

דו"ח מסכם לתוכנית מחקר מספר 301-0720-11

התפלגות יוני נתרן בין תמיסת הקרקע והפאזה המוצקה בפרופיל הקרקע במטעים המושקים בקולחים

The distribution of Na ions between the soil solution and its solid phase in the soil profile of orchards irrigated with treated wastewater

מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות

ע"י:

גיא לוי, דינה גולדשטיין, המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מינהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני.

G. Levy, and D. Goldstein, Institute of Soil, Water and Environmental Sciences, ARO, The Volcani Center, P.O. Box 6, Bet Dagan 50250.

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

ינואר 2013

שבת 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
4	7. תוצאות ודין
8	8. רשימת ספרות מצוטטת
9	9. סיכום עם שאלות מנחות
10	10. נספחים (טבלאות ואיורים)

3. תקציר מדעי

לאחרונה מצטברות עדויות על פגיעה בהתפתחות העצים וביבולים במטעים המושקים לאורך זמן רב בקולחים. תוצאות בדיקות קרקע במטעים בהם נצפתה פגיעה בגידול, מראות כי בחתך הקרקע (עומק <30 ס"מ) אחוז הנתרן הספוח (ESP) מגיע לערכים של 6-10 שהינם גבוהים מהערכים הצפויים בהסתמך על מצב שו"מ בין הרכב מי ההשקיה לתצמיד הסופח. בשכבות קרקע אלו, בהן ערכי ה-ESP מגיעים לתחום הנ"ל, צפוי של-ESP תהיה השפעה שלילית על תנועת מים ויחסי אויר-מים שבתורה עלולה להשפיעה על התפתחות העצים וניבתם.

מטרת המחקר הכללית ללמוד את התפלגות יוני הנתרן בין תמיסת הקרקע לבין התצמיד הסופח במטעים המושקים בקולחים בתנאים שונים של שטיפה בכדי לראות האם וכיצד ניתן לדמות וללמוד את המצב שצויין לעיל בשדה.

תוכנית העבודה במהלך שתי שנות המחקר כללה שטיפת עמודות קרקע חרסיתית חולית באורך 30 ס"מ בשטף קבוע של 55 מ"מ/ש' בעזרת משאבה פריסטלטיית בתמיסות בריכוז כלוריד קבוע של 20 מא"ק/ל' (מליחות הדומה לזו שמצויה במי קולחים) בעלות SAR של 8 או 20, ובמים מזוקקים (DW, הדמיה למי גשם) בתנאים הבאים: (1) שטיפה רציפה (תנאים בהם מניחים קיום של שיווי משקל בין תמיסת השטיפה לפאזה המוצקה בשתי העונות), ו- (2) בתנאים שונים של שטיפה בפעימות (תנאים בהם מניחים אי קיום של שיווי משקל בין תמיסת השטיפה לפאזה המוצקה בשתי העונות).

תוצאות מרכזיות הראו (1) ששטיפת עמודות הקרקע בתמיסות המלח הצביעו על יעילות חילוף יונים לא גבוהה ($>60\%$) בין התמיסה השוטפת והקומפלקס הסופח בקרקע; (2) שתגובת ה-ESP של הקרקע לשטיפה עוקבת ב-DW לאחר שטיפה בתמיסת מלח הייתה תלויה בתכונות תמיסת המלח, אופן השטיפה (רציף/פעימות) בתמיסת המלח וה-DW, ובנפח השטיפה; (3) שלא קיים שיווי משקל בין

הרכב היוני של מי השטיפה לבין זה שבקומפלקס הסופח במהלך שטיפת קרקע. ו- (4) שבעקבות שטיפה ב-DW חלה בתנאים מסויימים הצטברות יוני נתרן ספוחים בתחתית עמודת הקרקע, זאת בהתאמה עם תצפיות ממטעים בהם התקבלו בתת הקרקע ערכי ESP גבוהים יותר מאלו הצפויים כתוצאה מהשקייה ממושכת במי קולחים. תוצאות המחקר מצביעות על הצורך בפיתוח ממשקי גידול והשקייה כאלו שיוודאו שהצטברות הנתרן החליף תתרחש בעומק קרקע כזה בו לא תגרם פגיעה לגידול.

4. רשימת פרסומים

בשלב זה עדיין לא פורסמו תוצאות שהתקבלו מעבודת המחקר הנוכחית.

5. מבוא

מי קולחים משמשים מזה זמן רב להשקייה הן בגידולי שדה והן במטעים, כאשר צפוי שבקרוב יהוו הקולחים כ- 50% ממי ההשקייה המופנים לחקלאות. מרבית המחקרים על השפעת השקייה בקולחים על יציבות מבנה הקרקע התמקדו בשכבת הקרקע העליונה (0-30 ס"מ) ולא דווח בהם על עליה במנת ספיחת הנתרן (SAR) של תמיסת הקרקע לערכים הגבוהים מאלו המצויים בקולחים (1). לאחרונה הולכות ומצטברות עדויות על פגיעה בהתפתחות העצים וביבולים במטעים המושקים לאורך זמן רב בקולחים (אשר איזנקוט, אברהם זילברמן, ענת לוינגרט, מדריכי שירות שדה, תקשורת אישית). תוצאות בדיקות קרקע במטעים בהם נצפתה פגיעה בגידול (מטע אבוקדו בחוות עכו, מטע אגסים בראש פינה, כרם ענבים באזור לכיש ואחרים), מראות כי בחתך הקרקע (עומק < 30 ס"מ) אחוז הנתרן הספוח (ESP) מגיע לערכים בתחום 6-9 בעקבות השקייה ממושכת בקולחים בעלי SAR בתחום של 3-5 ואף נמוך מזה. ערכי ESP אלו גבוהים מערכי ה-ESP שצפויים על פי הקשר המקובל בין SAR ל-ESP (2). בשכבות קרקע בהן ערכי ה-ESP מגיעים לתחום הנ"ל, צפוי של-ESP תהיה השפעה שלילית על תנועת מים ויחסי אויר-מים, שבתורה עלולה להשפיעה על התפתחות העצים וניבתם. יש גם מקום לחשוש שהסכנה לעליה ב-ESP של הקרקע ולתופעות השליליות הנלוות לה, בעת השקייה במי קולחים שמקורם במים מותפלים אף גבוהה יותר, כי בקולחים אלו ה- SAR צפוי להיות גבוה מזה שבמי קולחים שמקורם במים שפירים (3).

מטרת המחקר הייתה אפיון התפלגות יוני הנתרן בין תמיסת הקרקע לבין התצמיד הסופח בתום עונת השקיה בקולחים ובתום עונה עוקבת של גשם בתנאים של שטיפה רציפה (תנאים בהם מניחים קיום של שיווי משקל בין תמיסת השטיפה לפאזה המוצקה בשתי העונות) ובתנאים שונים של שטיפה בפעילות (תנאים בהם מניחים אי קיום של שיווי משקל בין תמיסת השטיפה לפאזה המוצקה בשתי העונות). זאת בכדי לראות האם וכיצד ניתן להבין ולדמות את המצב של הצטברות יוני נתרן ספוח בתת הקרקע כפי שנצפה בשדה.

6. שיטות וחומרים

הניסוי בוצע בקרקע חרסיתית-חולית (37.5% חרסית, 11.25% סילט, 51.25% חול) בעלת קק"ח של 30.25 מא"ק/ק"ג 100 גר' קרקע, שנדגמה בשדה של קיבוץ חפץ חיים. ה-ESP של הקרקע היה 1.93, תכולת החומר האורגני והגיר הייתה 1.85% ו-13.25%, בהתאמה.

דוגמאות קרקע (930 גר) נארזו לגובה 30 ס"מ בגילי PVC בקוטר 5 ס"מ ובאורך 40 ס"מ בצפיפות של 1.39 גר/מ³. עמודות הקרקע נשטפו בתמיסות בריכוז כלוריד קבוע של 20 מילימול/ל' (מליחות הדומה לזו שמצויה במי קולחים) ובמים מזוקקים (DW, הדמיה למי גשם) לפי תוכנית הניסויים כמפורט בטבלאות 1 ו-2. במהלך הניסוי השתמשנו בתמיסות עם 8 SAR ובתמיסות בעלות 20 SAR. העמודות נשטפו בשטף קבוע של 55 מ"מ/ש' בעזרת משאבה פריסטלטיית. נפח התמיסה השוטפת (תמיסת מלח או מים מזוקקים) נקבע על פי תוכנית הניסויים (טבלאות 1 ו-2). במקרה של שטיפות בפעימות, יובשו העמודות בתנור ב-40°C עד שתכולת הרטיבות הייתה מחצית מזו של הקרקע הרוויה בסוף תהליך השטיפה (בין 48 ל-72 שעות) בין פעימות.

במהלך השטיפה נאסף התשטיף שהתקבל מכל עמודה במבחנות שהונחו באוסף חלקיקים. בכל המבחנות האי-זוגיות נקבעו המוליכות החשמלית (EC), pH, ריכוז פחמן אורגני מומס (TOC) וריכוז פחמן אי אורגני (IC). במבחנות הזוגיות נקבע ריכוז יוני הנתרן, אשלגן, סיגן ומגניזיום שמהם חושבו ה-SAR ומנת ספיחת האשלגן (PAR). בסיום כל ניסוי יובשו העמודות בתנור וחולקו לשש שכבות בעובי של 5 ס"מ כל אחת. בכל שכבה נקבע ה-ESP.

7. תוצאות ודין

7.1 מדדים כלליים בתשטיפי העמודות

השינויים במוליכות החשמלית (EC, מדד למליחות כללית), pH, ריכוז פחמן אורגני מומס (TOC) וריכוז פחמן אי אורגני (מדד להתמוססות גיר) בתשטיפים מהעמודות שהתקבלו בעת שטיפה בתמיסת מלח ושטיפה עוקבת רציפה ב-DW מוצגים באיור 1. כצפוי המוליכות החשמלית בעת שטיפה בתמיסת המלח הייתה גבוהה יותר מזו בעת השטיפה ב-DW. בעת השטיפה ב-DW מתייצבת המוליכות החשמלית על ערך קבוע שנובע מהתמוססות של גיר בקצב קבוע (ראה איור של ריכוז הפחמן האי-אורגני). ערכי ה-pH גבוהים יותר בעת שטיפה ב-DW מאשר בעת השטיפה בתמיסת מלח גם כן כתוצאה מהתמוססות המוצאת של הגיר בקרקע התורמת לעליה ב-pH. ההתמוססות המוצאת של הגיר בזמן שטיפה ב-DW בהשוואה לשטיפה בתמיסת המלח (איור 1) נובעת מכך שבעת השטיפה בתמיסת המלח הנתרנית הפכה את הקרקע לנתרנית יותר. יוני הנתרן הספוחים מהוויים מבלע ליוני הסיידן המשתחררים לתמיסת הקרקע בעת התמוססות הגיר. הרחקת יוני הסיידן בעקבות חילוף יונים עם יוני

נתרן הספוחים מתמיסת הקרקע מעודדת בתורה את התמוססות הגיר שבאה לפצות על יוני הסידן שמורחקים מהתמיסה.

השינויים בפרמטרים שצוינו לעיל בתשטיפים מהעמודות שהתקבלו בעת שטיפה בתמיסת מלח ושטיפה עוקבת ב- DW בשלוש פעימות עם ייבוש בין פעימה לפעימה מוצגים באיור 2. השוואת הנתונים עבור כל פרמטר בין איור 1 ל- 2 מצביעה על כך שתהליך היבוש גורם ל- "פיקים" במוליכות החשמלית, ה- TOC והפחמן האי-אורגני. סביר להניח שהעליה בערכי הפחמן האי אורגני לאחר יבוש העמודה יחד עם עליה בריכוזי הנתרן (נתונים לא מוצגים) הם הגורם המרכזי לעליה שנצפתה במוליכות החשמלית של התשטיפ באותם נפחי נקבובים. העליה החדה בריכוז הפחמן האי-אורגני מוסברת בכך שבעת יבוש חלה התרכזות של תמיסת הקרקע ואיתה עליה ב- SAR שבתורה גורמת לעליה בספיחה של יוני נתרן. כפי שצויין לעיל, עליה באחוז נתרן ספוח מהווה מבלע ליוני סידן שבתמיסה ומכאן להתמוססות גיר מוצצת.

7.2 יחסי SAR ו- ESP בעת שטיפה בתמיסת מלח

בניסויים 1, 6, 11 ו- 19 (טבלה 1) בחנו את השפעת שטיפת הקרקע עם תמיסת מלח בריכוז 20 מא"ק/ל בעלת SAR 8 או 20 על ניתרון הקרקע. בניסוי 1 בוצעה שטיפה רציפה של 600 מ"מ תמיסה בעלת SAR 8 ובניסוי 6 בוצעה השטיפה באותה התמיסה אך בשלוש פעימות של 200 מ"מ כל אחת כשבין פעימות יובשה עמודת הקרקע בתנור כמתואר לעיל (סעיף 6). בניסוי 11 בוצעה שטיפה רציפה של 600 מ"מ תמיסה בעלת SAR 20 ובניסוי 19 בוצעה שטיפה רציפה באותה תמיסה אך בנפח שטיפה של 1000 מ"מ. לא הובחנו הבדלים ב- SAR של התשטיפ במהלך השטיפה בין הטיפולים למרות השוני הגדול ב- SAR של תמיסת השטיפה (איור 3). שטיפה ב 600 מ"מ גרמה ל- SAR לעלות מ 2.5 ל- 4.5 כאשר רק שטיפה ארוכה יותר העלתה את ה- SAR של התשטיפ ל- 7.5. בכל הטיפולים ה- SAR בתשטיפ היה נמוך באופן מובהק מזה של תמיסת השטיפה דבר המעיד שהקרקע בעמודה לא הגיעה לשו"מ עם תמיסת השטיפה.

ה- ESP בשכבת הקרקע העליונה (0-5 ס"מ) בתום השטיפה בשני הטיפולים של תמיסה עם SAR 8 היה דומה (6.5). בתחתית העמודה (25-30 ס"מ) ה- ESP היה נמוך באופן מובהק מזה שבשכבה העליונה (איור 4A&B). ה- ESP הממוצע לאורך העמודה היה דומה בשני הניסויים - 5.6, שהיה גבוה ב- 3.7% מזה של הקרקע הטבעית. מכאן, במהלך השטיפה נספחו לקרקע 10.4 מא"ק של נתרן. שטיפה של 600 מ"מ תמיסה הוסיפה לקרקע 19.1 מא"ק של נתרן. התוצאות מצביעות על יעילות חילוף ממוצעת של 54% בתנאי הניסוי הללו. שטיפה של 600 מ"מ בתמיסה עם SAR 20 (ניסוי 11) גרמה לפער גבוה מאוד בין ה- ESP בשכבת הקרקע העליונה לבין זה שבשכבה התחתונה (איור 5). ה- ESP הממוצע לאורך העמודה היה 7.14 שהיה גבוה ב- 5.2% מזה של הקרקע הטבעית. מכאן,

במהלך השטיפה ונספחו לקרקע 14.6 מא"ק של נתרן. שטיפה של 600 מ"מ תמיסה הוסיפה לקרקע 25.1 מא"ק של נתרן. התוצאות מצביעות על יעילות חילוף ממוצעת של 58% בתנאי הניסוי הללו. ההבדל שנמצא ביעילות חילוף הנתרן בין שתי התמיסות היה נמוך מהצפוי לנוכח הפער הגדול ב-SAR ביניהן.

במטעים נפח הקרקע המורטב הינו כשליש מנפח הקרקע לכן עבור מנת השקייה של 600 מ"מ מוסף לקרקע המורטבת באופן מעשי נפח הגדול פי שלוש ממנת ההשקיה, קרי 1800 מ"מ. כאשר בוצעה שטיפה ארוכה של העמודה בתמיסת SAR 20 בנפח של כ- 1800 מ"מ (טיפול 101, טבלה 2) ה-ESP בשכבת הקרקע העליונה היה 18.5 וכצפוי, קרוב לערך של ה-SAR של תמיסת השטיפה. אולם גם נפח שטיפה גדול כזה לא הצליח לגרום לקבלת שיווי משקל בין ה-SAR של תמיסת השטיפה לבין ה-ESP של התצמיד הסופח לאורך כל העמודה, כאשר ה-ESP בשכבת הקרקע התחתונה הגיע רק לערך של 8 בלבד (איור 6). שטיפת עמודה עם תלכידים במקטע גודל של 1-2 מ"מ בתמיסת SAR 20 (טיפול 101a) גרמה לפילוג ערכי ESP לאורך העמודה שהיה דומה לזה שהתקבל כאשר העמודה נארזה עם תלכידים בגודל >2 מ"מ (איור 6) דבר שמצביע שלגודל התלכידים אין השפעה על תהליכי חילוף היונים בין תמיסת הקרקע והתצמיד הסופח.

ראוי עם זאת לציין שלמרות שבחלק גדול מהניסויים לא הושג שיווי משקל בין ה-SAR של תמיסת השטיפה לבין ה-ESP של התצמיד הסופח לאורך כל העמודה הרי שהתקבלה התאמה טובה על פי המונוגרמה שפרסמה המעבדה למליחות בארה"ב (2) בין ה-ESP בשכבת הקרקע התחתונה בעמודה לבין ה-SAR של התשטיף בסיום תהליך השטיפה (טבלה 3). מכאן שברמת ה"מיקרו" קיים שיווי משקל בין ה-SAR של תמיסת הקרקע לבין ה-ESP של הקרקע. אולם, השגת שיווי משקל בין ה-SAR של תמיסה חיצונית (או של מי השקייה) לבין התצמיד הסופח בקרקע אינה תמיד אפשרית, ביחוד בתנאי שדה כאשר איכות המים החודרת לקרקע אינה קבועה (מי השקייה ומי גשם). מכאן בתנאי שדה קשה להעריך מראש את התפלגות ערכי ה-ESP בפרופיל הקרקע בעקבות השקייה במים בעלי SAR נתון.

7.3. השפעת שטיפה בתמיסת מלח ושטיפה עוקבת ב-DW על ה-ESP של הקרקע

השפעת שטיפה בתמיסות המלח השונות (רציפה או בפעימות) ושטיפה עוקבת ב-DW (רציפה או בפעימות) על ה-ESP של השכבות השונות בעמודות הקרקע נלמדה כתלות בנפחי שטיפה שונים. שטיפה ב-600 מ"מ של תמיסת המלח גורמת לקבלת ערכי ESP גבוהים בשתי שכבות הקרקע העליונות ואח"כ דעיכה ב-ESP עם העומק (טיפול 1 איור 4A, טיפול 6 איור 4B וטיפול 11 איור 5). קצב הדעיכה היה מהיר יותר כאשר ה-SAR של התמיסה גבוה יותר. שטיפת עמודת הקרקע ב-1800 מ"מ של תמיסה גרמה גם כן לקבלת ערכי ESP גבוהים בשכבת הקרקע העליונה אשר גם כן

דענו עם העומק (איור 6). אולם כצפוי, עליה בנפח התמיסה השוטפת תרם לקבלת ערכי ESP גבוהים יותר עבור תמיסה עם SAR נתון (טיפול 11 איור 5, וטיפול 101 איור 6). תצפיות אלו מצביעות על כך שבשכבות הקרקע העליונות (0-10 ס"מ) חל מרבית חילוף היונים (נתרן נספח וסידן חליף משתחרר לתמיסת הקרקע) אשר הולך ופוחת כיון שעם העומק חלה פחיתה בריכוז יוני הנתרן בתמיסה ועליה בריכוז יוני הסידן שגורמים לפחיתה עוקבת ב-SAR של תמיסת הקרקע וכך מקטינים את הכח המניע לחילוף יונים.

תגובת הקרקע לשיטה עוקבת ב-DW לאחר שטיפה בתמיסה בעלת SAR 8 הייתה תלויה באופן השיטה בתמיסת המלח, רציף או בפעימות. כאשר השיטה בתמיסת מלח הייתה רציפה, יעילות השיטה עם DW בטיוב הקרקע (קרי הורדת ה-ESP כתוצאה מחילוף יוני נתרן ספוחים ביוני סידן שמקורם בהתמוססות הגיר בקרקע) הייתה תמונת ראי להשפעת תמיסת המלח על ה-ESP; היא הייתה הגבוהה ביותר בשתי שכבות הקרקע העליונות ודעכה עם העומק (טיפול 3 וטיפול 1, איור 4A). עם זאת ניתן לראות כי הקטנת נפח השיטה ב-DW מ-600 ל-200 מ"מ (טיפולים 4 ו-5, איור 4A) הקטין בדרך כלל את יעילות טיוב הקרקע, וכבר בשכבות הקרקע העליונות והיא שמרה על ערכי ESP גבוהים יותר מאשר שטיפה ב-600 מ"מ (טיפול 3). כאשר השיטה בתמיסת המלח הייתה בפעימות, השפעת השיטה העוקבת ב-DW הייתה יעילה יותר בהפחתת ה-ESP כאשר ניתנה בפעימות (טיפולים 7 ו-8, איור 4B). עם זאת ה-ESP בתום השיטה ב-DW כמעט ולא השתנה עם עומק הקרקע. שטיפה עוקבת ב-600 מ"מ של DW לאחר שטיפת הקרקע בתמיסה בעלת SAR 20 מצביעה על כך שחלה תופעה של הצטברות יוני נתרן ספוחים בתחתית עמודת הקרקע, קרי ערכי ה-ESP בתום שטיפה עם DW היו גבוהים מזה שהתקבל בתום השיטה בתמיסת המלח (איור 5). תופעה זו נמצאת בהתאמה עם תצפיות ממטעים בהם התקבלו בתת הקרקע ערכי ESP גבוהים יותר מאלו הצפויים כתוצאה מהשקיייה ממושכת במי קולחים. כאשר השיטה העוקבת ב-DW היא בנפח של 1800 מ"מ (10 נפחי נקבובים) אזי מתקבלים ערכי ESP לאורך עמודת הקרקע הנמוכים באופן משמעותי מה-ESP בעת שטיפה בתמיסת המלח (איור 6) כיון שיוני הנתרן שנדחקו מהתצמיד הסופח נשטפו אל מחוץ לעמודה.

בתנאי שדה, ביחוד בעונת ההשקיה, חלקם הגדול של המים המוספים נלקחים על ידי הצמח ואינם משמשים לשיטפת הקרקע. לכן השפעת המים המוספים על תהליך חילוף יונים יכולה להיות קטנה מהצפוי. בעקבות זאת נבדקה גם השפעת תוספת מים קטנה על ה-ESP של עמודת הקרקע. השפעת שטיפה לסירוגין של תמיסת SAR 20 ו-DW כולל יבוש העמודה במעבר בין איכויות מים מוצגת באיור 7. כאשר נפח התמיסה השוטפת קטן מקבלים ערכי ESP נמוכים גם בשכבת הקרקע העליונה אשר דועכים עם העומק (טיפולים 103 ו-105, איור 7). תופעה דומה אך בעוצמה מעט קטנה יותר נצפתה כאשר השיטה בוצעה בתמיסה עם SAR 8 (איור 8).

כאשר נשטפה הקרקע ב- 10 נפחי נקבובים של תמיסת SAR 20 ואח"כ עם סדרה של שטיפות קצרות מאוד ב- DW (טיפול 106) נצפתה העשרה של שלושת שכבות הקרקע התחתונות בנתרן ספוח בהשוואה לפרופיל ה- ESP בקרקע בסיום השטיפה בתמיסת המלח (טיפול 101) (איור 9). בניסוי דומה בו השטיפה הייתה עם תמיסה בעלת SAR 8 (טיפולים 116 ו-117), במקום עם תמיסה בעלת SAR 20, לא נצפתה העשרה של שכבות הקרקע התחתונות בנתרן ספוח בהשוואה לפרופיל ה- ESP בקרקע בסיום השטיפה בתמיסת המלח (טיפול 1) (איור 10). אנו מניחים שהתופעה של הצטברות יוני נתרן ספוח בשכבות הקרקע התחתונות בעמודה התרחשה רק בעת שימוש בתמיסת מלח בעלת SAR 20 ולא בעת שימוש בתמיסה בעלת SAR 8, כיוון שתופעת הצטברות יוני נתרן היא איטית וצריך ליצור מצבי קיצון (SAR 20) בשביל להבחין בה במהלך ניסוי מעבדתי קצר.

משמעות התוצאות שהתקבלו היא שבתנאי שדה יכול להתקיים תהליך של דחיקת יוני נתרן הספוחים משכבות הקרקע העליונות בזמן שטיפה ב- DW (או בעונת החורף במטע) והם מצטברים בשכבות עמוקות יותר וגורמים לניתרון. מיקום הצטברות יוני הנתרן שנדחקו משכבות הקרקע העליונות תלוי בנפח מי הגשם שעוברים בחתך הקרקע. באזורים גשומים יצטבר הנתרן הספוח בעומק רב יותר מפני הקרקע מאשר באזורים פחות גשומים בהם העדר שטיפה מספקת ב- DW תגרום לדחיקת יוני הנתרן לשכבות פחות עמוקות (90-120 ס"מ) שבהן השפעתו המזקת של הנתרן על תכונות הקרקע בעומק בית השורשים עשויה להיות בעלת משמעות עבור התפתחות הגידול ויבולו. תוצאות המחקר מצביעות על הצורך בפיתוח ממשקי גידול והשקייה כאלו שיוודאו שהצטברות הנתרן החליף תתרחש בעומק קרקע כזה בו לא תגרם פגיעה לגידול.

8. רשימת ספרות מצוטטת

1. Levy, G.J. and Assouline, S. 2011. Physical aspects. p. 306-327. In: Levy, G.J., Fine, P., and Bar-Tal, A. (eds.). Treated Wastewater in Agriculture: Use and impacts on the soil environment and crops. Wiley-Blackwell, Oxford U.K.
2. US Salinity Laboratory Staff. 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. USDA Handbook 60. Washington, D.C.
3. חורחה טרצ'ציקי, מלכה כוכבא, אורי להב. 2010. השלכות אפשריות של אספקה מסיבית של מים מותפלים על איכות הקולחים להשקיית גידולים. הנדסת מים חוברת 67 עמ' 36-42.

9. סיכום עם שאלות מנחות

מטרות המחקר תוך התייחסות לתוכנית העבודה.
מטרת המחקר הייתה ללמוד את התפלגות יוני הנתרן בין תמיסת הקרקע לבין התצמיד הסופח בתום עונת השקיה בקולחים ובתום עונה עוקבת של גשם בתנאים שונים של שטיפה (רציפה ובפעימות עם/ללא ייבוש בין פעימה לפעימה).
עיקרי הניסויים והתוצאות.
עמודות קרקע חרסיתית חולית בגובה 30 ס"מ נשטפו בתמיסות מלח (20 מא"ק/ל") בעלות SAR 8 או 20 ולאחריהן במים מזוקקים (DW). השטיפות באיכות מים נתונה היו רציפות או בפעימות, כאשר במקרה של פעימות יובשו העמודות למשך 48 ש' בין פעימות. במהלך השטיפה נאסף התשטיף שהתקבל מכל עמודה ונקבעו המוליכות החשמלית (EC), pH, ריכוז פחמן אורגני מומס (TOC), ריכוז פחמן אי אורגני (IC) וריכוז יוני הנתרן, אשלגן, סיגן ומגניזיום שמהם חושבו ה- SAR. בסיום כל ניסוי יובשו העמודות בתנור וחולקו לשש שכבות בעובי של 5 ס"מ כל אחת. בכל שכבה נקבע ה- ESP.
בהסתמך על תוצאות ההרכב הכימי של תמיסת הקרקע בתשטיפים של העמודות נמצא שלא התקיים שיווי משקל בין ה- SAR של תמיסת המלח השוטפת לבין ה- ESP בקרקע אך התקיים שיווי משקל בין ה- SAR של תמיסת הקרקע לבין ה- ESP בקרקע. ה- ESP של הקרקע בתום השטיפה בתמיסות המלח הנתרניות הצביע על כך ש $60\% > S$ מיוני נתרן שעברו בקרקע השתתפו בתהליך חילוף יונים עם הקומפלקס הסופח. בעקבות שטיפה DW חלה בתנאים מסויימים הצטברות יוני נתרן ספוחים בתחתית עמודת הקרקע, זאת בהתאמה עם תצפיות ממשעים בהם התקבלו בתת הקרקע ערכי ESP גבוהים יותר מאלו הצפויים כתוצאה מהשקיה ממושכת במי קולחים.
מסקנות מדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו. האם הושגו מטרות המחקר לתקופת הדוח?
מטרות המחקר לתקופת הדוח הושגו. המחקר הראה שלא קיים שיווי משקל בין הרכב היוני של מי השטיפה לבין זה שבקומפלקס הסופח במהלך שטיפת קרקע הן בעונת השקיה והן בעונת הגשם העוקבת. ההדמיות במעבדה לתנאים בהם תחול הצטברות יוני נתרן בתת הקרקע מעבר לצפוי לפי ההרכב היוני של מי השטיפה מאוששות ומסבירות תצפיות דומות שהתקבלו בשדה.
בעיות שונות לפתרון ו/או שינויים (טכנולוגיים, שיווקיים ואחרים) שחלו במהלך העבודה; התייחסות המשך המחקר לגביהן, האם יושגו מטרות המחקר בתקופה שנותרה לביצוע תוכנית המחקר?
תוצאות המחקר הראו שבתנאים מסויימים תחול הצטברות יוני נתרן בתת הקרקע (כפי שנצפה בשדה) מעבר לצפוי על פי תכונות מי השטיפה. ההצטברות הזו נובעת מכך שלא קיים שיווי משקל בין הרכב היוני של מי השטיפה לבין זה שבקומפלקס הסופח במהלך שטיפת קרקע. תוצאות המחקר מצביעות על הצורך בפיתוח ממשקי השקיה כאלו שיוודאו שהצטברות הנתרן החליף תתרחש בעומק קרקע כזה בו לא תגרם פגיעה לגידול.
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.
בשלב זה עדיין לא פרסמו/הוצגו תוצאות שהתקבלו מעבודת המחקר הנוכחית.
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 (טבלאות ואיורים)

טבלה 1. טבלת טיפולים – שנה ראשונה

שלב 1

מספר טיפול	הרכב תמיסה	נפח שטיפה	הערות
1	SAR 8, 20 meq/L	600 mm	שטיפה רציפה.
2	SAR 8 ,20 meq/L + DW	600 mm + 600 mm	שטיפה רציפה בשתי איכויות המים.
3	SAR 8 ,20 meq/L + DW	600 mm + 600 mm	תמיסה בשטיפה רציפה. שטיפה עוקבת ב-DW ב 3 פעימות של 200 מ"מ עם יבוש בין פעימה לפעימה.
4	SAR 8 ,20 meq/L + DW	600 mm + 200 mm	שטיפה רציפה בשתי איכויות המים.
5	SAR 8 ,20 meq/L + DW	600 mm + 200 mm	תמיסה בשטיפה רציפה. שטיפה עוקבת ב-DW ב 3 פעימות של 67 מ"מ עם יבוש בין פעימה לפעימה.
6	SAR 8, 20 meq/L	600 mm	שטיפה ב 3 פעימות של 200 מ"מ עם יבוש בין פעימה לפעימה.
7	SAR 8 ,20 meq/L + DW	600 mm + 600 mm	תמיסה בשטיפה ב 3 פעימות של 200 מ"מ עם יבוש בין פעימה לפעימה ושטיפה עוקבת רציפה ב DW.
8	SAR 8 ,20 meq/L + DW	600 mm + 600 mm	תמיסה בשטיפה ב 3 פעימות של 200 מ"מ עם יבוש בין פעימה לפעימה ושטיפה עוקבת ב 3 פעימות של 200 מ"מ ב DW.

שלב 2

מספר טיפול	הרכב תמיסה	נפח שטיפה	הערות
11	SAR 20, 20 meq/L	600 mm	שטיפה רציפה.
12	SAR 20 ,20 meq/L + DW	600 mm + 600 mm	שטיפה רציפה בשתי איכויות המים עם יבוש במעבר מתמיסה ל-DW.
13	SAR 20 ,20 meq/L + DW	600 mm + 600 mm	תמיסה בשטיפה רציפה. יבוש שטיפה עוקבת ב-DW ב 3 פעימות של 200 מ"מ עם יבוש בין פעימה לפעימה.
18	SAR 20 ,20 neq/L + DW	600 mm + 600 mm	תמיסה בשטיפה ב 3 פעימות של 200 מ"מ עם יבוש בין פעימה לפעימה ושטיפה עוקבת ב 3 פעימות של 200 מ"מ ב DW.
19	SAR 20 ,20 neq/L + DW	1000 mm + 600 mm	תמיסה בשטיפה רציפה. יבוש ושטיפה עוקבת ב-DW ב 4 פעימות של 150 מ"מ עם יבוש בין פעימה לפעימה.

טבלה 2. טבלת טיפולים – שנה שניה

א. שימוש בתמיסה עם SAR גבוה

מספר טיפול	הרכב תמיסה	נפח שטיפה	הערות
101	SAR 20, 20 meq/L	10 נפחי נקבובים	שטיפה רציפה.
101a	SAR 20, 20 meq/L	8 נפחי נקבובים	שטיפה רציפה. תלכידים בגודל 1-2 מ"מ.
102	SAR 20, 20 meq/L + DW	10 נפחי נקבובים בתמיסה ואח"כ 10 נפחי נקבובים במים מזוקקים	שטיפה רציפה בשתי איכויות המים.
103	SAR 20, 20 meq/L + DW	4 מחזורים של שטיפה בנפח נקבובים של תמיסה ושטיפה עוקבת בנפח נקבובים במים מזוקקים	יבוש העמודה ל 48 ש' ב- 40°C בכל מעבר בין איכויות מים.
105	SAR 20, 20 meq/L + DW	2 נפחי נקבובים בתמיסה ואח"כ 10 מחזורים של שטיפה בנפח 30 סמ"ק של תמיסה ושטיפה עוקבת בנפח של 30 סמ"ק במים מזוקקים.	יבוש העמודה ל 48 ש' ב- 40°C בכל מעבר בין איכויות מים.
106	SAR 20, 20 meq/L + DW	10 נפחי נקבובים בתמיסה ואח"כ 10 מחזורים של שטיפה בנפח של 30 סמ"ק במים מזוקקים	יבוש העמודה ל 48 ש' ב- 40°C בין כל מחזור של שטיפה.
106a	SAR 20, 20 meq/L+DW	10 נפחי נקבובים בתמיסה ואח"כ 10 מחזורים של שטיפה בנפח של 30 סמ"ק במים מזוקקים	יבוש העמודה ל 48 ש' ב- 40°C בין כל מחזור של שטיפה. תלכידים בגודל 1-2 מ"מ.

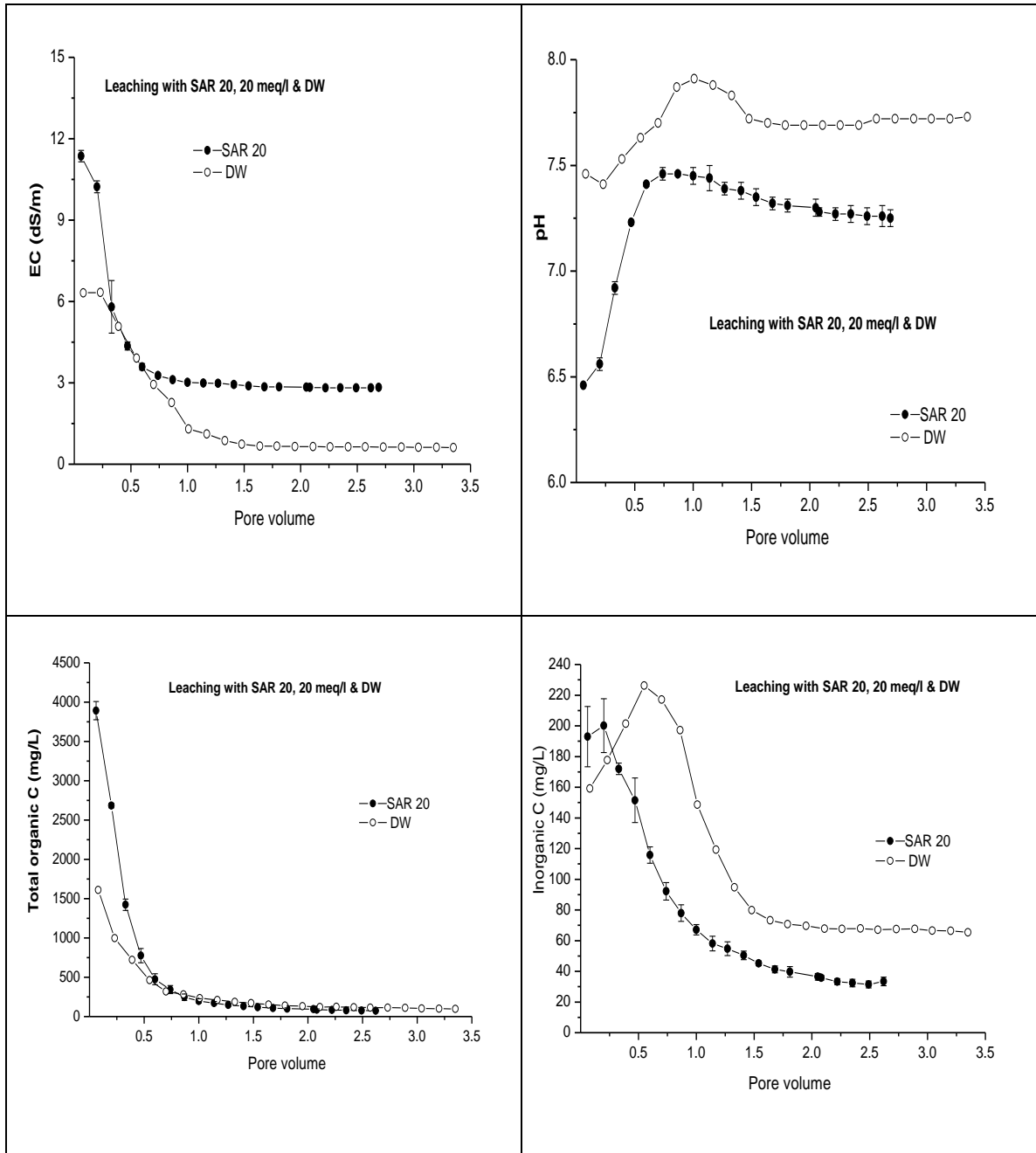
ב. שימוש בתמיסה עם SAR נמוך

מספר טיפול	הרכב תמיסה	נפח שטיפה	הערות
113	SAR 8, 20 meq/L	8 מחזורים של שטיפה בנפח נקבובים של תמיסה ושטיפה עוקבת בנפח נקבובים במים מזוקקים	יבוש העמודה ל 48 ש' ב- 40°C בכל מעבר בין איכויות מים.
114	SAR 8, 20 meq/L + DW	5 מחזורים של שטיפה בנפח 30 סמ"ק	יבוש העמודה ל 48 ש' ב-

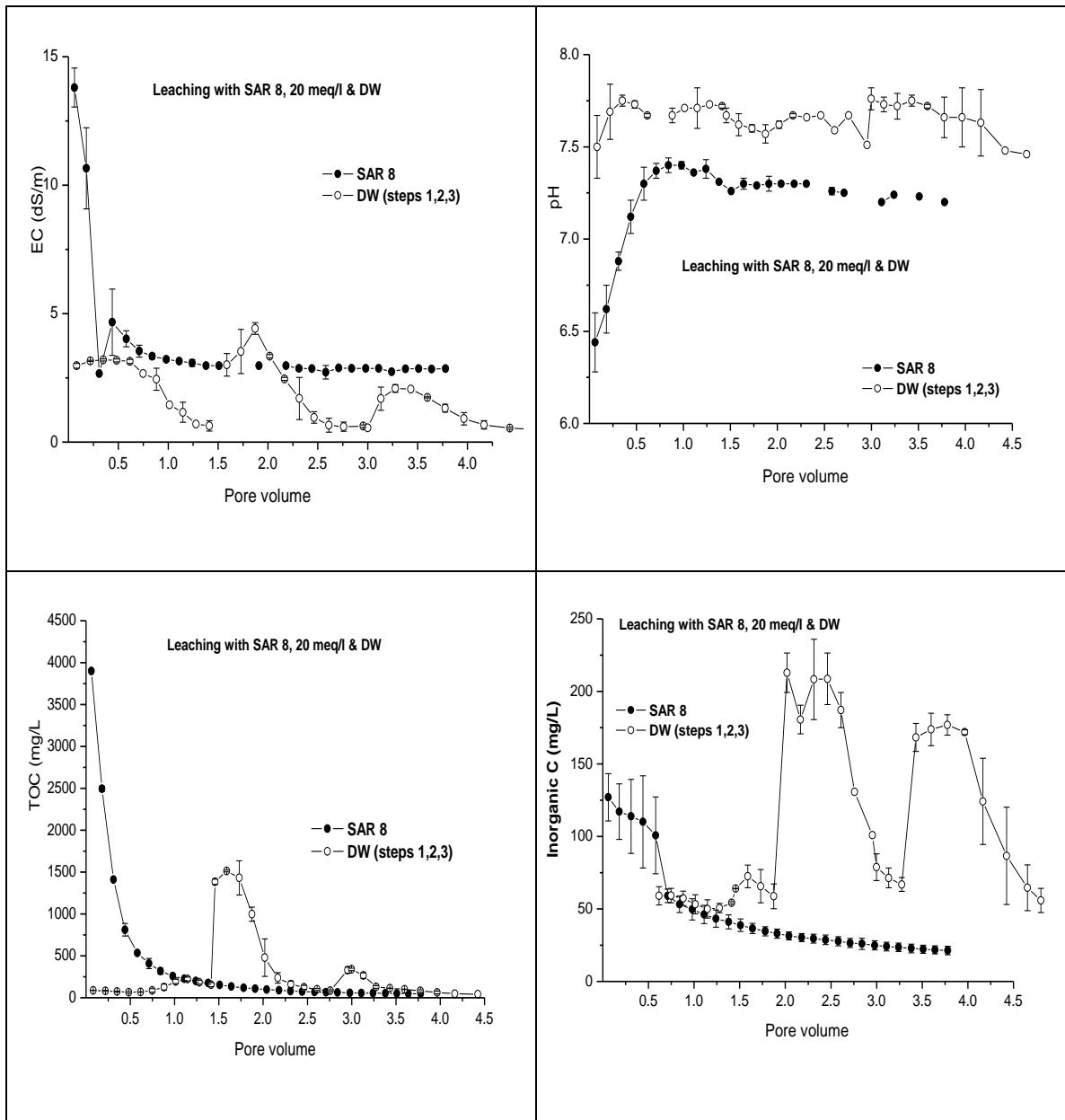
40°C בכל מעבר בין איכויות מים.	של תמיסה ושטיפה עוקבת בנפח של 30 סמ"ק במים מזוקקים.		
יבוש העמודה ל 48 ש' ב- 40°C בכל מעבר בין איכויות מים.	2 נפחי נקבובים בתמיסה ואח"כ 5 מחזורים של שטיפה בנפח 30 סמ"ק של תמיסה ושטיפה עוקבת בנפח של 30 סמ"ק במים מזוקקים.	SAR 8 ,20 meq/L + DW	115
יבוש העמודה ל 48 ש' ב- 40°C בכל מעבר בין איכויות מים.	10 נפחי נקבובים בתמיסה ואח"כ 15 מחזורים של שטיפה בנפח של 30 סמ"ק במים מזוקקים	SAR 8 ,20 meq/L + DW	116
יבוש העמודה ל 48 ש' ב- 40°C בכל מעבר בין איכויות מים. תלכידים בגודל 1-2 מ"מ.	10 נפחי נקבובים בתמיסה ואח"כ 10 מחזורים של שטיפה בנפח של 30 סמ"ק במים מזוקקים	SAR 8 ,20 meq/L + DW	116a
יבוש העמודה ל 48 ש' ב- 40°C בכל מעבר בין איכויות מים.	5 נפחי נקבובים בתמיסה ואח"כ 15 מחזורים של שטיפה בנפח של 30 סמ"ק במים מזוקקים	SAR 8 ,20 meq/L + DW	117

טבלה 3. יחס ספיחת הנתרן (SAR) בתשטיף בסיום תהליך השטיפה ואחוז נתרן ספוח (ESP) בשכבת הקרקע התחתונה בעמודה בטיפולים השונים (מספרי הטיפולים תואמים את אלו בטבלה 2).

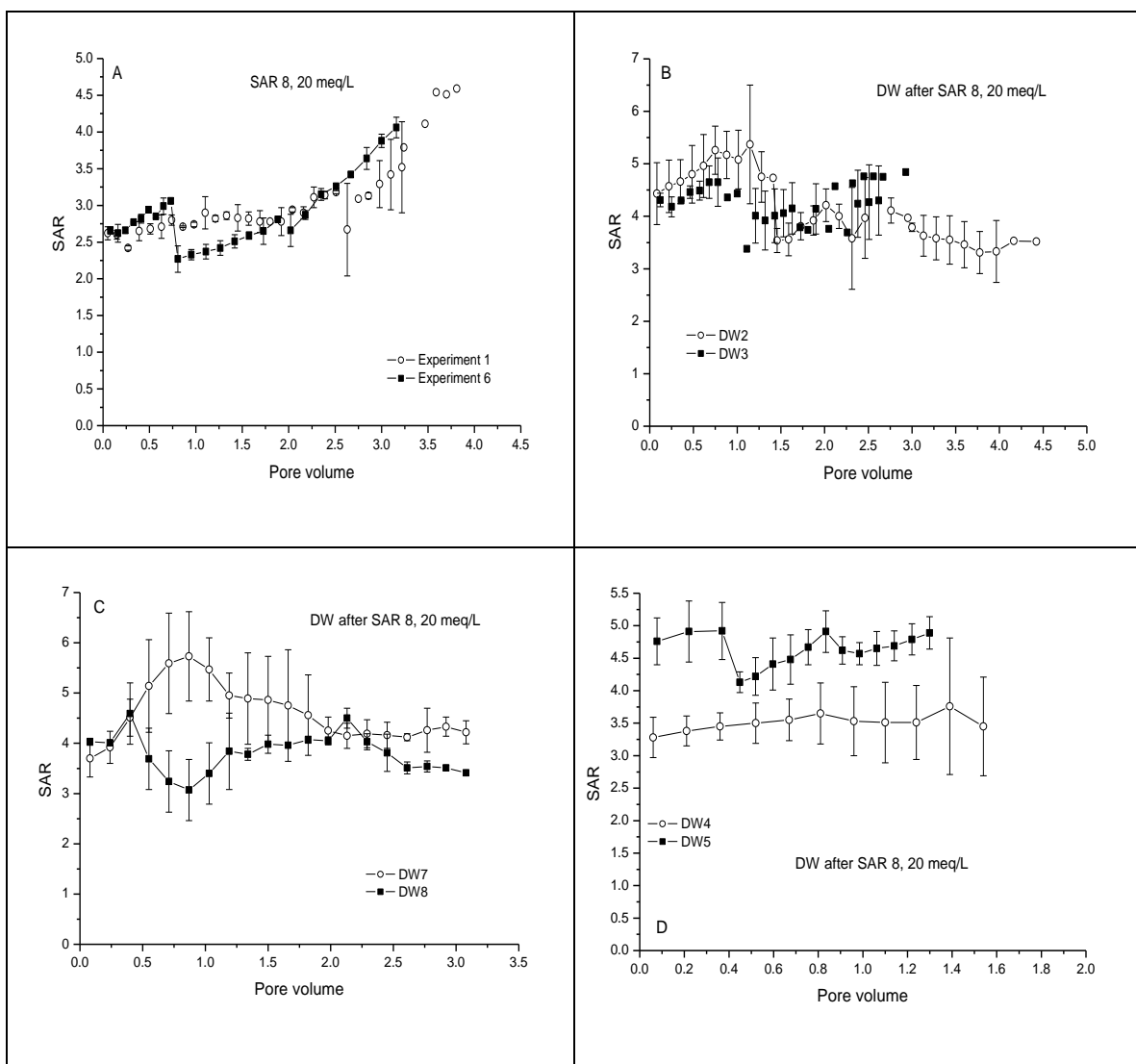
טיפול	SAR	ESP	טיפול	SAR	ESP
101	8.9	8.5	113	4.2	4.1
101a	11.0	9.7	114	1.8	2.0
102	5.1	5.3	115	2.9	2.8
103	3.5	2.9	116	4.7	4.7
105	4.7	4.3	116a	5.0	4.7
106	16.7	17.7	117	4.7	4.1
106a	8.7	8.8			



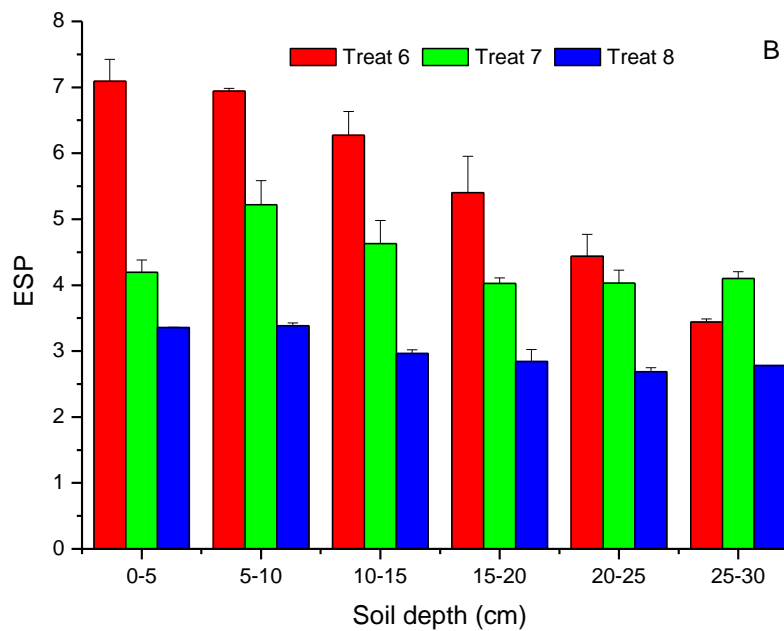
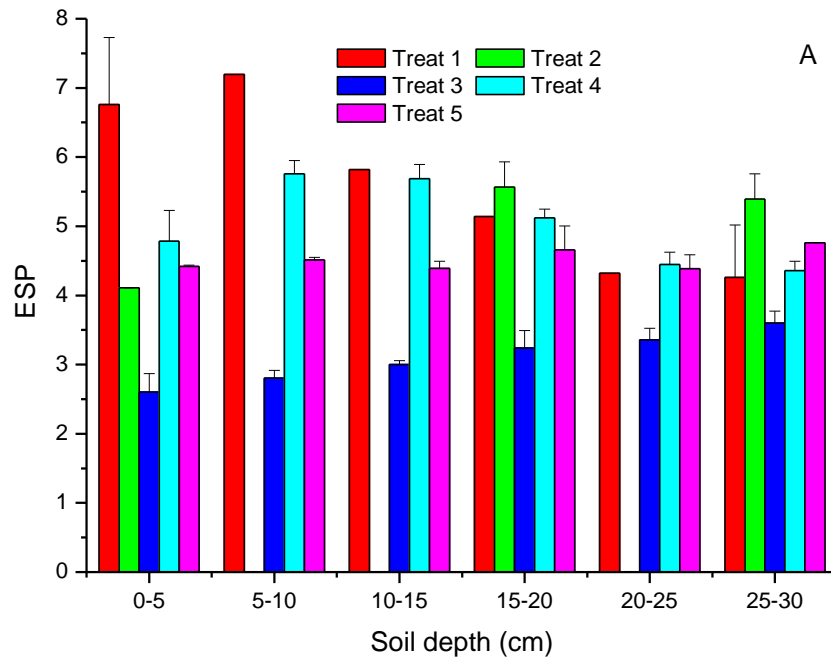
איור 1. השינוי בפרמטרים השונים של התשטוף בזמן שטיפה בתמיסה בעלת SAR 20 ושטיפה עוקבת רציפה עם DW (הנתונים מתייחסים לניסוי 12 טבלה 1).



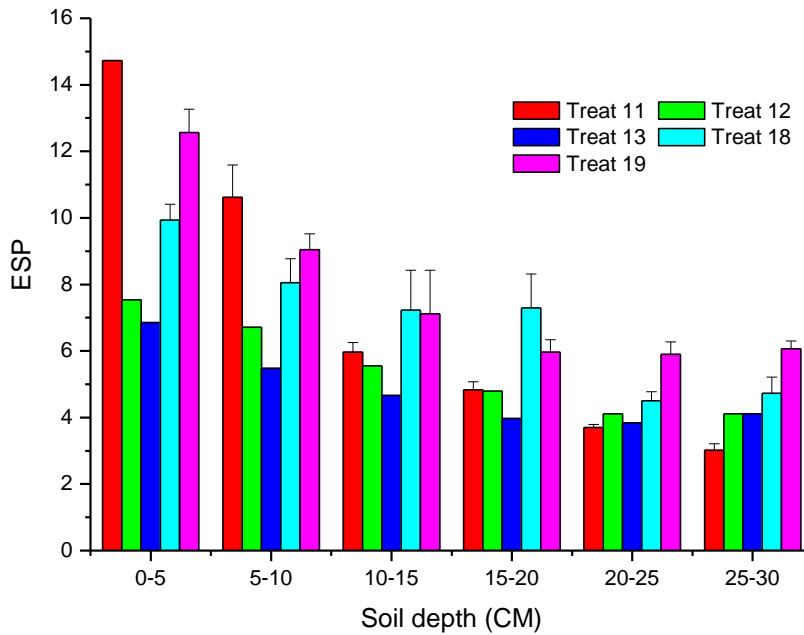
איור 2. השינויים בפרמטרים השונים של התשטוף בזמן שטיפה בתמיסה בעלת SAR 8 ושטיפה עוקבת בשלוש פעימות עם DW (הנתונים מתייחסים לניסוי 3 טבלה 1).



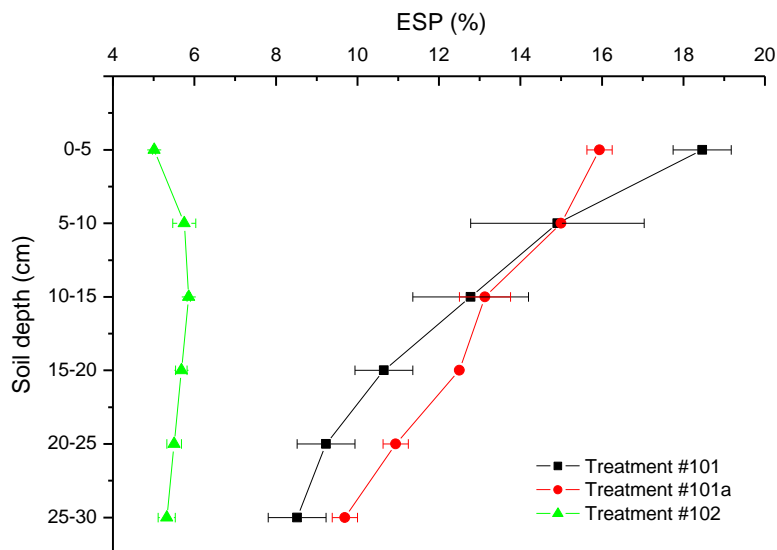
איור 3. השינוי ב- SAR של התשטיפים במהלך שטיפת העמודה. (A) שטיפה ב 600 מ"מ של תמיסת המלח; ניסויים 1* ו- 6. (B) שטיפה ב 600 מ"מ מים מזוקקים (DW) לאחר שטיפה רציפה של 600 מ"מ בתמיסת מלח; ניסויים 2, ו- 3. (C) שטיפה ב 600 מ"מ מים מזוקקים (DW) לאחר שטיפה בשלוש פעימות של 200 מ"מ כל אחת בתמיסת מלח; ניסויים 7 ו- 8. (D) שטיפה ב 200 מ"מ מים מזוקקים (DW) לאחר שטיפה רציפה של 600 מ"מ בתמיסת מלח; ניסויים 4, ו- 5. (*מספרי הניסויים תואמים את אלו בטבלה 1).



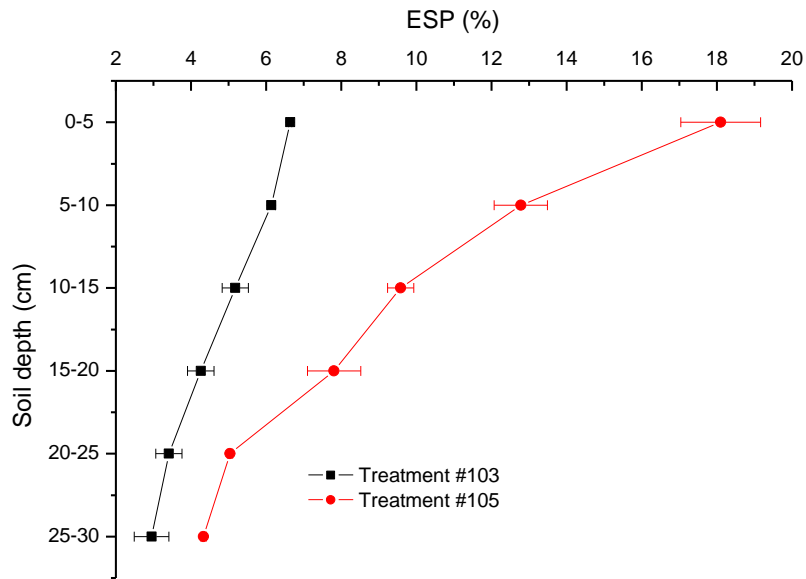
איור 4. השינוי ב- ESP בשכבות הקרקע השונות בעקבות שטיפה בתמיסת מלח בעלת SAR 8 ושטיפה עוקבת ב- DW. (A) שטיפה רציפה בתמיסת מלח, (B) שטיפה בפעימות בתמיסת מלח. (מספרי הניסויים תואמים את אלו בטבלה 1).



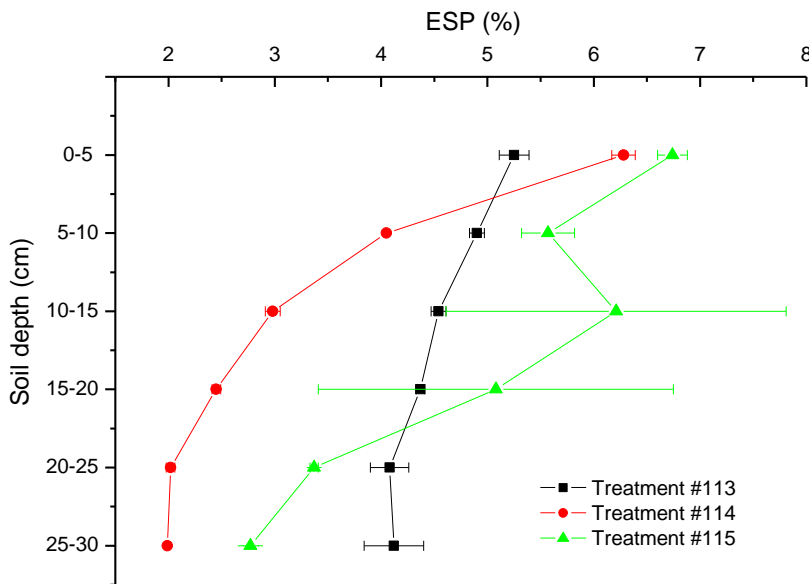
איור 5. השינוי ב- ESP בשכבות הקרקע השונות בעקבות שטיפה בתמיסת מלח בעלת SAR 20 ושטיפה עוקבת ב- DW. (מספרי הניסויים תואמים את אלו בטבלה 1).



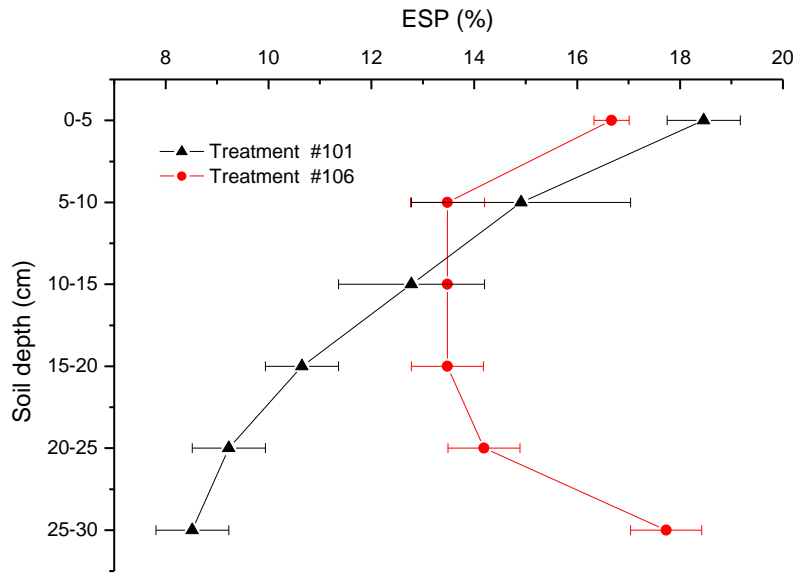
איור 6. השינוי ב- ESP לאורך עמודת הקרקע בעקבות שטיפה של 10 נפחי נקבובים בתמיסת מלח בעלת SAR 20 ושטיפה עוקבת ב- DW. (מספרי הניסויים תואמים את אלו בטבלה 2).



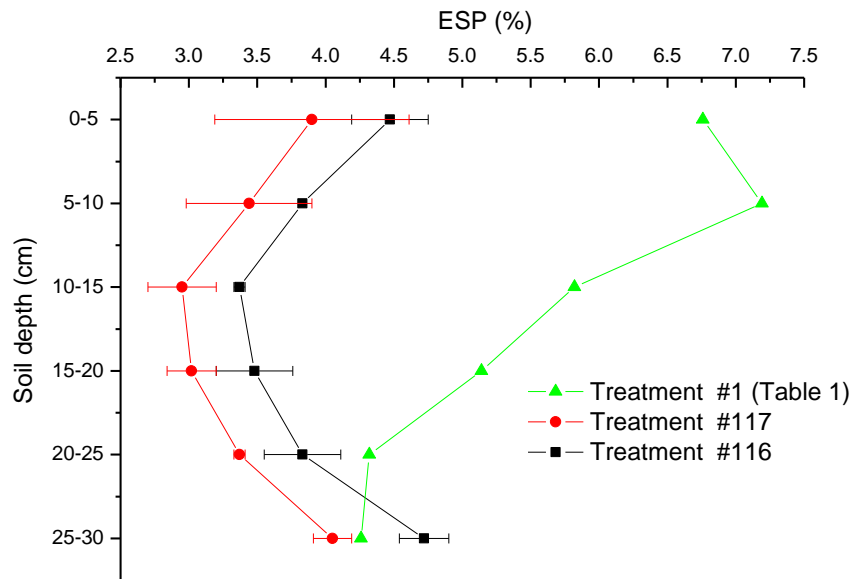
איור 7. השינוי ב- ESP לאורך עמודת הקרקע בעקבות מחזורי שטיפה בתמיסת מלח בעלת SAR 20 ושטיפה עוקבת ב-DW. עמודות הקרקע יובשו למשך 48 ש' במעבר בין איכויות מים (מספרי הניסויים תואמים את אלו בטבלה 2).



איור 8. השינוי ב- ESP לאורך עמודת הקרקע בעקבות מחזורי שטיפה בתמיסת מלח בעלת SAR 8 ושטיפה עוקבת ב-DW. עמודות הקרקע יובשו למשך 48 ש' במעבר בין איכויות מים (מספרי הניסויים תואמים את אלו בטבלה 2).



איור 9. השינוי ב- ESP לאורך עמודת הקרקע בעקבות מחזורי שטיפה בתמיסת מלח בעלת SAR 20 ושטיפה עוקבת ב-DW. עמודות הקרקע יובשו למשך 48 ש' במעבר בין איכויות מים (מספרי הניסויים תואמים את אלו בטבלה 2).



איור 10. השינוי ב- ESP לאורך עמודת הקרקע בעקבות מחזורי שטיפה בתמיסת מלח בעלת SAR 8 ושטיפה עוקבת ב-DW. עמודות הקרקע יובשו למשך 48 ש' במעבר בין איכויות מים (מספרי הניסויים תואמים את אלו בטבלה 2 אלא אם צוין אחרת).