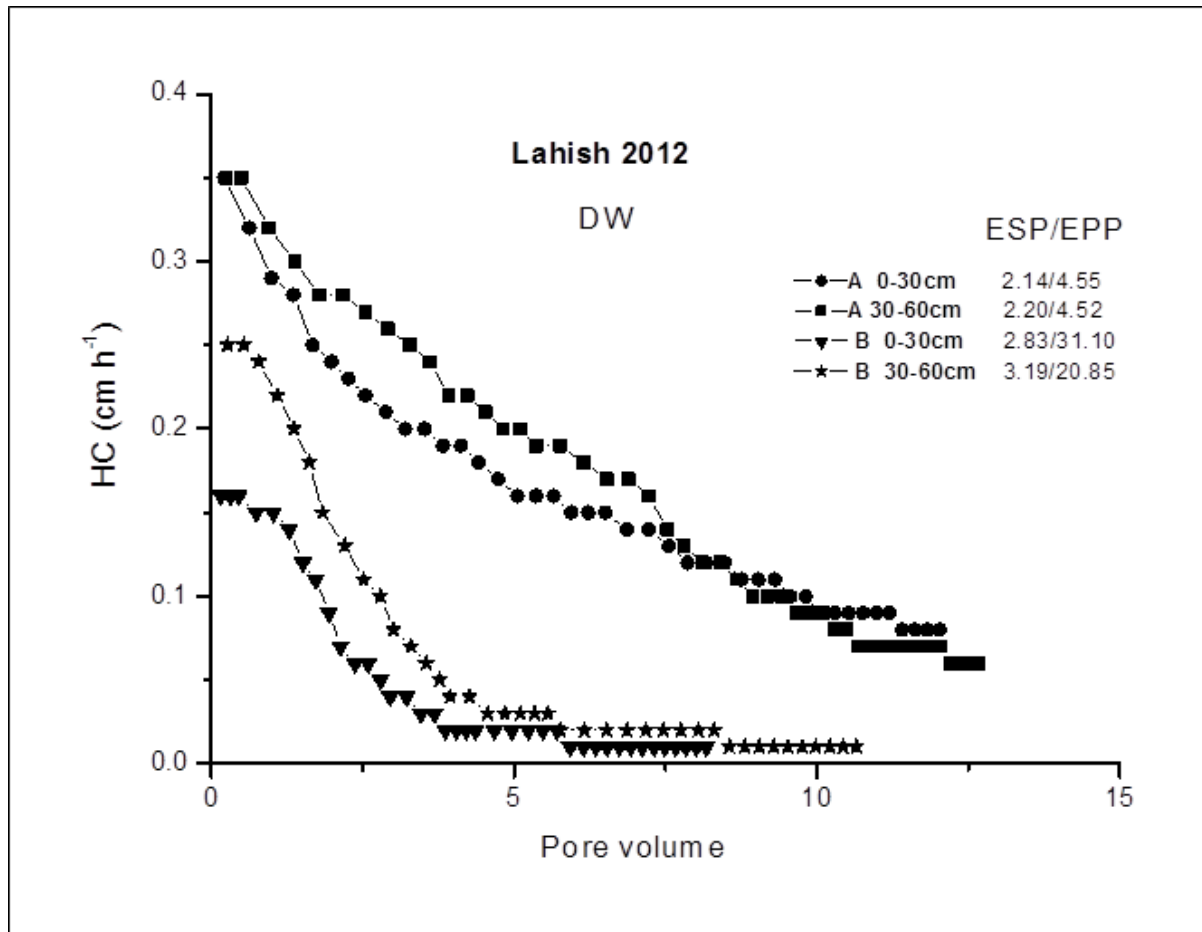


איור 11. המוליכות ההידראולית ברוויה במצב עמיד בשכבות הקרקע השונות בדוגמאות בלכיש כתלות באיכות מי ההשקיה. FW- מים שפירים. TWW – מי קולחים.

Wetting&leaching 2,5pV with SAR2 50meq/l+Leaching with DW



איור 12. השפעת השקייה בקולחים על המוליכות ההידראולית ברוויה בשכבות הקרקע השונות בהשוואה לזו המתקבלת באיזור שאינו מושקה במטע האבוקדו ביפעת. החץ בכל תת-איור מעיד על חילוף התמיסה השוטפת מתמיסת מלח למים חסרי יונים. TWW – מי קולחים.



איור 13. השפעת אחוז אשלגן ספוח (EPP) על המוליכות ההידראולית ברוויה של קרקע חרסיתית-חולית ממשוב ניר-חן. טיפול A – השקייה במים שפירים. טיפול B – השקייה במי קולחים עם מנת ספיחת אשלגן (PAR) גבוהה.