

השקיה במים מזוככים - חיסכון במנת ההשקיה ושיפור היבול

Irrigation with desalinated water saving water and improving yield

צוות המחקר: עמוס נאור, אור שפירא, מנשה לוי, ראובן דור - מו"פ צפון; יאיר ישראלי, ג'ורג' חודי - צמח ניסיונות; שמואל אסולין, כפיר נרקיס, אירית לבקוביץ - המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מנהל המחקר החקלאי; יובל לוי - שה"מ, עידן אלינגולד.

Amos Naor - Northern R&D: P.O. Box 90000 Rosh Pina 12100, E-mail: amosnaor51@gmail.com

Shmuel Assouline - Institute of Soil, Water and Environmental Sciences, The Volcani Center, P.O. Box 6, Bet Dagan 50250. E-mail: vwshmuel@agri.gov.il

Yair Israeli - Northern R&D: P.O. Box 90000 Rosh Pina 12100, E-mail: yairi@zemach.co.il

Reuven Dor - Northern R&D: P.O. Box 90000 Rosh Pina 12100, E-mail: reuwend@migal.org.il

הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים ואינם מהווים המלצות לחקלאים
חתימת החוקר:

רשימת פרסומים שנבעו מהמחקר:

אפרת הדס, אבנר זילבר א. 2013. הערכה ראשונית לכדאיות התפלת מים מליחים לחקלאות. *הנדסת מים, מגזין המים הישראלי*, 79, 24-30.

אבנר זילבר, מנשה לוי, ראובן דור, שמואל אסולין, כפיר נרקיס, אירית לבקוביץ, יאיר ישראלי, עידן אלינגולד, ג'ורג' חודי, יובל לוי. 2013. השקיה במים מותפלים. *הנדסת מים, מגזין המים הישראלי*, 88, 44-50.

אבנר זילבר, מנשה לוי, ראובן דור, שמואל אסולין, כפיר נרקיס, אירית לבקוביץ, יאיר ישראלי, עידן אלינגולד, ג'ורג' חודי, יובל לוי. 2013. השקית בננות במים מותפלים: פוטנציאל לחיסכון במים ושיפור ביבול. *עלון הנוטע*. 69, 24-29.

תוכן עניינים

3	.....	תקציר
3	.....	הצגת הבעייה
3	.....	מטרות המחקר
3	.....	שיטות העבודה
3	.....	תוצאות עיקריות
4	.....	מבוא
6	.....	ממצאים עיקרים שנים 2010-2012
7	.....	מטרות המחקר
7	.....	שיטות העבודה
8	.....	תוצאות עיקריות 2012-2013
9	.....	דיון
10	.....	מסקנות
11	.....	נספחים
16	.....	רשימת ספרות

תקציר

הצגת הבעייה

מי הכינרת נחשבים בישראל ל"מים שפירים" אולם, תכולת הכלוריד והנתרן במים אלו גבוהה בכשני סדרי גודל מהרמה הנדרשת לרוב הצמחים החקלאיים.

מטרות המחקר

המטרה הכללית היתה לבחון את האפשרות של חיסכון משמעותי בכמויות המים להשקיה ע"י מעבר לשימוש במים ברמת מליחות נמוכה.

שיטות העבודה

נבחנה התגובה של בננה לאיכות המים (מי כינרת בהשוואה למים מותפלים) ולמנת המים בשטח פתוח ובבית רשת. הניסוי כלל 8 טיפולים: 2 טיפולי מים (מי כינרת ומים מותפלים) 4 X מנות מים שהשתנו במהלך העונה כמקובל באזור.

תוצאות עיקריות

השקיה במים מותפלים הביאה לחיסכון של 30-40% ממנת ההשקיה. שימוש במים מותפלים הביא לירידה משמעותית בריכוזי הכלוריד, הנתרן והמוליכות החשמלית של תמיסת הקרקע. השקיה במים מותפלים הביאה לשיפור משמעותי במשק המים בצמח ובעקבות זאת, לשיפור הצימוח הווגטיבי ולעלייה משמעותית ביבול. יש מקום לבחינה מעמיקה של חלופת השימוש במים מותפלים להשקיית גידולים חקלאיים ולשלב אפשרות זו בתכנון ארוך הטווח של משק המים הארצי.

מבוא

מים שפירים מוגדרים על פי ההגדרות הבינלאומיות המקובלות כמים בהם ריכוז הכלוריד הוא מתחת ל – 400 מ"ג לליטר והמוליכות החשמלית נמוכה מ – 2 דצ"ס למטר. מים אלה נחשבים למים באיכות גבוהה והם מיועדים בראש ובראשונה לשתייה. במאמר זה נדון רק בנושאים הקשורים להשקיית גידולים ולכן המונח מים שפירים יידון רק בהיבטים החקלאיים שלו. מים מליחים (brackish) מוגדרים כמים בהם ריכוז הכלוריד נע בין 400 ל – 4000 מ"ג לליטר והמוליכות החשמלית של התמיסה (EC) נעה בין 2 ל – 17 דצ"ס למטר. במקרים מסוימים, מים אלה מנוצלים להשקיית גידולים עמידים למליחות. השימוש במים מליחים להשקיה מלווה בדרך כלל בפגיעה ביבול. מקובל לתאר את הקשר בין היבול לבין המליחות באמצעות מודל (Maas&Hoffman, 1977) המתאר ירידה ליניארית ביבול כאשר המליחות עולה מעל ערך סף כלשהוא האופייני לכל גידול. ריכוזי הכלוריד והנתרן במי הכינרת הם כ – 250 ו- 150 מ"ג לליטר, בהתאמה, ולכן הם מוגדרים כמים שפירים. אולם, תכולת הכלוריד והנתרן במים אלו גבוהה בשני סדרי גודל מהרמה הנדרשת לצמחי מטע וירקות. כלוריד חיוני לתהליכי הפוטוסינתזה ולריאקציות אנזימטיות שונות ולכן הוא מוגדר כיסוד חיוני לצמחים (Marschner, 1995; Xu et al., 1999). הריכוז במי ההשקיה הנדרש ליבול תקין של צמחים נע בין 1-2 מ"ג לליטר. נתרן, לעומת זאת, חיוני רק לחלק מהצמחים ועלולות להיות לו השפעות רעילות. מי הכינרת מכילים בנוסף לכלוריד ולנתרן גם יסודות שונים כגון סידן, מגניון וגפרה אך הריכוז של יסודות אלו במים תואם בדרך כלל את דרישות ההזנה של צמחים. העובדה כי ריכוזי הכלוריד והנתרן במי הכינרת גבוהים בשני סדרי גודל מהריכוז הנדרש לגידול תקין של צמחים מעוררת מספר שאלות: (א) האם ההגדרה המקובלת של מים שפירים אכן נכונה מההיבט החקלאי, והאם ניתן להתייחס למי הכינרת כאל מים שפירים כשהם מופנים להשקיה; (ב) מה המחיר אותו אנו נדרשים "לשלם" עבור ריכוזי הכלוריד והנתרן הגבוהים במי ההשקיה. בנוסף, עולות שתי שאלות משנה: (א) האם מודל (Maas&Hoffman, 1977) מתאר כהלכה את תגובת הצמחים בתחום הנמוך של המליחות; (ב) מדוע נבחר הכלוריד כיון המייצג את המליחות? האם כלוריד הוא באמת "הרשע" בסיפור שלנו.

עלייה במליחות גורמת לעלייה בלחץ האוסמוטי של התמיסה ולכן הנזק ממליחות גבוהה מתבטא בפגיעה בקליטת המים ויסודות הזנה על ידי השורשים המביאה לירידה בדיות ובפוטוסינתזה. להוציא מקרים של פגיעה בגידול בגלל הרעלה ייחודית של יונים (בורון, כלוריד ו\או נתרן), או הפרעה בקליטה של יסודות מזון (Läuchli&Epstein, 1990), מקובל כי תגובת צמחים לעקת מליחות דומה או אף זהה לעקת מים (Munns, 2002). מכאן, התפיסה שעלייה בתכולת המים בבית השורשים שתביא להפחתה במתח המטריצי בקרקע עשויה למנוע ו\או להקטין את הנזק הנגרם לגידולים חקלאיים בעקבות השימוש במים מליחים. הנחה זו נכונה כל עוד תכולת המלחים בתמיסת בית השורשים לא עברה סף קריטי ייחודי לגידול (Maas&Hoffmann, 1977). אולם, לא בכל המקרים ניתן היה למנוע את הנזק הנגרם ליבול כתוצאה ממליחות גבוהה של מי ההשקיה באמצעות הגדלת מנת ההשקיה (Russo&Baker, 1987) והתפיסה כי ניתן לפצות על כל הנזק ממליחות באמצעות הגדלת מנת ההשקיה איננה מוסכמת על כולם (Shani&Dudley, 2001; Shani et al., 2007; Dudley et al., 2008). השקיה בטפטוף מביאה להקטנת נפח בית השורשים האפקטיבי (Coelho&Or, 1999; Mmolawa&Or, 2000) ולהצטברות מלחים בשולי האזור המורטב (Shalvet, 1994). התלות בין מליחות מי ההשקיה לבין הנפח האפקטיבי (נפח בו מתבצעת 90 אחוז מקליטת המים ויסודות מזון של צמח בוחן) של בית השורשים של גידול בוחן (תירס) נבחנה לאחרונה בהדמיה נומרית ע"י Russo et al. (2009). ההדמיה הצביעה כי למרות מנת השטיפה הגבוהה, נפח בית השורשים האפקטיבי ירד משמעותית

עם העלייה במליחות של מי ההשקיה גם בתחום המליחות הנמוך וכי שימוש במים מליחים עלול להביא לפגיעה עקיפה ביכול בגלל צמצום נפח בית השורשים הפעיל. זאת בנוסף להשפעות השליליות של מליחות על היכול שפורטו לעיל. המחקר של Russo et al. (2009) בחן גם את מנות השטיפה הנדרשות ליכול מיטבי והצביע על שתי מסקנות נוספות: (i) הנזק ממליחות מתבטאת גם בתחום המליחות הנמוך; (ii) כאשר משתמשים במי השקיה המכילים מלחים מעל לדרישות הצמח נדרשת מנת השקיה גבוהה מהדיות (טרנספירציה) לצורך שטיפה והרחקת המלחים מאזור השורשים הפעיל על מנת לקבל יכול סביר. במילים אחרות, המחיר אותו אנו "משלמים" עבור שימוש במים עם תכולת מלחים גבוהה מדרישות הצמח מתבטאת קודם כל בהגדלת מנת ההשקיה על מנת שתכלול מנת מים הנדרשת לשטיפת המלחים. מסקנות אלו נמצאות בהתאמה למספר מחקרי שדה שנעשו בישראל. ישראלי ונמרי (1986) מצאו בניסוי ליזימטרים בבנות המושקות במי כינרת כי עלייה במנת השטיפה מ-1.3 ל-1.7 (מנת מים שנתית מחולקת באופוטורנספירציה) הביאה לעלייה מובהקת ביכול. בשנה הראשונה לניסוי לא הייתה השפעה לטיפולים על צריכת המים של הצמחים (אופוטורנספירציה) אך בשנה השנייה חלה ירידה משמעותית בתצרוכת המים של צמחים שהושקו בשיעור הדחה נמוך, כנראה בגלל עלייה בלחץ האוסמוטי של תמיסת הקרקע כתוצאה מהדחה לא מספקת של המלחים (ישראלי ונמרי, 1986). מנת מים של בנות בשטח פתוח בעמק הירדן כיום היא כ-2200 מ"ק לדונם לשנה ולכן אם נניח מקדמי שטיפה של 1.8 אזי כ-1000 מ"ק לדונם לשנה מיושמים רק על מנת לשמור על מאזן המלח בבית השורשים ללא קשר לדרישת המים של הצמח לצורכי דיות. כמות גבוהה זו של מים דולפת אל מתחת לבית השורשים ומדיחה כמויות גדולות של מומסים מכל הסוגים (כולל מזהמים) לעבר מי התהום (Russo et al., 2009).

בשנים האחרונות החלו לגדל בנות בבתי רשת, בעיקר כדי לצמצם את צריכת המים של הגידול. טנאי וחובריו (2008) מצאו כי מנת ההדחה הנדרשת בבית רשת דומה לנדרש בשטח פתוח (כ-1.8). מכאן, למרות הצמצום המשמעותי במנות ההשקיה לבנות בבתי רשת עדיין נדרשים כ-700 מ"ק מים לדונם לשנה על מנת לשמור על מאזן המלח בבית השורשים. ראוי לציין כי היכול היחסי בטיפול שהושקה במנת המים הנמוכה ביותר (מקדם שטיפה נמוך) ירד במהלך שלושת השנים של הניסוי (משנת 2005 עד שנת 2007), כנראה בגלל תהליכי המלחה של הקרקע. ההשפעה הישירה של מליחות מי ההשקיה (באמצעות תוספת של NaCl ושל CaCl₂ למי כינרת) על בנות שגדלו בשטח פתוח בעמק הירדן נבחנה על ידי ישראלי וחובריו (Israeli et al., 1986). עלייה במוליכות החשמלית של מי ההשקיה גרמה לפחיתה משמעותית ביכול, במיוחד בשנה השנייה לניסוי. גם במקרה זה, הירידה ביכול יוחסה להצטברות מלחים בבית השורשים. לעלייה בריכוז היחסי של הנתרן הייתה השפעה שלילית נוספת.

הנתונים המובאים לעיל מצביעים כי כ-30 עד 50 אחוז ממנת המים שנתנה לגידולים חקלאיים שהושקו במי הכינרת נדרשו להדחת מלחים מבית השורשים וכי הדחה לא מספקת גרמה לפחיתה משמעותית ביכול בגלל הצטברות מלחים. במילים אחרות, הגישה המיושמת כיום (אסטרטגיה א') מטפלת בעודפי המלחים בתוך מרחב השדה, ע"י הדחת עודפי המלחים מתחת לבית השורשים לכיוון מי התהום. לחילופין, ניתן לבחון גישה חליפית בה המלחים במי ההשקיה יורחקו לפני הגעתם לשדה באמצעות התפלה (אוסמוזה הפוכה) או כל אמצעי טכני אחר (אסטרטגיה ב'). גישה חליפית זאת תהיה אמנם יקרה יותר כי היא דורשת אנרגיה נוספת להרחקת המלחים אבל היא תחסוך את כמות המים הנדרשת להדחת מלחים ותקטין בצורה משמעותית את סכנת ההמלחה של מי התהום. סביר להניח גם שאסטרטגיה ב' תגרום לשיפור ביכול ובאיכות התוצרת בגלל השימוש במים באיכות גבוהה יותר ותגדיל את ההכנסות מהגידול.

המטרה המרכזית של מחקר זה הינה לבחון את שתי החלופות להדחת מלחים מבית השורשים של גידול חקלאי: (i) טיפול במרחב השדה (אסטרטגיה א'); (ii) הרחקת המלחים עוד לפני הגעתם לשדה (אסטרטגיה ב'). המטרות המשניות הן: (א) בחינת ההנחה של מודל Maas&Hoffman (1977) כי בתחום הנמוך של מליחות אין פגיעה ביכול או בתפוקת

צמחים; (ב) בחינת מרכיב המליחות הגורם לנזק המרבי והבנת מנגנון פעולתו, במילים אחרות, מיהו "הרשע" כאשר מתייחסים להשקיה במים מליחים.

ממצאים עיקריים שנים 2010-2012

המוליכות החשמלית (EC) של מי הכינרת בתוספת הדשנים הנדרשים לצמחי בונה הייתה 1.5 בהשוואה ל- EC של 0.3 דצ"ס למטר של מים מותפלים. ריכוזי נתרן, כלוריד, סידן ומגניזיום במי הכינרת היו 140, 300, 60 ו- 30 מ"ג לליטר, בהתאמה ואילו הריכוזי יסודות אלו במים מותפלים היה 20, 50, 10 ו- 4 מ"ג לליטר בהתאמה (מי ההשקיה הכילו 90% מים מותפלים ו- 10% מי כינרת להבטחת אספקת יסודות קורט חיוניים לצמח). תהליכי שחרור של סידן, מגניזיום ואשלגן משטח הפנים והתמוססות של מינרלים קרקעיים כגבס וגיר העלו את הריכוזים של יסודות אלו בתמיסת הקרקע ובעקבות זאת את המוליכות החשמלית בטיפולים שהושקו במים מותפלים. כתוצאה מכך, ריכוזי הסידן והמגניזיום בתמיסת הקרקע בטיפולים שהושקו במים מותפלים היו דומים לאלו של מי הכינרת וההבדל במוליכות החשמלית של תמיסת הקרקע בין מי כינרת למים המותפלים נבע בעיקר מהבדל בריכוזי הנתרן והכלוריד. השפעת איכות המים (מי כינרת בהשוואה למים מותפלים) על תכולת הנתרן והכלוריד בקרקע הייתה מובהקת ומשמעותית בכל שנות הניסוי, זו של מנת ההשקיה הייתה קטנה ולסביבת הגידול (שטח פתוח ובית רשת) לא הייתה כמעט השפעה על תכולת הנתרן והכלוריד. השקיה מרבית במי כינרת סיפקה 350 ק"ג של נתרן לדונם אחד של בננות בשטח פתוח ו- 260 ק"ג נתרן בבית רשת (150 מ"ג לליטר X 2322 או 1755 מ"ק לדונם) ו- 700 ו- 530 ק"ג של כלוריד בהתאמה. השקיה במים מותפלים באותה כמות מים סיפקה רק 50 ו- 35 ק"ג לדונם של נתרן בשטח פתוח ובבית רשת, בהתאמה ו- 120 ו- 85 ק"ג לדונם של כלוריד, בהתאמה. כמויות הנתרן והכלוריד שהצטברו בקרקע (הבדל בין הכמות שסופקה במי ההשקיה לבין הכמות שנקלטה בצמח) בשטח פתוח ובבית רשת שהושקו במנה מיטבית במי כינרת הסתכמו ב- 350 ו- 250 ק"ג נתרן (בהתאמה) ו- 650 ו- 500 ק"ג כלוריד בהתאמה.

פירוס השורשים בקרקע של ארבעה צמחים שגדלו בשטח הפתוח שהושקו במנת מים נמוכה וגבוהה, במי כינרת ובמים מותפלים (אחד מכל טיפול) נבחן בקיץ 2011. נדגם חתך של 50 ס"מ (25 ס"מ מכל צד של הצמח) בעומק של 80 ס"מ למרחק של 1.7 מ' מהגזעול. השורשים של בונה הם שורשים אדבנטיביים (Adventitious) המתפתחים מקנה שורש (Rhizome) ולכן, המקור של שורשים שנספרו בכל מרחק נמצא במרכז, מתחת לצמח, ובצדדיו. השורשים העיקריים מוציאים שורשים משניים במהלך גידול הצמח. השורשים המשניים דקים בהרבה מהמקור, הם אינם מאריכים ימים ומספרם רב יותר סמוך לקצוות. לכן במחקר הבננות מקובל לספור רק שורשים שעוביים גדול מ-3 מ"מ. מספר השורשים של צמחים שהושקו במים מותפלים היה גבוה משמעותית מאלו של צמחים שהושקו במי כינרת. השפעת מנת המים על פרוס השורשים הייתה לא מובהקת ומרבית השורשים (60-70%) נמצאו בעומק של 20-30 ס"מ בלבד. טיפולי ההשקיה (איכות מים ומנות השקיה) השפיעו על תולכת הפיוניות בכל המדידות שנעשו. השקיה במים מותפלים הביאה לשיפור משמעותי במשק המים בצמח ובעקבות זאת, לשיפור הצימוח הווגטטיבי (קוטר גבעול, גובה צמח, שטח עלה מייצג, היקף שזרה ומספר אצבעות באשכול) של צמחים במהלך כל עונות הגידול. השקיה במים מותפלים הביאה לעליה מובהקת בכל מרכיבי היבול (משקל אשכול, משקל ואורך אצבע), בכל מנות המים אולם הייתה יותר מובהקת במנות המים הנמוכות. בכל השנים שנבחנו הייתה לטיפול ההשקיה (איכות ומנת המים) השפעה מובהקת על היבול בשטח הפתוח ובבית הרשת כאחד. השקיה במים מותפלים הביאה לעלייה מובהקת במשקל האצבע, במשקל האשכול הממוצע, וביבול ליחידת שטח. גם מספר הכפות עלה בעקבות השימוש במים מותפלים אך ההבדל לא היה מובהק

סטטיסטית. הכיסוי בבית רשת הביא לעלייה במשקל האשכול הממוצע וביכול ליחידת שטח אך לא במשקל הממוצע של האצבע.

מטרות המחקר

המטרה הכללית של המחקר המוצע היא לבחון אפשרות של חיסכון משמעותי בכמויות המים להשקיה ע"י מעבר לשימוש במים ברמת מליחות נמוכה (מים מותפלים בתוספת דשן). המטרות הייחודיות הן: (א) תגובת צמחי בננות הגדלים בעמק הירדן בשטח פתוח ובבית רשת לאיכות שני מקורות מי ההשקיה (כינרת ומים מותפלים) ובחינת מקדם ההדחה (LR) הנדרש לכל אחד מהם; ו – (ב) השפעת הגומלין בין איכות המים ומקדם ההדחה על הצטברות ופרוס מלחים בנפח בית השורשים.

שיטות העבודה

המחקר התבצע בחוות הבננות בצמח, עמק הירדן. התגובה של בננה לאיכות המים (מי כינרת בהשוואה למים מותפלים) ולמנת המים נבחנה בשטח פתוח ובבית רשת (רשת לבנה "שקופה", 13-15 אחוז צל). הניסוי כולל 8 טיפולים: 2 טיפולי מים (מי כינרת-S1 ומים מותפלים-S2) X 4 מנות מים (W1-4) מנות המים בשטח הפתוח היו בשנת 2012: 1177, 1625, 2086 ו-2534 מ"ק לדונם לשנה (W1 עד W4, בהתאמה) ואילו בבית הרשת המנות הן היו: 894, 1287, 1575 ו-1925 מ"ק לדונם (W1 עד W4, בהתאמה) שחולקו במהלך העונה כמקובל באזור. פרוס מנות המים שישמו מוצג בנספח 1 כל טיפול כלל 8 חזרות שבכל אחת מהן בית אחד. מרווחי השתילה בין הבתים הן 3.5 X 3.5 מטר. הבתים הופרדו על ידי מחיצת פוליאתילן שהוחדרה לקרקע לעומק 1.2 מ' למניעת מעבר שורשים בין הבתים, כך שכל בית מהווה יחידה נפרדת. 2 שתילי בננה (Grand Nain C.V., Cavendish subgroup, AAA) ממקור של תרבות רגמה נשתלו בכל בית באביב 2010 ולאחר הקטיף הראשון הושארו בכל בית שלושה נצרים, כמקובל באזור. הטיפול בצמחים היה כמקובל בשטחים מסחריים. ההשקיה היתה בטפטוף (8 טפטפות של 2.3 ל"שעה שהונחו בטבעת מסביב לצמחים שבבית). מנות הדשן בשנת 2012 היו קבועות שמשמעותן, מנת הדשן לכל הטיפולים הייתה זהה. מוליכות חשמלית של תמיסת הקרקע, ה-pH והרכב יונים במיצוי מתמיסה מימית (קרקע:תמיסה = 2:1, 24 שעות של טלטול) נבדקו בסוף עונת ההשקיה (אוקטובר 2012) מארבע חזרות בשטח הפתוח ובבית הרשת בשלוש שכבות (0-30, 30-60 ו – 60-90 ס"מ) ליד הצמחים. נערך מעקב מפורט אחר הגידול הוגטטיווי וההנבה. בנוסף, נערך מעקב רציף אחר השינויים במספר העלים ובשטחם ומאזן צבירת חומר יבש בחלקי הצמח השונים והרכבם המינרלי. נתונים מטאורולוגיים נלקחו מהתחנה המטאורולוגית המוצבת בצמח. גיגית שהוצבה בבית הרשת סיפקה נתוני התאדות נתוני התאדות יומיים בבית הרשת. בנוסף לצמחים בקרקע, נשתלו בחודש אפריל 2011 גם צמחים בתוך מיכלים בנפח של 4.7 מ"ק (קוטר: 2 מ'; גובה: 1.5 מ') שמולאו בקרקע מקומית (ליזימטרים). הליזימטרים הושקו ודושנו בדומה לצמחים השתולים בקרקע. המיכלים הוצבו בתוך חפירה בקרקע על מנת ליצור תנאים קרובים ככל הניתן לצמחים השכנים ולמנוע השפעה של קרינת שמש ישירה על דופן המיכל. מסיבות תקציביות הוצבו עד כה רק 8 מיכלים מתחת לרשת צל. התשטיף מכל מיכל נאסף אל מיכל איסוף מיוחד שחובר למערכת שמדדה ברציפות (on line) את גובה פני הנוזל במיכל. נתוני כל מיכל הועברו באמצעות אות חשמלי למערכת צבירת נתונים ואפשרו (לאחר כיוול מתאים) מעקב רציף אחר נפח התשטיף. התקנת כל המערכת הושלמה בסוף חודש אוגוסט 2011 ומראשית ספטמבר הנתונים שנאספו מהכלים אפשרו למדוד ישירות את הדיות (מנת מים פחות שינויים במשקל הכלי פחות נפח נקז). הרכב כימי של התשטיפים נבדק תקופתית (כל שבועיים). בגלל מגבלת מקום לא יוצגו בדו"ח זה ממצאי הניסוי בליזימטרים.

תוצאות עיקריות 2012-2013

המוליכות החשמלית (EC) של מי הכינרת בתוספת הדשנים הנדרשים לצמחי בננה הייתה 1.5 בהשוואה ל- EC של 0.3 דצ"ס למטר של מים מותפלים. ריכוזי נתרן, כלוריד, סידן ומגניזיום במי הכינרת היו 140, 300, 60 ו-30 מ"ג לליטר, בהתאמה ואילו הריכוזי יסודות אלו במים מותפלים היה 20, 50, 10 ו-4 מ"ג לליטר בהתאמה (מי ההשקיה הכילו 90% מים מותפלים ו-10% מי כינרת להבטחת אספקת יסודות קורט חיוניים לצמח). תהליכי שחרור של סידן, מגניזיום ואשלגן משטח הפנים והתמוססות של מינרלים קרקעיים כגבס וגיר העלו את הריכוזים של יסודות אלו בתמיסת הקרקע ובעקבות זאת את המוליכות החשמלית בטיפולים שהושקו במים מותפלים. כתוצאה מכך, ריכוזי הסידן והמגניזיום בתמיסת הקרקע בטיפולים שהושקו במים מותפלים היו דומים לאלו של מי הכינרת וההבדל במוליכות החשמלית של תמיסת הקרקע בין מי כינרת למים המותפלים נבע בעיקר מהבדל בריכוזי הנתרן והכלוריד, כפי המוצג בנספח 2. השפעת המליחות (מי כינרת בהשוואה למים מותפלים) על תכולת הנתרן והכלוריד בקרקע הייתה מובהקת ($\text{Prob} > F < 0.0001$) לנתרן וכלוריד בשטח פתוח ובבית רשת (כאחד) ומשמעותית בכל שנות הניסוי, זו של מנת ההשקיה הייתה קטנה ולסביבת הגידול (שטח פתוח ובית רשת) הייתה השפעה מועטה בלבד על תכולת הנתרן והכלוריד.

החלק העליון של הקרקע (0-60 ס"מ) בחלקת הניסוי הוא אלובי, "סרוזם" (Sierozem) סידני עם 33 ו-1 אחוז של חרסית, סילט וחול, בהתאמה והחלק התחתון מכיל חוור בדרגות בלייה שונות. ה-pH בשכבת הקרקע העליונה (0-30 ס"מ) לפני תחילת הניסוי היה 8.1 והוא עלה ל-8.2 בשכבת הקרקע האמצעית (30-60 ס"מ) ול-8.4 בשכבת הקרקע התחתונה (60-90 ס"מ). גידול צמחים הביא לירידה ב-pH ובסוף העונה השלישית (אוקטובר 2012) ה-pH בכל שכבות הקרקע היה נמוך בהשוואה ל-pH ההתחלתי. השפעת העומק על ה-pH הייתה מובהקת בשטח הפתוח ($\text{Prob} > F = 0.0499$) ובית הרשת ($\text{Prob} > F = 0.0003$) (נספח 3). pH נמוך יותר באזור הפעילות של הצמח (שכבת קרקע עליונה בקרבת הצמח) נמדד גם בשנים הקודמות ולעובדה זו יכולה להיות השפעה ניכרת על התהליכים הכימיים ההמתרחשים בריזוספירה. לטיפול ההשקיה (מנת המים והמליחות) לא הייתה השפעה על ה-pH ועל ריכוזי החנקן, הזרחן והאשלגן במיצויי הקרקע. ריכוזי החנקן, האשלגן והזרחן בשכבת הקרקע העליונה היו הגבוהים ביותר והם ירדו עם העומק (נספח 4). השפעת עומק הקרקע על ריכוזי הזרחן ואשלגן במיצויי הקרקע הייתה מאוד מובהקת ($\text{Prob} > F < 0.0001$) לשני היסודות בשטח הפתוח ובבית הרשת) בעוד שההשפעה על ריכוזי החנקן הייתה מובהקת רק בבית הרשת ($\text{Prob} > F = 0.022$). ריכוזים גבוהים יותר של יסודות מזון בשכבת הקרקע העליונה יכולים להיות תוצאה של אופן יישום הדשן (השקיה בטפטוף) ושל השינויים ב-pH הקרקע. ריכוזי החנקן והאשלגן בשכבת הקרקע התחתונה בשטח הפתוח היו נמוכים בכ-20 ובכ-30 אחוז בהשוואה לריכוזים המקבילים בשכבה העליונה ואילו בבית הרשת הריכוזים של חנקן ואשלגן בשכבה התחתונה היו נמוכים בכ-30 ובכ-40 אחוז בהשוואה לשכבה העליונה (נספח 4). השפעת ה-pH על התהליכים המשפיעים על מסיסות החנקן והאשלגן בתמיסת הקרקע איננה משמעותית ולכן ניתן לייחס את הירידה בריכוזי החנקן והאשלגן לאופן יישום הדשן. ריכוזי הזרחן בשכבה התחתונה בשטח הפתוח ובבית הרשת היו נמוכים בכ-50 ובכ-80 אחוז בהשוואה לשכבה העליונה, בהתאמה (נספח 4). ל-pH בקרקע השפעה קריטית על זמינות הזרחן ולכן אנו מניחים כי בנוסף לאופן יישום הדשן, גם ל-pH הייתה השפעה משמעותית על זמינות הזרחן. ייתכן כי לירידה בזמינות יסודות המזון במקביל לעלייה ב-pH עם העומק יש השפעה על פירוס ערכת השורשים (ראה דו"ח קודם).

השקיה במים מותפלים הביאה לעלייה מובהקת בכל מרכיבי היבול (משקל אשכול, משקל ואורך אצבע), בכל מנות המים אולם הייתה יותר מובהקת במנות המים הנמוכות. משקל אשכול ממוצע של צמחים שהושקו במי כינרת במנה

המרבית). בשנה השלישית לניסוי (2012-13), היה 25 ו- 32 ק"ג בשטח הפתוח ובבית הרשת (בהתאמה) ואילו של צמחים שהושקו במים מותפלים היה 32 ו- 36 ק"ג בהתאמה (נספח 5, הבדל מובהק, $\text{Prob} > F < 0.001$). הפחתת מנת המים ל- 45 אחוז מהמנה המרבית הפחיתה את יבול הצמחים שהושקו במי כינרת ל- 21 ול- 20 ק"ג לצמח בשטח פתוח ובבית רשת, בהתאמה, ואילו משקל האשכול של צמחים שהושקו במנה זהה של מים מותפלים היה 25 ו- 27 ק"ג, בהתאמה (נספח 5). איכות המים השפיע גם על גודל האצבע (פרי בודד). משקל אצבע של צמחים שהושקו במי כינרת במנה המרבית היה 138 ו- 149 גרם בשטח הפתוח ובבית רשת בהתאמה ואילו משקל אצבע מייצגת של צמחים שהושקו במים מותפלים היה 168 ו- 175 בהתאמה (נספח 6). הפחתת מנת המים ל- 45 אחוז מהמנה המרבית הפחיתה את משקל האצבע ל- 113 ו- 110 גרם, בהתאמה ואילו משקל האצבע של צמחים שהושקו במים מותפלים היה 138 ו- 136 גרם, בהתאמה. מקובל בדרך כלל כי משקל אצבע של יבול סוג א' הוא 140 גרם (מסומן בקו אופקי בנספח 6) ומכאן, השפעת מקור המים על איכות התוצרת הייתה מאוד משמעותית. העלייה בתולכת הפיוניות ושיפור היבול של צמחים שהושקו במים מותפלים בכל מנות ההשקיה מלמדת כי הפחתת המלחים במי ההשקיה עשויה להביא לשיפור היבול, זאת מעבר לחיסכון הצפוי במי ההשקיה בעקבות הקטנת מנת השטיפה הנדרשת. אנו מניחים כי השיפור בדיות וביבול של צמחים שהושקו במים מותפלים קשור להשפעה אוסמוטית *per se*.

דיון

ההבדלים ביבול ובאיכותו מצביעים כי מי הכינרת אינם "מים שפירים" בהגדרה המילולית של המילה וכי השקיה במים אלו המכילים מלחים מעל לכמות הנדרשת על ידי צמחים גורמת להמלחת בית השורשים ומביאה לירידה מובהקת ביבול. הפגיעה ביבול של צמחים שהושקו במי כנרת מלמדת כי במקרה זה מודל (Maas&Hoffman (1977) אינו מתאר כהלכה את תגובת הצמחים במליחות להשקיה במים מליחים בתחום המליחיות הנמוכות.

כמויות הנתרן שהצטברו בקרקע בשטח פתוח ובבית רשת שהושקו במנה מרבית של מי כינרת היו 350 ו- 250 ק"ג לדונם, בהתאמה ואילו כמויות הכלוריד היו 650 ו- 500 ק"ג לדונם, בהתאמה. סביר להניח כי חלק גדול מכמות הנתרן והכלוריד המוספים באמצעות מערכת ההשקיה הצטבר בשכבת הביניים שורש-קרקע וגרם לעלייה משמעותית בפוטנציאל האוסמוטי של תמיסת הקרקע ולפגיעה בקליטת המים. פוטנציאל אוסמוטי מושפע מהריכוז המולרי ומכאן: 60 ו- 45 מול של נתרן ו- 75 ו- 55 מול של כלוריד מצטברים במהלך העונה סביב מערכת השורשים של צמחים בשטח פתוח ובבית רשת המושקים במי הכינרת. לנתרן השפעה מזיקה מאוד על מבנה הקרקע והוא כמעט ואינו נע לעומק או נשטף בגשמי החורף. כלוריד לעומת זאת, איננו משפיע לרעה על מבנה הקרקע, נשטף בקלות ולכן איננו מצטבר בבית השורשים. אנו סבורים לכן כי נכון יותר להתמקד בנתרן ולא בכלוריד כסמן למליחות.

תחזית צריכת המים לחקלאות לשנת 2020 על פי תכנית האב למשק המים שנערכה בשנת 2011 היא 1138 מל"מ"ק, מתוכם 500, 400 ו- 144 מל"מ"ק שפירים, קולחים ומליחים, בהתאמה. נתוני מודל (Russo et al. (2009) והתוצאות שפורטו לעיל מצביעים כי 1138 מל"מ"ק אלו מורכבים למעשה משני חלקים: (א) כמות מים נדרשת לדיות הצמחים (טרנספירציה); ו- (ב) כמות מים נדרשת להדחת מלחים על פי אסטרטגיה א'. כמות המים הנדרשת לדיות נקבעת על פי נתוני האקלים ודרישות ייחודיות של הצמח ולכן אנו מניחים כי בידע הקיים היום קשה לשנותם בצורה משמעותית (אם כי סביר להניח כי יישום רשתות צל ושינויים אגרו-טכניים אחרים עשויים להביא להקטנה מסוימת בכמויות המים הדרשות לדיות). אולם, ניתן להפחית משמעותית ומיידית את החלק השני, דהיינו כמות המים הנדרשת להדחת מלחים על ידי יישום אסטרטגיה ב' (סילוק המלחים לפני הגעתם לשדה). אם נניח כי המליחות הממוצעת של המים השפירים בתכנית האב דומה לזו של מי הכינרת ואם נאמץ את תוצאות הניסוי כמייצגות את תגובת כלל הגידולים, אזי המשמעות של אימוץ

אסטרטגיה ב' הוא כי אנו זקוקים רק לכמות של 700-800 מלמ"ק להשקיה במקום 1138 מלמ"ק המחושבים. בנוסף, אימוץ אסטרטגיה ב' טומן בחובו סיכוי אמיתי וייחודי למניעת הקטנת הפגיעה במשאבי הקרקע והמים של מדינת ישראל, ובעיקר, מזעור הנזק הנגרם משימוש במי הקולחים להשקיה. בעשור האחרון התרחב מאוד השימוש במים מוחזרים (קולחים בעיקר) ונתונים שונים מצביעים על ירידה ביבול ופגיעה באיכות הקרקע (לוינגרט-אייצ'ייצ'יי וחובריו, 2013; להב וחובריו, 2013; Asouline and Narkis, 2011, 2013). ברור לכל כי בהעדר חלופות, השימוש בקולחים היה נדרש בשעתו. אולם בימים אלו, אנו מצווים להסתכל על פסק הזמן שנתן השימוש במי הקולחים למשק מים הישראלי כ"רווח זמן שאול" המאפשר מציאת חלופות אחרות שימנעו את הנזק למשאבי הקרקע והמים הלאומיים ולסביבה. בחינה כלכלית (אפרת וזילבר, 2012) הצביעה כי תוספת של 15% בפדיון הצמחי בבנות עשוי לכסות את הוצאות ההתפלה. לחילופין, הפחתה של 40% במי ההשקיה תכסה גם היא את ההוצאות. שילוב של עלייה ביבול של 10% ובמקביל, הפחתה במנת ההשקיה של 15% מכסות גם הן את עלויות ההתפלה. אפרת וזילבר (2012) התמקדו רק בהשפעה קצרת הטווח של איכות מי ההשקיה - דהיינו, ההשפעה על מנת המים המיושמת ועל היבול ואיכותו. ההשפעה ארוכת הטווח של השקיה במים באיכות גבוהה על שיפור תכונות הקרקע וצמצום זיהום מי התהום לא נבחנה במסגרת זו. זאת, למרות שסביר להניח כי חשיבותם של תהליכים ארוכי הטווח עולה לאין שיעור על חשיבותם של תהליכים קצרי המועד.

מסקנות

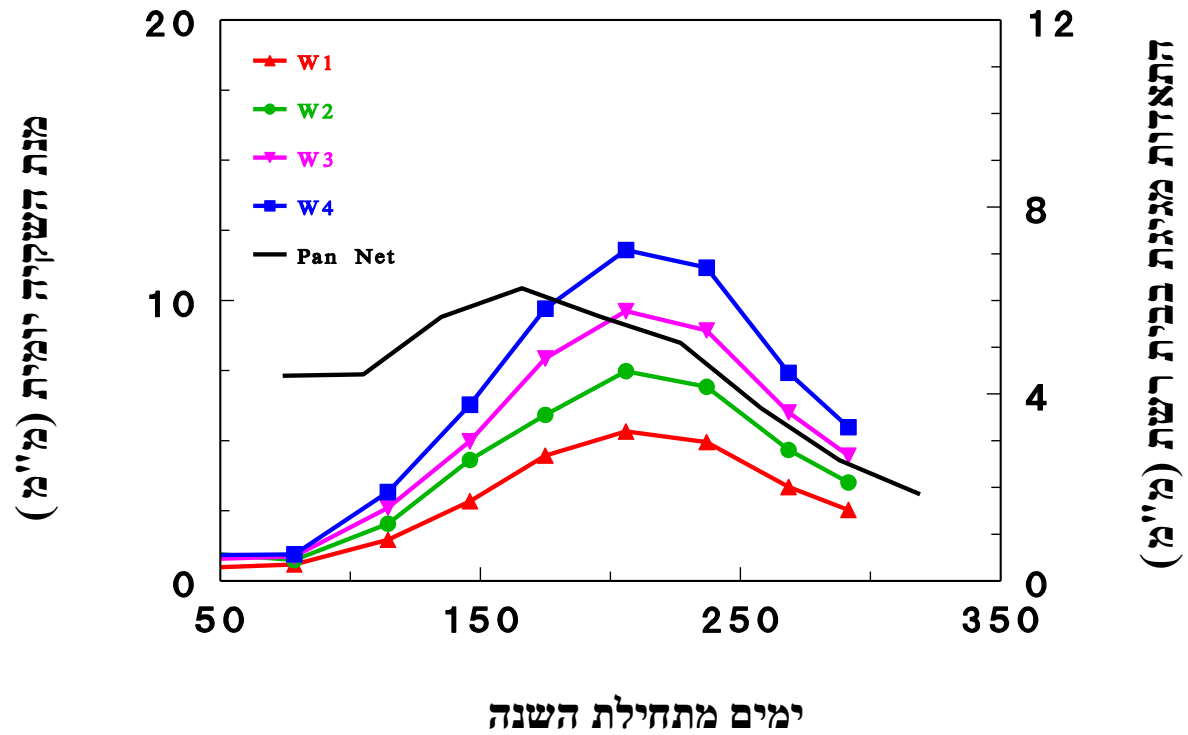
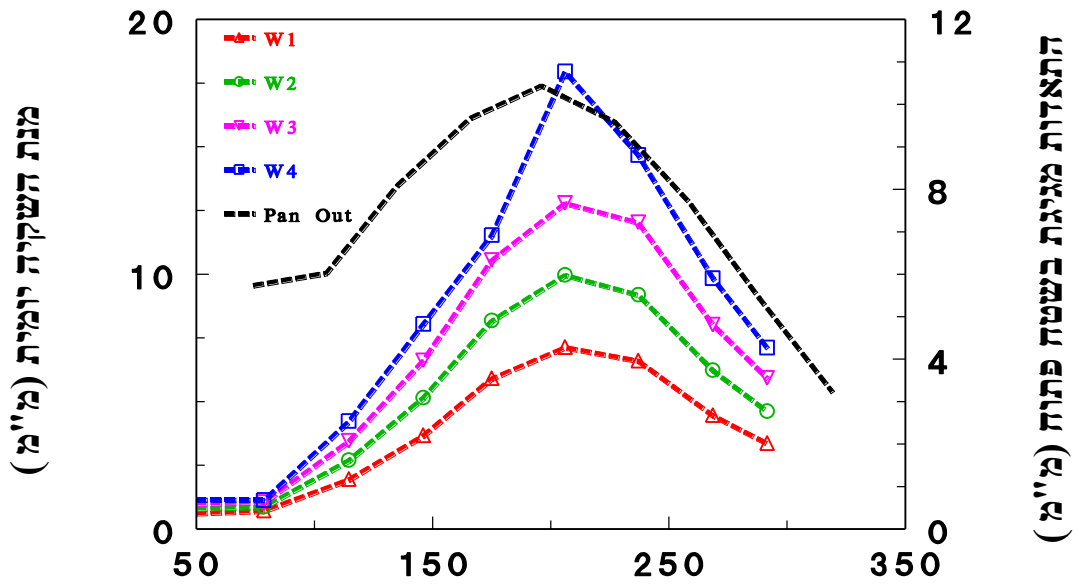
- שימוש במים מותפלים להשקיה הביא לירידה משמעותית בריכוזי הכלור, הנתרן והמוליכות החשמלית של תמיסת הקרקע.
- השקיה במים מותפלים הביאה לחיסכון של 30-40% ממנת ההשקיה בשטח הפתוח ובבית הרשת.
- אנו מניחים כי השיפור ביבול קשור להשפעה אוסמוטית *per se*. השילוב של שיפור התפוקה יחד עם חיסכון משמעותי במים עשוי להביא לשיפור בכדאיות הכלכלית של שימוש במים מותפלים להשקיית גידולים חקלאיים.
- יש מקום לבחינה מעמיקה של חלופת השימוש במים מותפלים להשקיית גידולים חקלאיים ולשלב אפשרות זו בתכנון ארוך הטווח של משק המים הארצי.

רשימת פרסומים שנבעו מהמחקר:

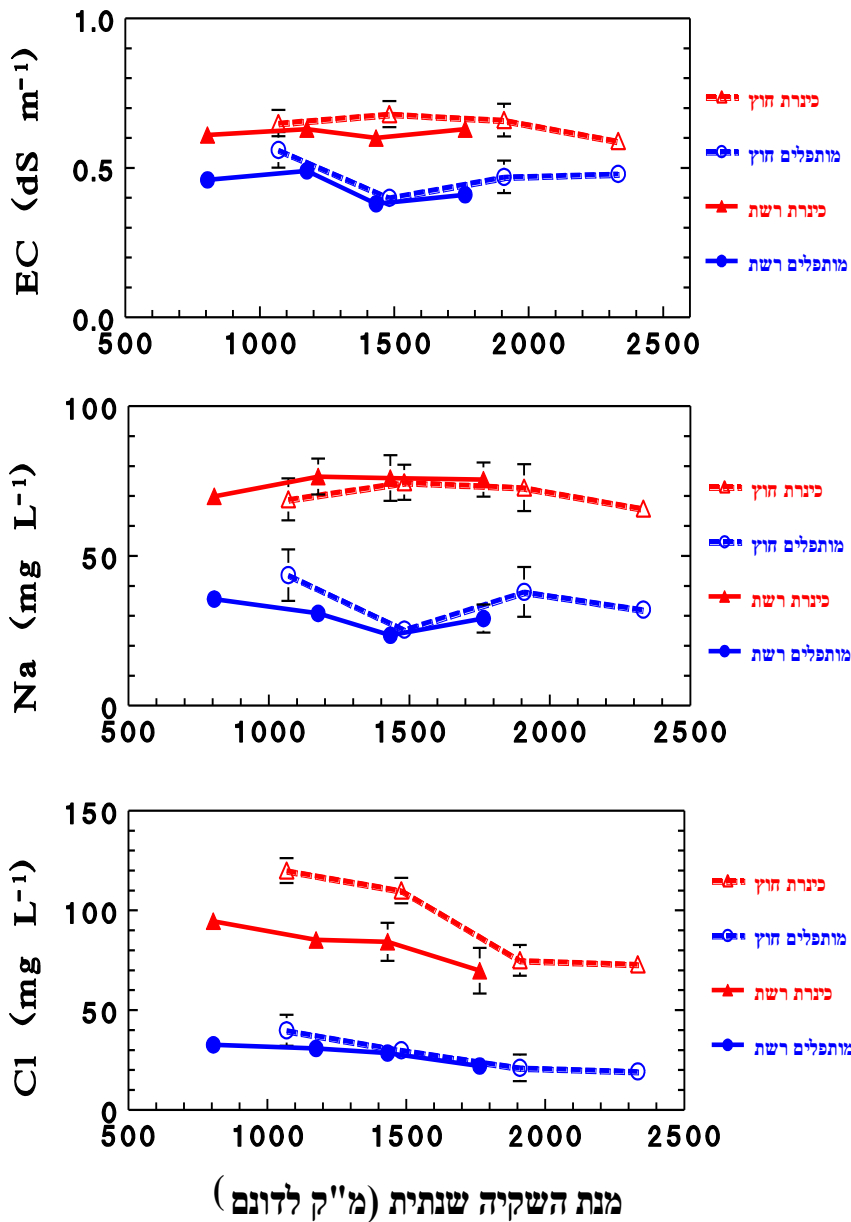
אפרת הדס, אבנר זילבר א. 2013. הערכה ראשונית לכדאיות התפלת מים מליחים לחקלאות. *הנדסת מים, מגזין המים הישראלי*, 79, 24-30.

אבנר זילבר, מנשה לוי, ראובן דור, שמואל אסולין, כפיר נרקיס, אירית לבקוביץ, יאיר ישראלי, עידן אלינגולד, ג'ורג' חודי, יובל לוי. 2013. השקיה במים מותפלים. *הנדסת מים, מגזין המים הישראלי*, 88, 44-50.

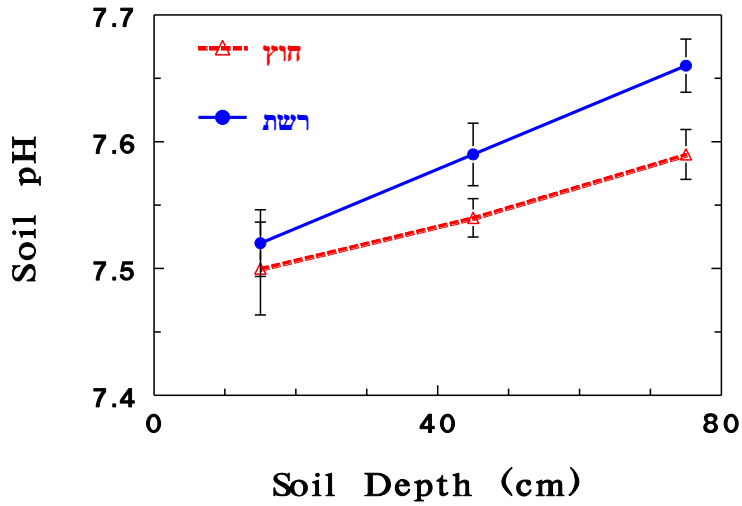
אבנר זילבר, מנשה לוי, ראובן דור, שמואל אסולין, כפיר נרקיס, אירית לבקוביץ, יאיר ישראלי, עידן אלינגולד, ג'ורג' חודי, יובל לוי. 2013. השקית בנות במים מותפלים: פוטנציאל לחיסכון במים ולשיפור ביבול. *עלון הנוטע*, 69, 24-



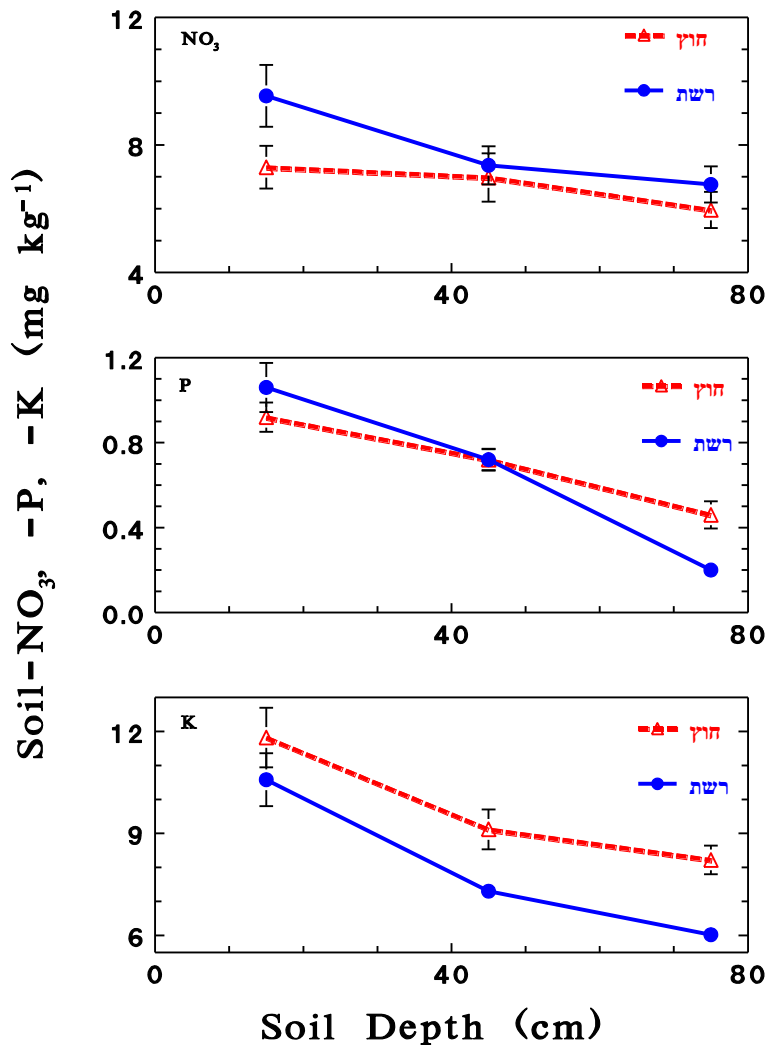
נספח 1. כמויות המים שנתנו לצמחים בשטח פתוח (עליון) ובבית רשת (תחתון) במהלך שנת 2012 בהשוואה להתאדות מגיגית. יום אפס הוא 1 בינואר 2012.



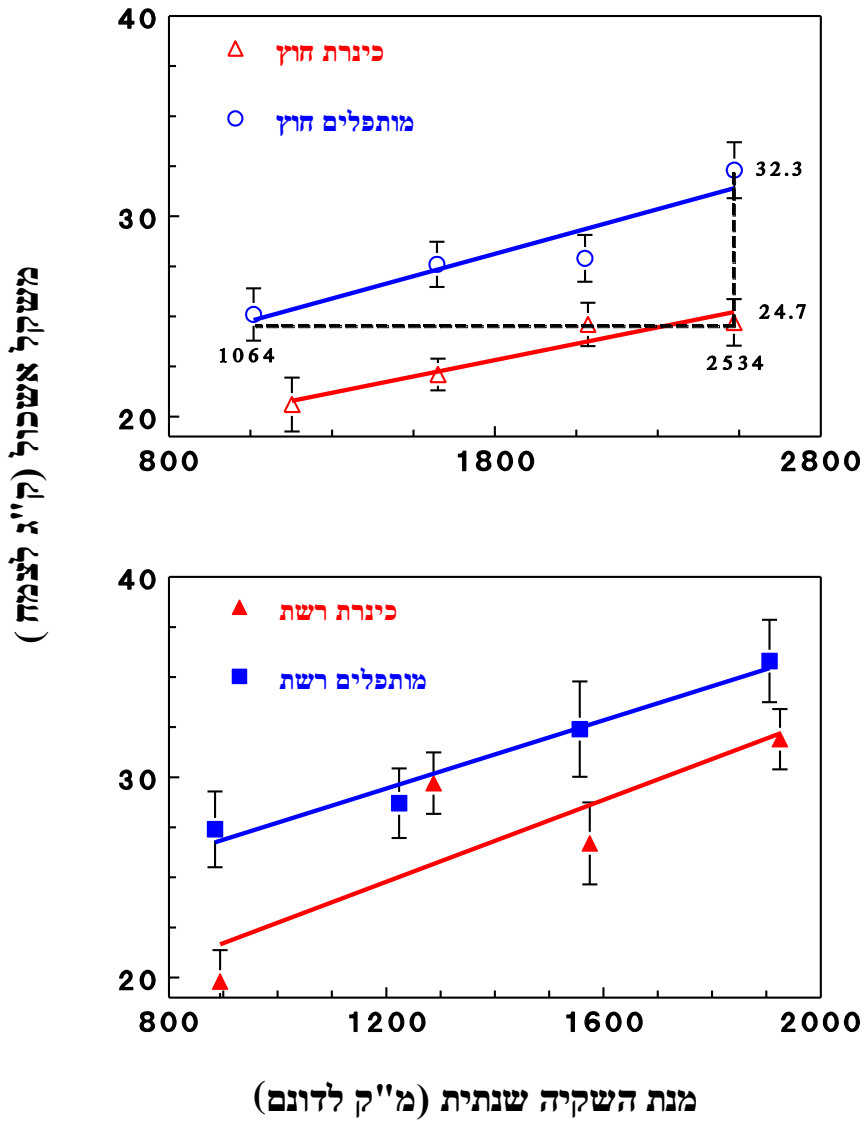
נספח 2 השפעת מנת ההשקיה השנתית והמליחות (מי כינרת ומים מותפלים) על המוליכות החשמלית (עליון), ריכוזי נתרן (אמצע) וכלוריד (תחתון) במיצוי מימי של קרקע (תמיסה: קרקע 1:2, ממוצע משלוש שכבות קרקע: 0-30, 30-60 ו-60-90 ס"מ) בשטח פתוח ובבית רשת תאריך דיגום: 4 אוקטובר 2012. קיום אנכיים מייצגים את שגיאת הניסוי לכל טיפול.



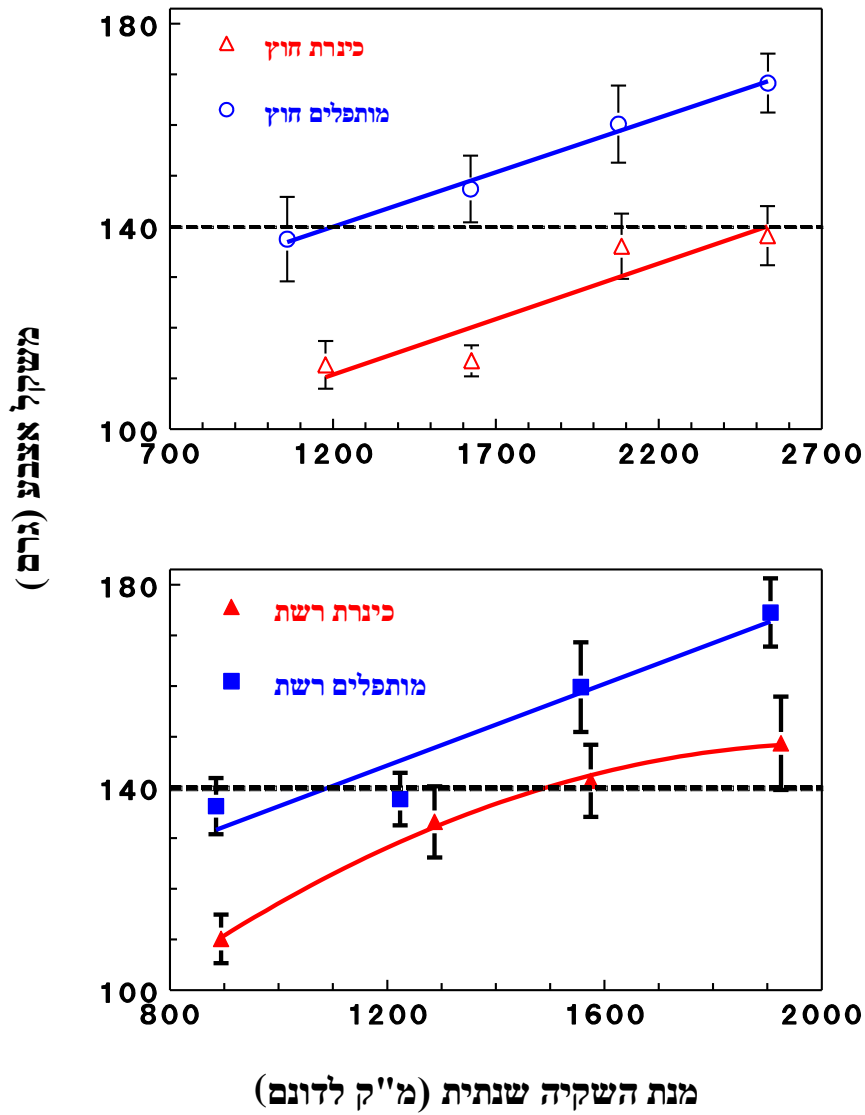
נספח 3 השפעת עומק הקרקע על ה-pH במיצוי מימי של קרקע (תמיסה:קרקע 1:2) משטח פתוח ומבית רשת. תאריך דיגום: 4 אוקטובר 2012. קוים אנכיים מייצגים את שגיאת הניסוי.



נספח 4 השפעת עומק הקרקע על ריכוזי החנקן (עליון), הזרחן (אמצע) והאשלגן (תחתון) במיצוי מימי של קרקע (תמיסה:קרקע 1:2) משטח פתוח ומבית רשת. תאריך דיגום: 4 אוקטובר 2012. קוים אנכיים מייצגים את שגיאת הניסוי.



נספח 5 השפעת מנת ההשקיה השנתית והמליחות (מי כינרת ומים מותפלים) על משקל ממוצע של אשכול: עליון – שטח פתוח; תחתון – בית רשת. קווים אנכיים מציינים את שגיאת הניסוי של כל טיפול.



נספח 6 השפעת מנת ההשקיה השנתית והמליחות (מי כינרת ומים מותפלים) על משקל אצבע ממוצע: עליון – שטח פתוח; תחתון – בית רשת. קוים אנכיים מציינים את שגיאת הניסוי של כל טיפול.

רשימת ספרות

- הדס, א., זילבר א. 2013. הערכה ראשונית לכדאיות התפלת מים מליחים לחקלאות. הנדסת מים, 79, 24-30.
- טנאי, י., כהן, ש., שפירא, א., שוורץ, א., ויאיר ישראלי. 2008. מנות מים בהשקיית בננות בבית רשת בחוות בננות. דו"ח מוגש למדען הראשי של משרד החקלאות.
- ישראלי, י., נמרי, נ. 1986. בחינת תצרוכת המים של הבננה בעמק הירדן באמצעות ליזימטר עודפים. עלון הנוטע גליון 10.
- לוינגרט- אייצ'יצ'יי, ע., להב, ע., רגב, י., כהן, ה., ישראלי, ט., יחיאלי, נ., יקוטי, ג., זילברשטיין, מ., נאור, ע., טרצ'יצקי, ח., אסולין, ש., אברהמס, י. 2013. תגובת אבוקדו להשקיה בקולחים בגליל המערבי – חלק א': ההשפעה על הקרקע, העלים, ומשק המים של העץ. עלון הנוטע גיליון 67.
- להב, ע., לוינגרט- אייצ'יצ'יי, ע., רגב, י., כהן, ה., ישראלי, ט., יחיאלי, נ., יקוטי, ג., זילברשטיין, מ., נאור, ע., טרצ'יצקי, ח., אסולין, ש., אברהמס, י. 2013. תגובת אבוקדו להשקיה בקולחים בגליל המערבי – חלק ב'. עלון הנוטע גיליון 67.
- Assouline, S., and Narkis, K. 2011. Effects of long-term irrigation with treated wastewater on the hydraulic properties of a clayey soil. *Water Resour. Res.*, 47, W08530, doi:10.1029/2011WR010498.
- Assouline, S., and Narkis, K. 2013. Effects of long-term irrigation with treated wastewater on the root zone environment. *Vadose Zone J.*, doi:10.2136/vzj2012.0216 (in press).
- Coelho, F., Or, D. 1999. Root distribution and water uptake patterns of corn under surface and subsurface drip irrigation. *Plant Soil* 206, 123-136.
- Dudley, L.M., Ben-Gal, A., Shani, U., 2008. Influence of plant, soil and water properties on the leaching fraction. *Vadose Zone J.* 7:420–425
- Israeli, Y., Lahav, E., Nameri, N. 1986. The effect of salinity and sodium adsorption ratio in the irrigation water, on growth and productivity of bananas under drip irrigation conditions. *Fruits*, 41, 297-302.
- Läuchli, A., Epstein, E., 1990. Plant response to saline and sodic conditions. In: *Agricultural Salinity Assessment and Management* Tanji, K.K. (Ed.). American Society of Civil Engineers, New York, pp 113-137.
- Maas, E.V., Hoffman, G.J. 1977. Crop salt tolerance-Current assessment. *J. Irrig. Drain. Div. Am. Soc. Civil Eng.* 103, 115-134.
- Marschner, H. (1995). "Mineral Nutrition of Higher Plants," 2nd ed., pp. 299-312. 296-404, Academic Press, San Diego, CA.
- Mmolawa, K., Or, D. 2000. Root zone solute dynamics under drip irrigation: a review. *Plant Soil* 222, 163-190.
- Munns R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ.* 25, 239-255.

- Russo, D., and D. Bakker. 1987. Crop-water production functions for sweet corn and cotton irrigated with saline waters. *Soil Sci. Soc Am. J.* 51, 1554–1562.
- Russo, D., Laufer, A., Silber, A., Assouline, S. 2009. Water uptake, active root volume and solute leaching under drip irrigation: a numerical study. *Water Resour. Res.*, 45, w12413, doi:10.1029/2009WR008015.
- Shalhevet, J. 1994. Using water of marginal quality for crop production: major issues. *Agricultural Water Management* 25, 233-269.
- Shani, U., Dudley, L.M. 2001. Field studies of crop Response to water and salt stress. *Soil Sci. Soc Am. J.* 65, 1522-1581.
- Shani, U., Ben-Gal, A., Tripler, E., Dudley, L.M. 2007. Plant response to the soil environment: An analytical model integrating yield, water, soil type, and salinity. *Water Resour. Res.* 43 W08418 10.1029/2006WR005313.
- Xu, G., Magen, H., Tarchitzky, J., Kafkafi, U. 1999. Advances in chloride nutrition of plants. *Advances in Agronomy*, 68, 97-150.