

השפעת ממשק השקיה באיכויות מים שונות על יבול, איכות, חיי מדף וגורמי מחלות בגידול עגבניות בערבה הצפונית

מספר תוכנית המחקר: 870-6209-11

שם המדריך / חוקר ראשי: שלי גנץ היחידה המקצועית אגף הירקות, שה"מ, משרד החקלאות

שמות חוקרים שותפים: אלון בן גל – המכון למדעי הקרקע המים והסביבה, מנהל המחקר החקלאי; אורי

ירמיהו – המכון למדעי הקרקע המים והסביבה, מנהל המחקר החקלאי; נפתלי לזרוביץ – המכון

לביוטכנולוגיה וחקלאות באזורים צחיחים, אוניברסיטת בן גוריון בנגב; רבקה אופנבך; עמי מדואל – מו"פ

ערבה תיכונה וצפונית.

דואר אלקטרוני של החוקר הראשי: shelly.gantz@gmail.com

תקציר

את המינרלים החסרים ממים מותפלים המיועדים לחקלאות ניתן להוסיף כדשן או לחילופין לספק אותם על ידי ערבוב עם מים מליחים שריכוז היסודות הללו בהם גבוה. שאלת המחקר היתה האם ערבוב מים מותפלים עם מליחים להוספת המינרלים שהורחקו בתהליך ההתפלה ודרושים לצמח על מנת לקבל יבול מיטבי הינו פתרון נכון, כלכלי ובר קיימא מבחינה סביבתית? מטרת המחקר היתה לבחון את הגישות השונות באספקת המינרלים החסרים לצמח (ערבוב או הוספת דשנים) המושקה במים מותפלים. מטרות ייחודיות של המחקר היו: א. כימות היתרונות והחסרונות של ערבוב מים מותפלים עם מים מליחים מבחינת גידול צמחי פלפל, בזיל ועגבנייה וזיהום הסביבה. ב. התאמה ובחינה של תהליכים במודלים המשלבים זרימת מים והסעת מליחים ברצף קרקע, צמח ואטמוספירה להערכת היבול ונזקי סביבה כתלות באיכות והרכב מי ההשקיה. ג. בדיקת היחסים בין מינרלים חיוביים ושלייליים בקליטה על ידי הצמח ובהצטברות בצמח. ד. לבחון את רגישות תגובות הגידולים למליחות מי השקיה כתלות תנאי אקלים. המחקר התבסס על ניסויים בצמחים בתנאים מבוקרים ובחלקות חצי מסחריות. במחקר היה שימוש במודלים למערכת קרקע- צמח - אטמוספירה. בעונת 2009-2010 בוצעו ניסויים בפלפל. בעונת 2010-2011 בוצעו שני ניסויים בבזיל. בעונת 2011-2012 בוצעו ניסויים בעגבנייה. הניסויים בוצעו במערכת של 24 ליזימטרים בחממה בגילת וב-12 ליזימטרים ובחלקות שדה בחממה חצי מסחרית בתחנת זוהר שבערבה הצפונית. הבזיל נמצא עמיד מאוד למליחות ופלפל ועגבנייה די רגישים. בהשקיה עם מים מליחים ועם מים מעורבים ניתן לקבל יכולים השווים לאלה שגדלו עם מים מותפלים מדושנים אך זאת רק כאשר מעלים את מנת ההשקיה מ-20% עד 50%. תגובת פלפל ועגבנייה למליחות היתה בשיעור גבוה יותר כאשר צריכת המים (דרישה האקלימית) היתה גבוהה יותר. בעזרת קביעת היחסים בין VPD בחממה לרגישות היחסית של הגידולים למליחות, ניתן לייעל את השימוש במים. זאת על ידי השקיה במים מליחים יותר בעונות מתונות ושינוי למים בעלי מליחות נמוכה יותר בעונות חמות.

את המינרלים החסרים ממים מותפלים המיועדים לחקלאות ניתן להוסיף כדשן או לחילופין לספק אותם על ידי ערבוב עם מים מליחים שריכוז היסודות הללו בהם גבוה. לשתי השיטות יתרונות וחסרונות: דישון המינרלים החסרים כרוך בעלות לא מבוטלת ודורש מערכת דישון נוספת מאחר ולא ניתן להוסיף את הדשנים החסרים לדשנים קיימים בגלל בעיות שקיעה. בנוסף, ניתן לצמצם את מנת המים העונתית הממ"קלת כיום. מאידך, בשיטת הערבוב אין עלות למינרלים ונפח המים גדל. החסרונות של שיטת הערבוב הם עליה במקדם השטיפה וזיהום הסביבה במליחים הנשטפים מבית השורשים. בחירת השיטה העדיפה דורשת אופטימיזציה שלוקחת בחשבון את כל המרכיבים. חסר לנו ידע רב בעיקר ביחס לתגובה של צמחים שונים לריכוזי מליחות נמוכים שלא היו זמינים עד כה וכיצד ישפיעו יחסי ערבוב שונים על התוצאות.

מודלים משמשים ככלי מחקר אטרקטיבי להבנה, כימות וחיזוי של תופעות ותהליכים במערכת קרקע-צמח-אטמוספירה ולתכנון וניהול משאבי מים ואיכותם. למרות מורכבותם של מודלים ספרתיים השימוש בהם הולך וגובר הודות להבנה טובה יותר של תהליכי זרימת מים והסעת מומסים, לפיתוח ושיפור שיטות מתמטיות לפתרון משוואות ולפיתוח המואץ של מחשבים המסוגלים לחשב תהליכים שונים בו זמנית במרווחי זמן ומרחב קטנים. כיום ישנו שימוש גובר במודלים להדמיה של תהליכים הקשורים להשקיה. כמו כן מודלים מאפשרים את חישוב כמות והרכב תמיסת הנקז ויכולים לתרום להערכה של החלופות לזיהום הסביבה.

אפשר לאפיין את הירידה ביכול הנגרמת על ידי עליה במליחות תמיסת הקרקע לפי פונקציה סיגמוידאלית

(1) van Genuchten and Hoffman 1984:

$$\frac{Y_a}{Y_p} = \frac{1}{1 + \left(\frac{EC_e}{EC_{e50}} \right)^P} \quad [1]$$

כאשר Y_a הוא יבול אמיתי, Y_p יבול פוטנציאלי, EC_{e50} ($dS\ m^{-1}$) המוליכות החשמלית של מיצוי עיסה רוויה של הקרקע (EC_e) שבו היבול הוא 50% מהיבול הפוטנציאלי, ו- P הוא פרמטר אמפירי שמגדיר את עוצמת הירידה ביבול בין המקסימום ובין 50% (1,2). פרמטרים EC_{e50} ו- P הם אמפיריים אך יש להם תכונות ביופיסיקאליות שאפשר לזהות (3).

המחקר התמקד בשאלה: האם ערבוב מים מותפלים עם מליחים להוספת המינרלים שהורחקו בתהליך ההתפלה ודרושים לצמח על מנת לקבל יבול מיטבי הינו פתרון נכון, כלכלי ובר קיימא מבחינה סביבתית? על מנת לענות על שאלה זו, נדרשה הבחנה חדשה על תגובות גידולים למליחות מי השקיה ברמות מליחות נמוכות יחסית.

מטרת המחקר לבחון את הגישות השונות באספקת המינרלים החסרים לצמח (מיהול או הוספת דשנים) המושקה במים מותפלים. מטרת ייחודיות של המחקר הם: א. כימות היתרונות והחסרונות של מיהול מים מותפלים עם מים מליחים מבחינת גידול צמחי פלפל, בזיל ועגבנייה וזיהום הסביבה. ב. לבחון את רגישות תגובות הגידולים למליחות מי השקיה כתלות בתנאי אקלים. ג. התאמה ובחינה של תהליכים במודל המשלב זרימת מים והסעת מליחים ברצף קרקע, צמח ואטמוספירה (HYDRUS-1D) להערכת היבול ונזקי סביבה כתלות באיכות והרכב מי ההשקיה.

פירוט עיקרי הניסויים

המחקר התבסס על ניסויים בצמחים בתנאים מבוקרים ובחלקות חצי מסחריות. במחקר יש שימוש במודל סיפרתי הפותר את זרימת המים והסעת המליחים במערכת קרקע-צמח – אטמוספירה (HYDRUS-1D). במסגרת המחקר המודל כוייל לקרקעות ולצמחים שבניסויים השונים. בשנה הראשונה המחקרים התבססו על גידול פלפל, בשנה השנייה על בזיל. בעונת 2011-2012 (שנה שלישית) התקיימו במרכז מחקר גילת ניסויים מבוקרים בעגבנייה. הניסויים בחנו את תגובת העגבנייה למליחות כתלות לתנאי הסביבה בהם גדלו. ניסוי נוסף התבצע בחלקות חצי

מסחריות בתחנת זוהר של מו"פ ערבה צפונית. בניסוי זה נבחנו רמות שונות של השקיה עם מים בעלי איכויות שונות (מותפלים DW, מליחים GW ומעורבבים BW). צמחי העגבנייה גדלו למשך עונה שלמה ונערך מעקב אחר היבול ואיכותו.

ניסוי לזימטרים בגילת – עגבנייה 2011

הניסוי התקיים במרכז מחקר גילת במערכת לזימטרים בחממה. הלזימטרים מותקנים על קרוסלה מסתובבת (4) כך שתנאי הסביבה שווים לכל הצמחים. המערכת עם בקרה מלאה ואוטומציה של הכנה ואספקה של מי ההשקיה, שקילה של הלזימטרים ואיסוף ומדידה של מי הנקז. בתחית הלזימטרים מחובר נקז המכיל חומר נקבובי בעל מוליכות הידראולית גבוהה (צמר סלעים) השומר תנאי רטיבות בגבול התחתון של בית השורשים אשר דומים לאלה שבשדה (5). הלזימטרים היו בנפח של 60 ל' ומולאו בקרקע חולית. טיפולי ההשקיה החלו שבוע לאחר השתילה. בניסוי נבחנו 8 רמות מליחות. למים מותפלים ($EC=0.2 \text{ dS/m}$) הוסף נתון כלורי ברמות של 0, 5, 10, 20, 30, 50, 80 ו-110 מילימולר. רמות המליחות וריכוזי הכלוריד ונתון במי השקיה לפי טיפולים מוצגים בטבלה 1. ריכוזי המינרלים האחידים בכל הטיפולים מוצגים בטבלה 2. כל טיפול היה ב-3 חזרות במתקן הלזימטרים. כל צמח הושקה עם שיעור שטיפה (leaching fraction) של 20%. הניסוי בוצע 3 פעמים, כל פעם בתנאי אקלים שונים. מועדי שתילה היו 07/10/2011, 26/01/2012 ו-01/06/2012. בכל לזימטר נשתלו שני שתילים. נמדדו בניסוי: מאזן מים מלא רציף, מוליכות החשמלית של מי הנקז פעם בשבוע, ריכוז יסודות (חנקן, זרחן, אשלגן, סידן, נתרן, וכלוריד) במי השקיה ומי הנקז פעם בשבוע. העגבניות גדלו עד הדור לקומת הפירות החמישית. בסוף התקופה הצמחים הורדו וחולקו לעלים, גבעולים ופירות. דגימת שורשים נלקחה במרחק קבוע מהצמחים. כל החומר הצמחי נשקל טרי ויבש.

טבלה 1: רמות המליחות במי ההשקיה (אחרי דישון) בטיפולים השונים ניסוי עגבנייה בלזימטרים בגילת 2011.

Treatment	1	2	3	4	5	6	7	8
Added NaCl(mM)	0	5	10	20	30	50	80	110
EC (dS/m)	1.1	1.9	2.6	3.7	5.5	8.0	11.0	12.0
Na (mg/l)	43	304	553	816	1477	3318	4300	5148
Cl (mg/l)	14	432	712	1230	2343	3810	6707	7250

טבלה 2: ריכוזי נוטריאנטים במי השקיה בניסוי עגבנייה בלזימטרים בגילת. כל היחידות במ"ג לל'.

N-NO ₃	P	K	Ca	Mg	S	Fe	B	Mn	Zn	Cu	Mo
150	10	150	43	25	32	5.5E-04	4.9E-04	2.7E-04	1.4E-04	2.0E-05	1.5E-05

ניסוי חצי מסחרי בעגבניות בערבה הצפונית

בתחנת "זוהר" בערבה הצפונית (עין תמר, דרומית לים המלח) התבצע ניסוי בו גודלו עגבניות בחממה. בסמוך לניסוי בקרקע הוצבו לזימטרים שקועים בקרקע (איור 2). בניסוי בקרקע נבחנו 2 גורמים: איכות מים ורמות השקיה. שלושת איכויות מים שנבחנו: מים מותפלים (0.2 דצ"ס/מ') מים מליחים (3.2 דצ"ס/מ') ומים מעורבבים לפי חישוב של הספקה רצויה של סידן, מגנזיום וסולפט לצמחי העגבנייה (1 חלקי מים מליחים לכל 3 חלקי מים מותפלים). בניסוי בקרקע בשדה, כל סוג מים ניתן ב-4 רמות השקיה סה"כ 12 טיפולים. בלזימטרים נבחנה רמה אחת של השקיה של כל איכות מים, כלומר 3 טיפולים ב-4 חזרות סה"כ 12 לזימטרים. רמות ההשקיה חושבו ממאזן המים הנמדד בלזימטרים בחממה (איור 2). שיעורי ההשקיה הותאמו לאיכות המים לפי תוצאות צפויות

(טבלה 3). חישוב לרמות השונות נעשה על מנת לשמור על שיעורי שטיפת מלחים דומה. נערך מעקב של ההרכב הכימי (חומציות, מוליכות חשמלית וריכוזי המינרלים: חנקן, זרחן, אשלגן, סידן, מגנזיום, נתרן וכלוריד) של מי ההשקיה. מימדי החלקה בניסוי הקרקע היו: אורך 5 מטר ורוחב 1.5 מטר (שטח חלקה 7.5 מ"ר). הניסוי הוצב בבולקים ב-4 חזרות, בסה"כ היו 48 חלקות. במקביל, בליזימטרים נבחנו שלושת איכויות המים בטיפול המים הגבוהה ביותר. הצמחים נשתל ב-04/10/2011 ונקטפו 5 פעמים מ-10/11/2011 עד 13/03/2012. בכל קטיף נבדקו יכול ואיכות העגבניות (כממ"קל בגידול כולל חיי מדף). פעמים בעונה (17/01/12 ו-13/03/12) נדגמו עלים דיאגנוסטיים ונקבעו בהם תכולת המינרלים. קרקע נדגמה שלוש פעמים (05/10/11, 17/01/12 ו-13/03/12).

טבלה 3: טיפולי השקיה בניסוי עגבניה בתחנת זהר. I/ET_p = שיעור השקיה מנורמל (השקיה מחולק לאופוטורנספירציה פוטנציאלית). LF = שיעור שטיפה. ערכי EC לתמיסות כולל הדשן.

Treatment	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$EC (dS m^{-1})$	0.9	0.9	0.9	0.9	1.5	1.5	1.5	1.5	4.2	4.2	4.2	4.2
I/ET_p	1.0	1.16	1.33	1.5	1.0	1.33	1.66	2.0	1.0	1.5	2.0	2.5
LF	0.0	0.14	0.25	0.33	0.0	0.25	0.40	0.50	0.0	0.33	0.50	0.60



איור 2: בית רשת ניסוי העגבניה בתחנת זוהר. שורות בליזימטרים ובשדה. 08/03/2011

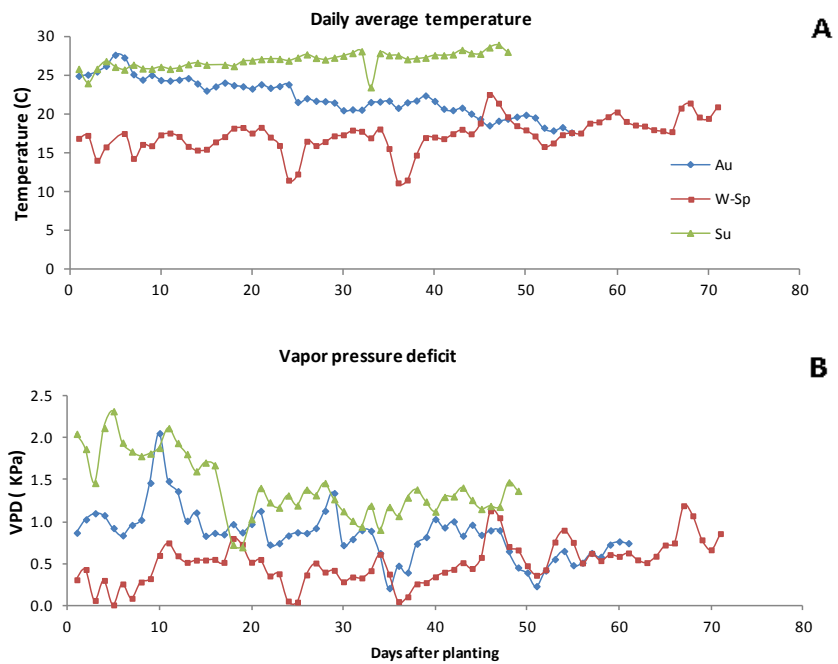


איור 1: מערכת ליזימטרים וניסוי עגבניות בגילת. 25/11/2011

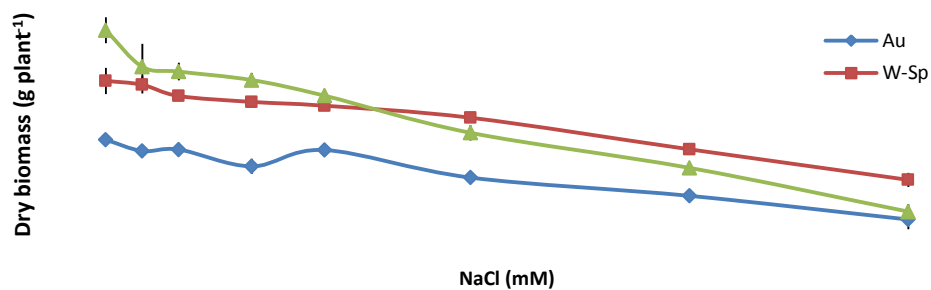
תוצאות

ניסוי מבוקר גילת

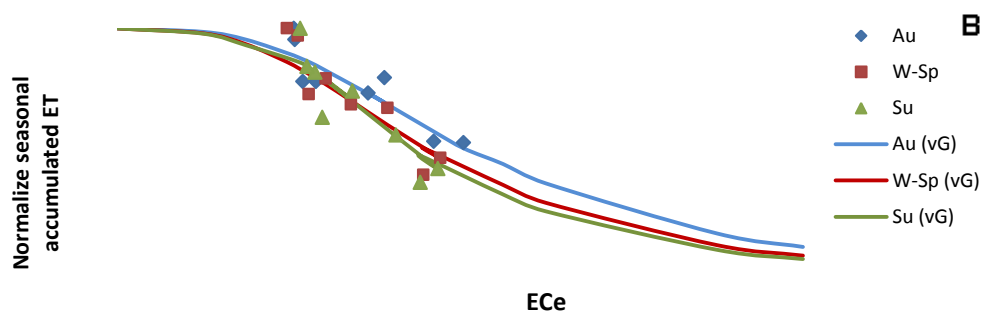
טיפול ניסוי הליזימטרים בוצעו כמתוכנן. ההבדלים בתנאי אקלים בחממה בין העונות התבטאו בטמפרטורה (איור 3A) וב-VPD (איור 4A) כאשר ממוצע טמפרטורה יומית לכל העונה הייתה 22.4 בסתיו, 16.8 בחורף-אביב ו-26.8 בקיץ. VPD ממוצע היה 0.85 קילופסקל בסתיו, 0.48 קילופסקל בחורף-אביב ו-1.41 בקיץ. עליה במליחות מי ההשקיה גרמה לירידה בביומסה של צמחי העגבניה (איור 4) כאשר עוצמת התגובה למליחות הייתה גבוהה ביותר בעונת הקיץ. נרמול התוצאות של שימוש במים עונתי על ידי הצגת אוופוטורנספירציה יחסית (ל-ET הגבוהה בכל עונה) כתלות במליחות מיצוי עיסה רוויה של הקרקע (איור 5) מאפשר התאמה של עקומי van Genuchten [1] והשוואה בין העונות. מהפרמטרים של הקווים המוצגים בטבלה 4 אפשר לראות שהרגישות היחסית גבוהה למליחות (EC_{e50} נמוך ו-P גבוה) בקיץ ונמוכה בחורף.



איור 3: ממוצע טמפרטורה (A) ו-VPD (B) בניסויי בליזמטרים בחממה בגילת Au = עונת הסתיו, W-Sp = חורף אביב ו-Su = קיץ.



איור 4: יבול (סה"כ ביוםסה) של צמחי עגבניות בעונות השונות.

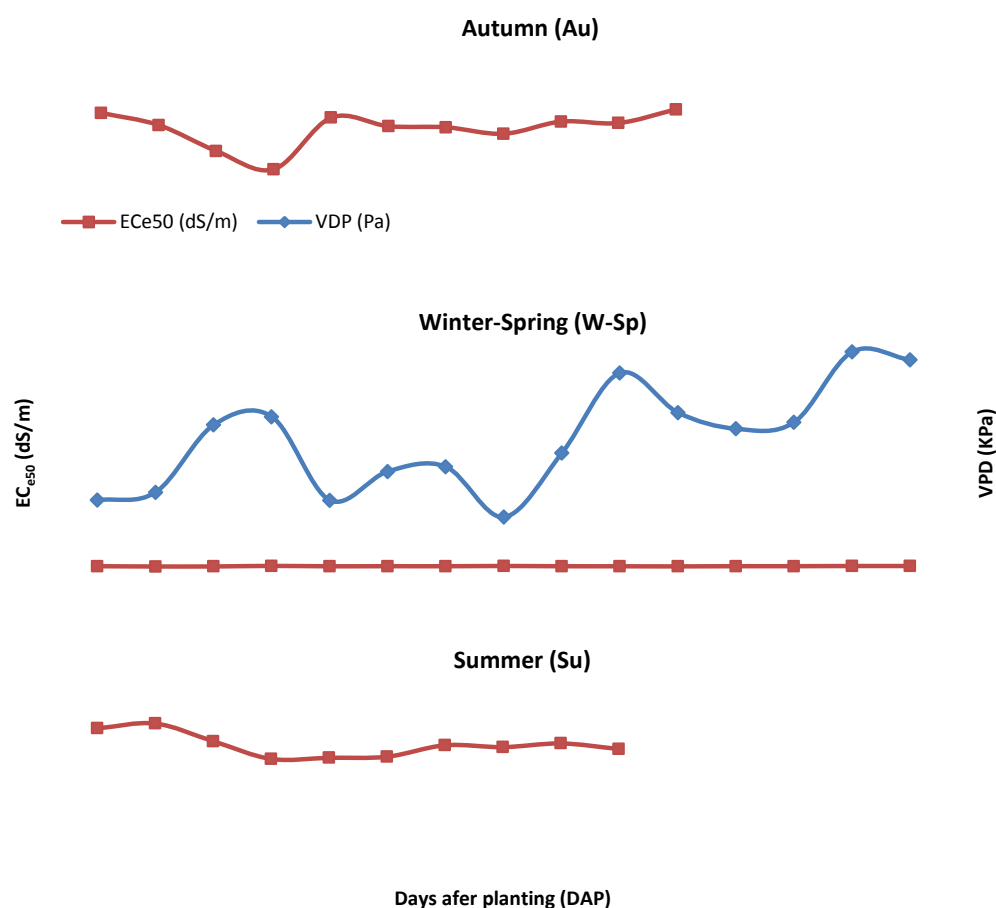


איור 5: אוופורנספירציה ענתית יחסית. הסימנים מייצגים נתונים נמדדים. הוקוים הם ההתאמה הטובה ביותר לנוסחת van Genuchten [2]. פרמטרים של הקווים מוצגים בטבלה 4.

טבלה 4: פרמטרים של נוסחת van Genuchten and Hoffman (1984) [1].

Season	EC _{e50}	P
<i>Au</i>	4.16	3.0
<i>W-Sp</i>	3.69	3.0
<i>Su</i>	3.51	3.7

לאור ההבדלים בין העונות בחנו אם התגובה למליחות משתנה כפונקציה של תנאי מזג אוויר גם במשך העונות. נעשתה השוואת הממוצעים של EC_{e50} מנתונים של 5 ימים מחושב מנתוני האופוטורנספירציה וגם של ה-VPD בחממה. תוצאות לפי עונה מוצגות באיור 6. בגידול בסתיו ובחורף-אביב ה-EC_{e50} וה-VPD מתנהגים הפוך אחד מהשני. זאת אומרת, כאשר ה-VPD עולה (דרישה יותר גבוהה למים) הערך של EC_{e50} יורד (רגישות למליחות גבוהה יותר). תופעה זו לא נצפתה בקיץ כאשר ה-VPD היה גבוה ודי קבוע לאורך כל העונה (איור 6).

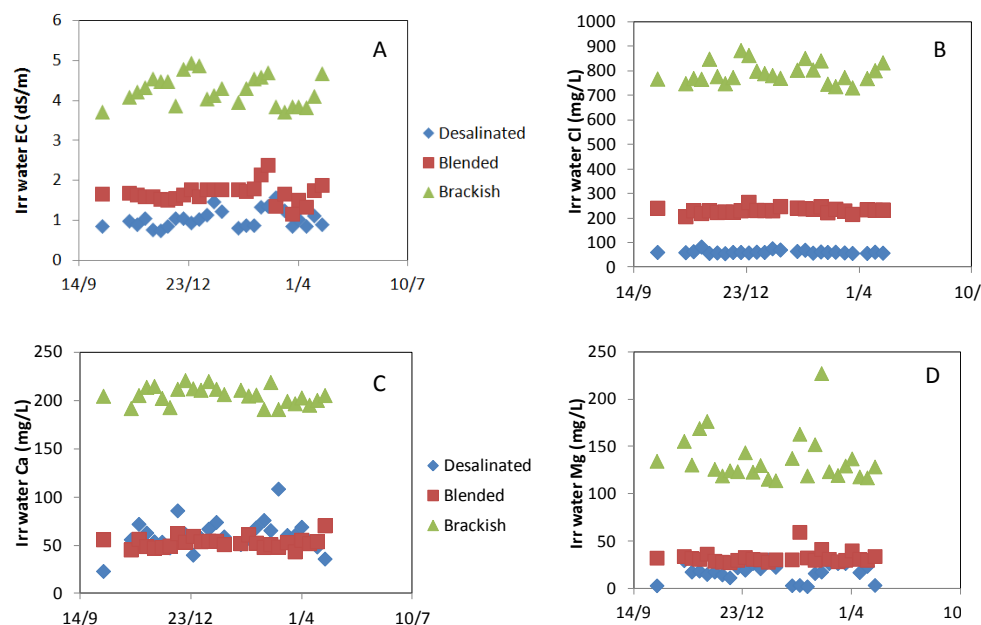


איור 6: רגישות הצמחים למליחות (EC_{e50}) ו-VPD בחממה. ערכים חושבו למוצע של 5 ימים.

ניסוי חצי מסחרי בתחנת זוהר

באיור 7 מוצגות תוצאות מוליכות החשמלית, ריכוז הכלורידים, ריכוז הסידן וריכוז המגנזיום במי ההשקיה בניסוי בבית רשת בערבה. באופן כללי המגמות של מליחות המים נשמרו קבועות (איור 7). חלק מהסטיות ב-EC הינן תוצאות שונות של מדידה בשני מכשירי מדידה שונים. באופן כללי אפשר לראות שדישון מלא של מים המותפלים

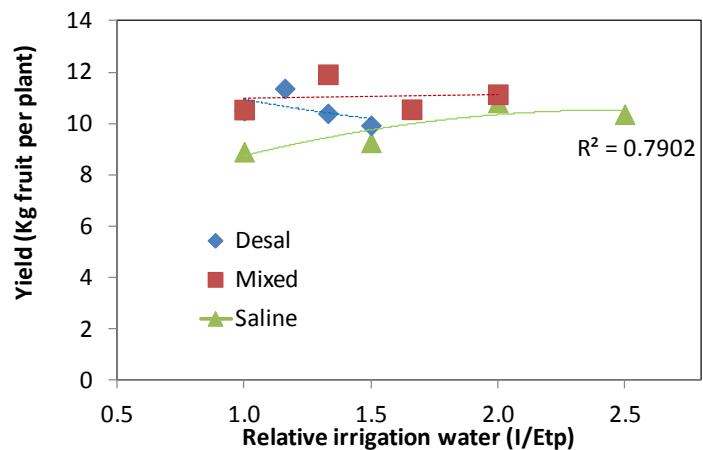
שמר על ריכוזי סידן ומגנזיום כמו במים המעורבבים אך היה עם ריכוז כלוריד ומוליכות חשמלית נמוכים (איור 7). ממוצע עונתי של איכות מי ההשקיה מוצגת בטבלה 5. היבול המסחרי המרבי של העגבניות הגיע לכ-12 קג/צמח (איור 8) וכ-25 טון/דונם (איור 9). באיור 9 אפשר לראות כי למרות שלא נמצא הבדל ביבול (פרי משווק) מרבי בין מים מותפלים ומים מעורבבים היה אפשר להגיע לזה בשני שליש מכמות המים. היבול המרבי במים מליחים היה נמוך בכ-15%. לא נמצאו הבדלים בין הטיפולים לגבי איכות הפרי.



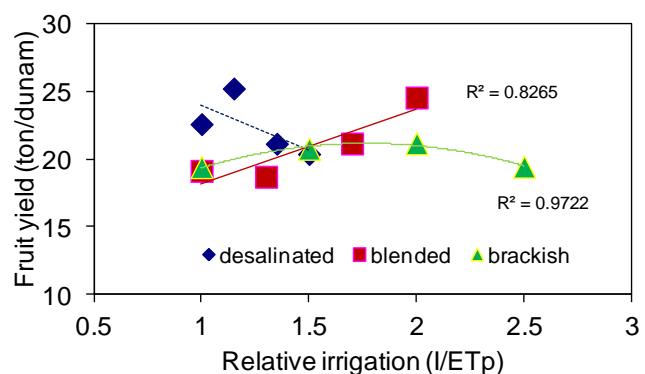
איור 7: מוליכות חשמלית (A), ריכוז כלורידים (B), ריכוז סידן (C) וריכוז מגנזיום (D) במי השקיה. ניסוי חצי מסחרי זוהר.

טבלה 5: איכות מי ההשקיה ממוצע לעונה בניסוי חצי מסחרי.

	EC (dS/m)	pH	NH ₄ (mg/l)	NO ₃	P	K	Ca	Mg	Cl	Na
Desalinated	1.04	5.23	1.16	4.70	0.30	2.16	0.75	0.76	1.76	1.62
Blended	1.69	6.59	1.25	5.14	0.39	4.37	0.66	1.37	6.56	4.62
Brackish	4.27	6.92	0.57	6.05	0.34	5.29	2.57	5.65	22.33	13.40



איור 8: יבול פרי לצמח כתלות במליחות מי השקיה ושיעור השקיה. דיגום של 2 צמחים מכל חלקה.



איור 9: יבול פרי ברמת החלקה כתלות במליחות מי השקיה ושיעור השקיה. קטיפה של חלקות שלמות.

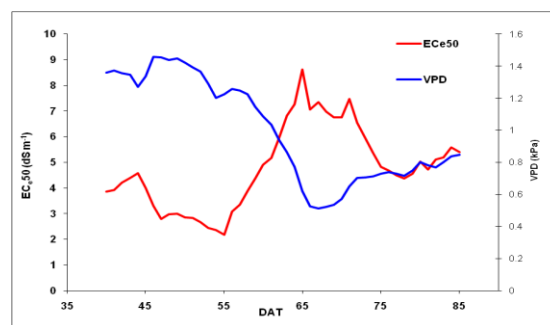
סימולציות נומריות

בדומה לעגבניות, חישובנו את פרמטר ה- EC_{e50} בנוסחה [1] בעזרת נתונים מניסוי הפלפל של 2009-2010 (ראה דו"ח שנתי 2009). נערכה השוואה בין ערכי EC_{e50} המחושב מנתוני טרנספירציה מ-8 טיפולי המליחות של תקופות של 10 ימים עם ממוצע ה-VPD של אותה התקופה בתוך החממה (איור 9). נמצאה קורלציה גבוהה בין ערכי EC_{e50} המשתנה ו-VPD.

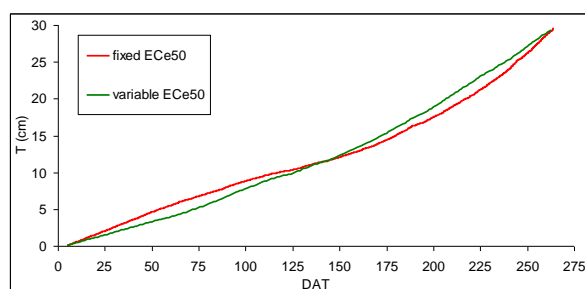
$$EC_{e50} = -4.2VPD + 8.9 \quad (R^2 = 0.7) \quad [2]$$

(Maas and Hoffman 1977) (1) הדגישו כי עמידות למליחות היא יחסית לתנאי אקלים בהם הגידול נחשף ולפי זה פרמטרים של ירידות ביבולים מוכרחים להילקח בחשבון עבור כל קבוצה של תנאים בנפרד. בדרך כלל מתייחסים לקבוצה של תנאים לאלה של עונה שלמה אך שינויים אקלימיים במשך עונות יכולים לגרום לשינוי בעמידות/רגישות הגידול. באיור 10 מוצגת סימולציה של טרנספירציה של גידול פלפל המושקה במים מליחים בעונת החורף בערבה (הדמייה על ידי HYDRUS-1D). הקו האדום מדמה EC_{e50} קבוע והקו הירוק טרנספירציה הנובעת מ- EC_{e50} שמשתנה לאורך העונה לפי ה-VPD (נוסחה 2).

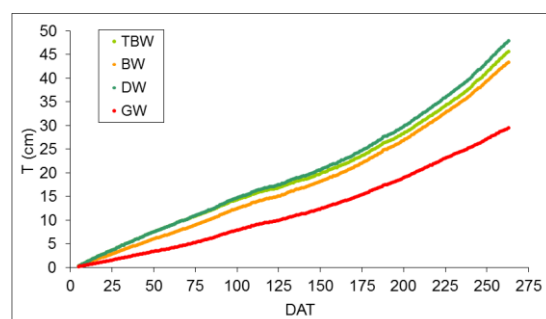
זמינותם של סוגי מים שונים מאפשרת השקיה של מים באיכויות שונות בזמנים שונים. אפשר עקרונית לשנות את שיעור הערבוב בין מים מליחים ומותפלים בכל עת. באיור 11 מוצגת טרנספירציה מחושבת של גידול פלפל המושקה במים מליחים (GW), מעורבבים (BW) מותפלים (DW) או מעורבבים-משתנים (TBW) כאשר ב-TBW ערך ה- EC_{e50} משתנה לפי משוואה 2 ומחושב בעזרת HYDRUS-1D. היחס בין סה"כ כמות מים עונתית מליחים ומותפלים שווה בין טיפולי BW ו-TBW. הטרנספירציה של טיפול ה-TBW היתה 25 מ"מ יותר מאשר של BW למרות של סה"כ מים מושקים היו שווים.



איור 9: פרמטר ה- EC_{e50} ו- VPD במשך תקופה של 50 יום. פלפל ליזימטרים גילת 2009.



איור 10: חיזוי של טרנספירציה (T) של פלפל בערבה בגידול חורף המושקה במים מליחים עם פרמטר EC_{e50} קבוע או משתנה.



איור 11: טרנספירציה של פלפל תחת שלוש מליחיות מי השקיה וטיפול של מליחות משתנה. סימולציה ב-HYDRUS-1D.

דיון ומסקנות

מליחות תמיסת הקרקע של 3.8 דס/מ גרמה לירידה בכ-50% בשיעור טרנספירציה של עגבנייה. השקיה במים מותפלים או מעורבבים גרמה לעליה של כ-15% ביבול פרי משווק בהשוואה למים מליחים של 3.2EC דס/מ. יבול מרבי התקבל בשיעורי שטיפה של כ-10% במים מותפלים וכ-50% במים מעורבבים או מים מליחים.

בקיץ הרגישות היחסית למליחות של עגבניות היתה גבוהה (EC_{e50} נמוך ו-P גבוהה) בחורף היתה ונמוכה. בסתיו ובחורף-אביב כאשר ה-VPD עלה (דרישה יותר גבוהה מים) ערכי EC_{e50} ירדו (רגישות למליחות גבוהה יותר). תופעה זו לא נצפתה בקיץ כאשר ה-VPD היה גבוה ודי קבוע לאורך העונה.