

**בחינת התגובה של תמרים מזן מג'הול לריכוזים שונים של מלח ובורון**  
**Date Palm (Medjool) response to salt and excess boron**

מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות ולצוות היגוי "ייעול השימוש במים" על ידי:  
יחזקאל מועלם- מדעי הקרקע והמים, הפקולטה למדעי החקלאות, המזון ואיכות  
הסביבה, רחובות. האוניברסיטה העברית בירושלים  
טריפּלר אפי- מדעי הקרקע והמים, הפקולטה למדעי החקלאות, המזון ואיכות  
הסביבה, רחובות. האוניברסיטה העברית בירושלים

Yechezkel Muallem, Department of Soil & Water Sciences, Faculty of Agriculture,  
Food and Environmental Sciences, POB 12, Rehovot. The Hebrew  
University, of Jerusalem [melaum@agri.huji.ac.il](mailto:melaum@agri.huji.ac.il)

Effi Tripler, Department of Soil & Water Sciences, Faculty of Agriculture, Food and  
Environmental Sciences, POB 12, Rehovot. The Hebrew University of  
Jerusalem [tripler@agri.huji.ac.il](mailto:tripler@agri.huji.ac.il)

2008

אדר תשס"ח      מרץ

**הממצאים בדו"ח זה הנם תוצאות ניסויים.  
הניסויים מהווים המלצות לחקלאים: כן, מותנה בהתייעצות עם החוקר**

**חתימת החוקר:** \_\_\_\_\_

## 1. תקציר

במהלך השנים האחרונות עוברים מטעי התמרים באזור הערבה להשקיה במים מליחים או במי קולחין שמקורם בעיר אילת. האחרונים מאופיינים ברמת בורון ( $B$ ) גבוהה, מעבר לריכוזים המוכרים כסבירים, עבור מרבית הגידולים. תנאי האקלים באזור צחיח זה מגבילים את שטיפת המלחים והבורון, ולכן הקרקעות מליחות ותכולת הבורון בהן גבוהה. בעבודה זו נבחנה ההשפעה של רמת המליחות וריכוז הבורון במי ההשקיה על יכולת תמרים מזהם מ'הול. נערך ניסוי בו גודלו 20 שתילי מג'הול בקרקע מקומית בליזימטרי שקילה במג'הול פ' ערבה דרומית ביטבתה. טיפולי המליחות והבורון במי ההשקיה כללו: 4 רמות מליחות: 0.5, 4, 8 ו-12  $\text{ds}\cdot\text{m}^{-1}$ , ו-5 ריכוזי  $B$ : 0.5, 2, 5, 20 ו-40 ppm. נערך מעקב יומי אחר האופוטורנספירציה ( $ET$ ), קצב הצימוח של הגוף והפרי וריכוזי ה- $B$  בצמח נמדדו מידי חודש. מימדי הפרי במועד הקטיפה היו דומים בכל הטיפולים הודות למשטר דילול פירות פרופורציוני לבימוסה הירוקה. נמצאו יחסים לינאריים בין היבול ( $Y$ ) וה- $ET$  בכל רמות המליחות וה- $B$ . פונקציית יצור דומה של התמר למים, במגוון רמות של מליחות ובורון במי ההשקיה, נמדדה בשנתיים האחרונות של המחקר. היבול וה- $ET$  ירדו, ככל שעלתה מליחות מי ההשקיה. קצב ירידה זה דעך באופן מעריכי בשלוש טיפולי ה- $B$  הנמוכים. לא נמדד ערך סף לתחילת השפעת המליחות. קבלת יבול ברמת מליחות  $EC_i=4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  (דומה למליחות מי מקורות בערבה הדרומית), השווה באיכותו לטיפול המליחות הנמוך ( $EC_i=0.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ), תתאפשר בתנאי שרמת היבול תקטן ב-45%. עליה עקבית של שיעורי ה- $ET$  נמדדה בשלוש שנות המחקר. מכאן סביר להניח, שהעצים טרם הגיעו לרמת ההתפתחות המרבית שלהם. ריכוז הבורון בעלים ירד באופן מעריכי עם המליחות. רמות ה- $ET$  הגבוהות במליחות הנמוכות גרמו להצטברות מוגברת שלו בעלים. במליחות גבוהות השפעת הבורון חלה רק בריכוזים גבוהים שלו, אם בכלל. ריכוזי הבורון בעלים שנמדדו באביב שמרו על ערכים יציבים בתקופת המחקר. ריכוז הבורון המצטבר בעלים בחדשי הקיץ גבוה פי 1.88 מריכוזו בחורף. הסיבה לכך נובעת מרמות  $ET$  גבוהות בקיץ ונמוכות בחורף. נראה כי יישום מנות המים כפי שנמדדו בניסוי זה ושיימדדו בעתיד עשוי ליעיל את השימוש במים, ע"י השקיה בכמויות נמוכות מהמקובל כיום. בכך תקטן מצוקת המים ותתאפשר הרחבה עתידית של נטיעת תמרים. על כן, המשך של מחקר רב-שנים זה הינו כדאי עקב החיסכון האפשרי במים ובדשנים וקיומה של חקלאות בת קיימא ומשגשגת בערבה הדרומית.

## 2. מבוא

ריכוז גבוה של מלחים גורם לירידת העומד האוסמוטי של המים בקרקע, לקצב טרנספירציה נמוך (deWit 1958), ומכאן לפחיתה ביבולים ולהגברת הסכנה של זיהום מי התהום. סכנה כזו קיימת גם בשימוש במי קולחין המכילים ריכוזים גבוהים של מלח ובורון. תתכן גם רעילות ספציפית של יונים נוספים בגידולים רגישים. בנוסף, עלולים להתרחש שינויים בתכונות ההידראוליות של הקרקע. ריכוזים נמוכים של בורון בתמיסת הקרקע חיוניים לצמח, אך המעבר לריכוז הרעיל לצמחים מהיר (Keren and Bingham 1985). הרעילות ספציפית לגידול, והיא מתבטאת בצריבות עלים ובירידה בטרנספירציה וביבול.

החל מאמצע שנות ה-80 ישנה עלייה מתמדת בהיקף השטחים של מטעי התמרים, רובם מזהם מ'הול. כיום נטועים כ-8,500 דונם תמרים באזורים מדבריים. באזור הערבה הדרומית קיימים כ-55,000 עצי תמרים מזהם מ'הול, כ-65% מהם (2,800 דונם) מושקים במי קולחין שמקורם בעיר אילת. עד לאחרונה ריכוז הבורון במים אלה

היה 1.2 ppm. זאת כי מקור מי השתיי ה באילת הינו במתקן התפלה של מי ים. לאחרונה, עוברים מי ההתפלה טיפול נוסף לסילוק בורון, וריכוזו בקולחים ירד ל 0.6 ppm. מליחות מי הקולחים היא  $2.3 \text{ dS m}^{-1}$ . התמר נחשב לגידול עמיד למליחות (Fur and Armstrong, 1962; Maas, 1986) (1986) ציין, כי מליחות ערך הסף ממנה חלה ירידה ביבול היא  $4 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ . עבודות מאוחרות יותר הראו שעץ תמר עמיד לריכוזי מלח גבוהים הודות להתאמה אוסמוטית וליכולת לרכז Na ו-Cl בעלים (Hassan, 1993; Aljaburi, 1996). מאירי וח' (1993; 1997) הראו ירידה בקצב התארכות העלים והלולב, ובשטח חתך הידה עם עליית מליחות תמיסת מי ההשקיה. בנוסף, חוקרים אלה דיווחו על עלייה באיכות הפרי (מג'הול) עם עליה במליחות תמיסת מי ההשקיה וירידה במקדם ההשקיה. בחיפוש נרחב במאגרי מידע לא נמצאה עבודה על תגובת תמרים לבורון, פרט לנתוני מעבדת המליחות בריברסייד המעריכה את התמר כעמיד מאד. אולם זאת בהתבסס על תצפיות כלליות, ולא על ניסויים מבוקרים.

החל מאמצע שנות ה-30 נעשו עבודות רבות (בארץ ובחו"ל) העוסקות בהשפעת מליחות מי ההשקיה על זני תמרים שונים. (Tripler et al. (2007 דווחו על רגישות גבוהה של התמר (שתילי תרבות רקמה בגיל 3 שנים) למליחות לעומת דיווחים קודמים בספרות. ההבדלים נמדדו בקצב הפחיתה ביבול עם עליית מליחות התמיסה:  $-0.093$  בעבודה זו לעומת  $-0.036$  (Maas and Hoffmann 1977). באותו מחקר לא נמצא ערך סף לתחילת השפעת המליחות, לעומת ערך מליחות הסף שצויין לעיל. כמו כן, תגובת האופורנספירציה והיבול לבורון הייתה אקספוננציאלית יורדת. שיעור ירידה גבוה בריכוזי הבורון הנמוכים, ונמוך כאשר ריכוז הבורון במי ההשקיה עלה מ  $20 \text{ ppm}$  ל  $40 \text{ ppm}$  בורון. השפעת הבורון על האופורנספירציה והיבול של התמר קטנה עם העלייה במליחות. מטרת עבודה זו הייתה לבחון את שיעורי היבול (ביומסה טריה עלוותית- FBM ופרי טרי- FY) והאופורנספירציה (ET) של עצי תמר (*dactylifera L., cv. Medjool Phoenix*) המושקים במים בטווח רחב של רמות מליחות וריכוזי בורון.

### 3. חומרים ושיטות

#### 3.1 מערך הליזימטרים

עשרים שתילי תמר (מג'הול), מתרבות רקמה, נשתלו בקרקע מקומית (Arava sandy loam) בשדה ליזימטרים (20 ליזימטרים בנפח  $1 \text{ m}^3$ ) בסתיו 1999 בתחנת הניסיונות ביטבתה. טיפולי המליחות והבורון החלו כעבור שנה ממועד השתילה, לאחר ששתילי התמר פיתחו מערכת שורשים ועלווה. הטיפולים כללו ארבע רמות שונות של מלח וחמש רמות של בורון. רמות המליחות במי ההשקיה היו: 0.5, 4, 8, ו- $12 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ . תמיסות המלח הוכנו מ-NaCl ו- $\text{CaCl}_2$  (ביחסים אקויוולנטים שווים בין יוני הסידן והנתרן). ריכוזי הבורון במי ההשקיה: 0.3, 2, 5, ו- $20 \text{ ppm}$ .

בחורף 2002-2003 הוגדל נפחם של הליזימטרים ל-  $2.5 \text{ m}^3$ . במקביל, הם הועתקו לאתר חדש במרווחי הצבה סטנדרטיים הנהוגים במטעי תמרים מסחריים ( $8 \times 8 \text{ מ}^2$ ). מערכת הליזימטרים איפשרה שליטה בעומד המטריצי בתחתית הליזימטרים בתחום שבין רוויה לקיבול שדה (Ben-Gal and Shani, 2002). בינואר 2005 ובינואר 2007 הועתקו, בהתאמה, העצים בטיפולים שכללו את רמות המליחות הנמוכות ( $0.5, 4 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ ) והעצים המושקים במים במליחות חשמלית של  $8 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ , ממיקלים בנפח של  $2.5 \text{ מ}^3$  לנפח  $10 \text{ מ}^3$ . לצורך כך, נבנו ליזימטרים עמוקים ( $1.8 \text{ m}$ ) ובעלי שטח פני קרקע גדול (קוטר של  $2.8 \text{ m}$ ), כדי למתן את השפעת השפוט, ללא הגבלת נפח

בית השורשים ועל-מנת ליצור פרופיל רטיבות ומליחות דומה לזה המצוי בשדה . מיכל איסוף הנקז בתחתית נשקל יחד עם מכלול הליזימטר (במת שקילה עליה מונחים מיכל מלא בקרקע וצמח ) , הערכת כמות הנקז התקבלה מהפרש משקל הליזימטר לפני ריקון מיכל הנקז ולאחריו . לכל ליזימטר פותח אלגוריתם לחישוב הניקוז.

מערכת בקרת ההשקיה אפשרה אספקת תמיסת השקיה ייחודית לכל ליזימטר תוך שליטה על ריכוז המלח והבורון. מערכות הניקוז והשקילה אפשרו עריכת מאזן מים רציף ומאזן מלחים יומי עבור כל אחד מן הליזימטרים .

### 3.2 ניהול ההשקיה

כמות ההשקיה חושבה בתדירות יומית, כך שמי הנקז היוו שליש מכמות מי ההשקיה של יום המחר. ההשקיה התבצעה 3-5 פעמים ביממה בשעות האור , ואיסוף מי הנקז התבצע אחת ליום, המדידות היומיות כללו אופטרנספירציה (ET) מכל אחד מהליזימטרים ומדידת המוליכות החשמלית של מי הנקז.

מאזן מסת המים היומית חושב עבור כל טיפול לפי משוואה 1:

$$ET = I - D - dW \quad (1)$$

כאשר  $I$  הינה כמות מי ההשקיה (kg),  $D$  - כמות מי הנקז (kg) ו- $dW$  הוא השינוי היומי במשקל הליזימטר (kg), השווה לשינוי באוגר המים בליזימטר .

### 3.3 דיגום המים, הקרקע, העלים, השורשים והפרי

פרופיל הקרקע (גלעין קרקע) נדגם באמצעות שימוש במקדח כוס משונן בקצהו מתוצרת Eijkelkamp (Agrisearch Equipment, NL). הדיגום בוצע לעומק של כ- 60 ס"מ, במקטעים של 15 ס"מ עומק לכל דוגמא. הקרקע נשקלה מיד לאחר הדיגום ולאחר יבוש בתנור ב- $105^{\circ}C$  לקביעת תכולת הרטיבות של המדגם. דיגום הקרקע נעשה מידי אפריל ונובמבר. דיגום העלעלים נעשה בתדירות זהה, מעלעלים בעלי מפנה דרומי המצויים בזווית  $45^{\circ}$ .

המוליכות החשמלית של מי הנקז נמדדה על ידי אלקטרודת מוליכות מתוצרת LTH Electronics (BC9), בעלת רגישות של  $\pm 1\%$  בטווחי המוליכויות שנמדדו. תמיסת הקרקע מוצתה במיצוי של העיסה הרוויה ( U.S Salinity Lab. Staff, 1954). העלים שנדגמו נשטפו במי ברז, ויובשו בתנור  $60^{\circ}C$  למשך שבוע. תמיסת המיצוי של החומר היבש התקבלה לאחר כתישה ואיכול בחומצה חנקתית. מדידת ריכוזי היונים העיקריים בקרקע, במים , בשורשים ובעלעלים נעשתה בשיטות המקובלות: ריכוזי הנתרן והאשלגן נמדדו באמצעות פוטומטר להבה, הסידן - בספקטרומטר בליעה אטומית והכלוריד - בכלורידומטר. ריכוזי הבורון בקרקע, במים , בשורשים ובעלים נמדדו באמצעות שיטת Azomethine-H (Bingham,1982). ריכוזי הבורון בעלים מבוטא במ"ג בורון לק"ג חומר יבש. משטר הדילול (כמות אשכולות הפרי לעץ) היה יחסי לתוספת העלים השנתית של כל עץ. לכל שני עלים חדשים שנוספו ב-2006 הושאר אשכול אחד. מספר הפירות בכל אשכול היה קבוע, ועמד על 200. קצב יציאת עלים חדשים נמדד פעמיים בשנה. קצב התארכות הלולב, מספר תפרחות וקצב הגידול של הפרי נמדדו מידי שבוע . הפרי נגדד באוגוסט- ספטמבר 2007. היבול של כל ליזימטר נשקל ונספר, בכדי לחשב את משקל הפרי הממוצע. באוקטובר 2007 בוצע גיזום עלים עד לזווית של  $45^{\circ}$  לגזע. מספר העלים ומשקלם נמדדו.

## 4. תוצאות

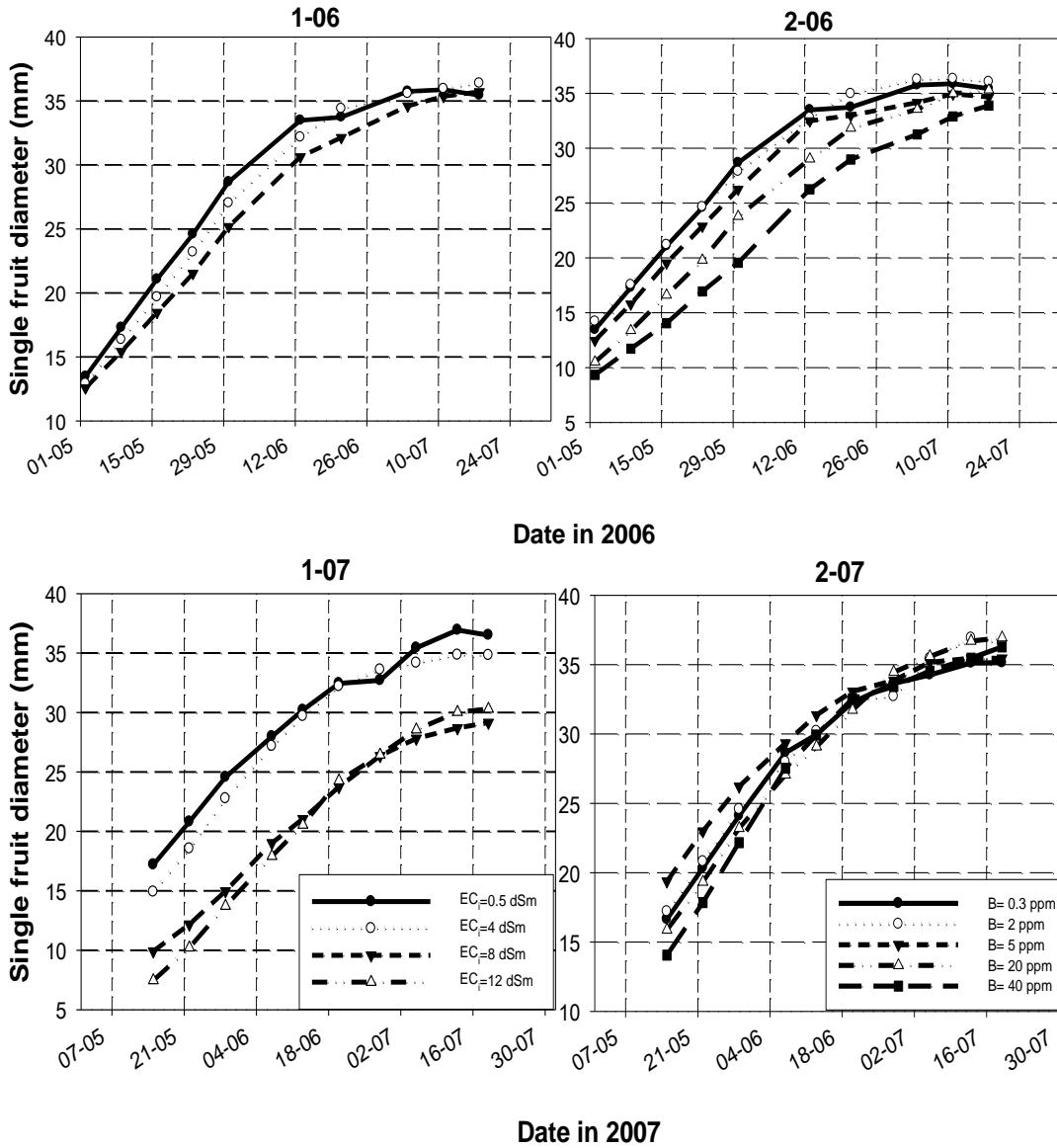
### 4.1 התפתחות הפרי והנוף

קצבי הגידול של רוחב הפרי עם הזמן, ב- 2006 וב-2007, מוצגים באיור 1. כפי שהוסבר בפרק החומרים והשיטות, משטר הדילול בכל טיפול היה מספר אשכולות יחסי לתוספת העלים בתום על עונת גידול. קוטר פירות התמר ב- 2006 הושפע מרמת המליחות של מי ההשקיה בשלב הגידול המואץ (איור 1, 1-06). לדוגמה, ב- 23.05.2006 נמדד פרי בקוטר 28.67 מ"מ בטיפול  $EC_i=0.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , 27.01 מ"מ במליחות של  $4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  ו- 25.18 מ"מ במליחות של  $8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ . כלומר חלה ירידה בקוטר הפירות עם העלייה במליחות. החל מתחילת יולי ועד סמוך לקטיף, משטר הדילול הניב מימדי פרי דומים בטיפולי המליחות השונים. בנוסף, איכות הפירות הייתה דומה בכל הטיפולים. איור 1 (2-06) מדגים מימדי פרי דומים בטיפולי הבורון שונים ברמת המליחות הנמוכה ( $EC_i=0.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ) לאחר הדילול. בדומה לתופעה שהודגמה באיור 1 (1-06), רוחב הפרי קטן עם העלייה בריכוז הבורון במי ההשקיה, בשלב הגידול המואץ. מימדי הפרי בכל רמות הבורון היו דומים בסמוך לקטיף. דגם גידול הפירות ב- 2007, שנמדד בארבע רמות מליחות מי ההשקיה ברמת בורון של 0.3 מ"ג/ל מראה כי הפירות הגיעו למימדיהם הסופיים באמצע יולי (איור 1, 1-07). בשנת 2006 הפירות הגיעו לגודלם הסופי שבועיים קודם לכן. ב- 2007 מימדי הפירות בשני טיפולי המליחות הגבוהים ( $8, 12 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ) היו באופן עקבי נמוכים בכ- 20% ממימדי הפירות בשתי רמות מליחות מי ההשקיה הנמוכות ( $0.5, 4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ). קוטר הפירות הסופי בשתי רמות מליחות מי ההשקיה הנמוכות ב- 2007 היה דומה לזה שנמדד ב- 2006. השפעת רמות הבורון במי ההשקיה על קוטר הפרי בכל תקופת ההתפתחות הייתה זניחה ב- 2007 (איור 1, 2-07). קוטר הפירות בטיפולים אלה היה דומה לקוטר שנמדד ב- 2006. כמות הצימוח הווגטיבי (מבוטא בכמות העלים שנוספה ב- 2006) כפונקציה של רמת מליחות מי ההשקיה מוצג באיור 2. עלייה במליחות מי ההשקיה גרמה לירידה בתוספת העלים. קצב הירידה כומת על ידי חישוב משוואת הישר מתוך כלל המדידות המוצגות באיור זה. משוואה זו מורה על ירידה של 2.4 עלים עם הגידול ביחידה אחת של מליחות מי ההשקיה. כמות העלים שהוספה במהלך 2007 הייתה דומה לכמות שנמדדה בשנה הקודמת בכל הטיפולים.

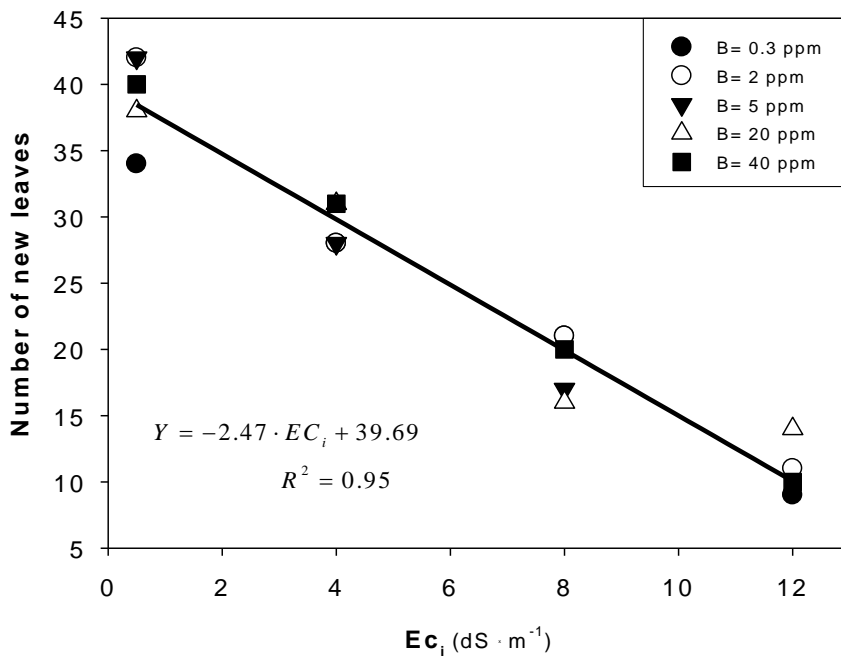
### 4.2 אופוטורנספירציה ויבול

מהלך ה-ET של התמרים כתלות ב מליחות מי ההשקיה בריכוזי בורון שונים בשלוש שנות המחקר היה דומה (איור 3). ה-ET ירדה באופן תלול ברמות מליחות מי ההשקיה הנמוכות ( $0.5 < EC_i < 8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ). קצב הירידה של ה-ET קטן ברמות הגבוהות ( $EC_i > 8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ). דגם התגובה של תמרי מגהול למליחות קמור ביחס לראשית הצירים. השפעת רמות הבורון במי ההשקיה על ה-ET נמדדה ברמה הנמוכה של מליחות מי ההשקיה. ה-ET ירדה בכ- 12% בריכוז בורון של 20 ppm ובכ- 45% בריכוז בורון של 40 ppm. לא נמצאה השפעה של הבורון על ה-ET בצמחים שהושקו במים בעלי מוליכות חשמלית של 4, 8 ו-  $12 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ . ערכי ה-ET ב-2006 ברמות מליחות מי השקיה של 0.5, 4, 8 ו-  $12 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  היו 168%, 197%, 161% ו- 90%, בהתאמה, מהערכים המקבילים שנמדדו ב- 2005. כלומר, צריכת המים השנתית של עצי התמר גדלה בטיפולים בהם  $0.5 < EC_i < 8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , ואילו בטיפולי המליחות הגבוהה ( $12 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ) הצריכה ירדה במעט. בשנת 2007 ערכי ה-ET ברמות מליחות מי ההשקיה של 0.5, 4, 8 ו-  $12 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  היו 124%, 161%, 158% ו- 124%.

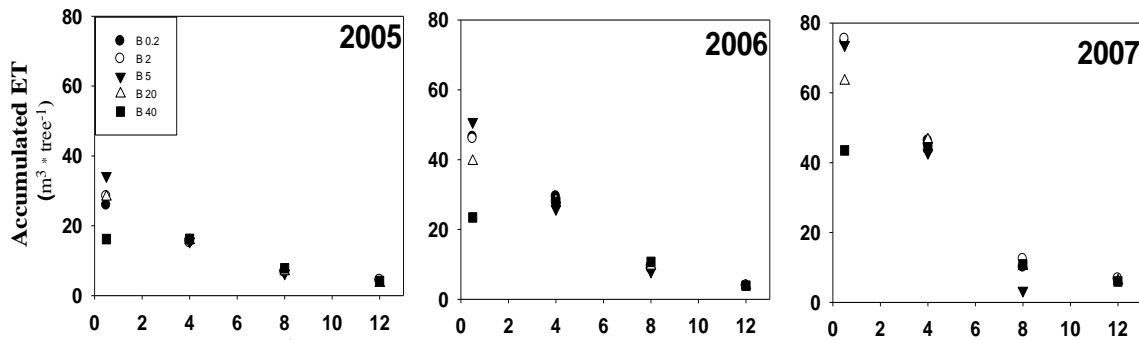
167% מהערכים שנמדדו ב- 2006, בהתאמה. כלומר עליה עקבית של שיעורי ה-ET נמדדה בשלוש השנים העוקבות. מכאן סביר להניח, שהעצים טרם הגיעו לרמת ההתפתחות המרבית שלהם.



**איור 1.1** - א. קצב גידול קוטר הפרי ב-2006 וב-2007, בהתאם לרמת מליחות מי ההשקיה ( $EC_i$ ), ברמת הבורון הנמוכה ( $B_i = 0.3 \text{ ppm}$ ). ב. התפתחות קוטר הפרי עם הזמן בהתאם לריכוז הבורון במי ההשקיה ברמת המליחות הנמוכה ( $EC_i = 0.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ).



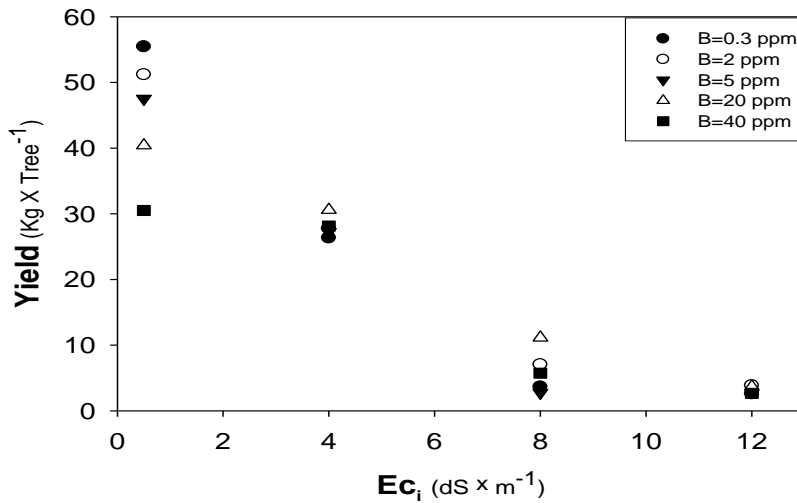
איור 2. מספר העלים שנוספו לכל עץ ב- 2006 כפונקציה של מליחות מי ההשקיה ( $EC_i$ ). התווים מסמלים ריכוזי בורון שונים במי ההשקיה.



איור 3. האופורנספירציה המצטברת בשלוש שנות המחקר, כתלות במליחות מי ההשקיה ( $EC_i$ ). תווים שונים מסמלים ריכוזי בורון שונים במי ההשקיה.

יבול הפרי של העץ ב- 2007 כפונקציה של רמת מליחות מי ההשקיה בהתאם לטיפול הבורון השונים מוצגים באיור 4. היבול יורד באופן תלול במעבר מ-  $EC = 0.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  ל-  $8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ . מאיור זה עולה כי השקיה במים שמליחותם דומה למליחות המים המסופקים למטעי הערבה הדרומית ( $4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ), גורמת לירידה של 45% ביבול. היבול במליחות  $8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  לא היה שונה מהיבול שהתקבל ברמת המליחות הגבוהה בניסוי ( $12 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ). השפעת הבורון מתבטאת בטיפול בו מליחות מי ההשקיה  $0.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ . בטיפול זה, כאשר ריכוז הבורון במי ההשקיה הוא 40 ppm היבול הינו 60% מהביקורת. ברמות מליחות גבוהות יותר השפעת הבורון על היבול קטנה וממוסכת על ידי השפעת המליחות.

באיור 1 הוצגו מימדי פרי דומים בטיפול מליחות מי השקיה שונים. מכאן ולפי איור 4, קבלת יבול ברמת מליחות  $EC_i = 4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  השווה באיכותו לטיפול המליחות הנמוך ( $EC_i = 0.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ), תתאפשר בתנאי שרמת היבול תקטן ב- 45%.



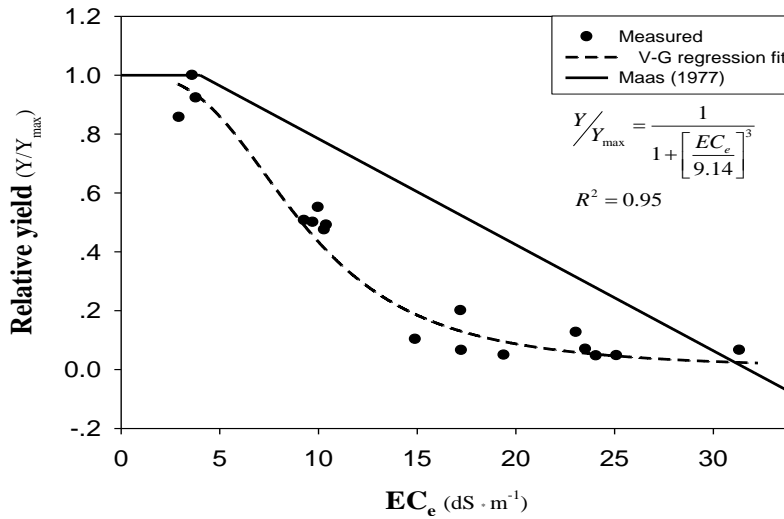
**איור 4.** יבול פירות תמרים מזן מג'הול בשנת 2007, כתלות ברמת המליחות של תמיסת ההשקיה ( $EC_i$ ) ברמות בורון (B) שונות.

יבול פירות יחסי כתלות במליחות העיסה הרוויה של הקרקע ירד באופן חד במליחות נמוכות, ומנקודת הפיתול, שהינה מליחות העיסה המניבה מחצית מהיבול המכסימלי ( $EC_{e50} = 9.14 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ), קצב ירידת היבול קטן עם העליה במליחות (איור 5).

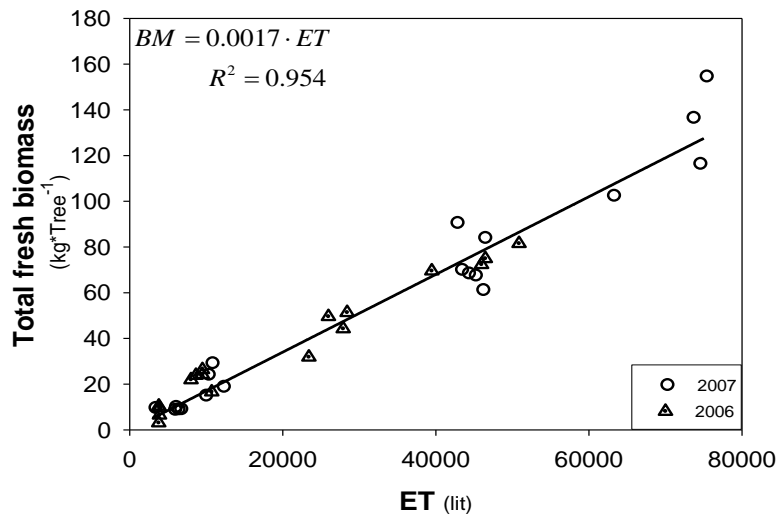
השוואה בין תגובת היבול למוליכות החשמלית של מיצוי העיסה הרוויה לבין הדיווחים של Maas (1986) ו-van Genuchten (1983) (V-G) מוצגת גם כן באיור 5. Mass סווג את התמר בתור גידול עמיד למליחות, עם ערך סף (Threshold) של  $4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  ושיפוע של 0.036. על פי התוצאות בעבודה זו התמר רגיש יותר למליחות בהשוואה למחקרים המוזכרים בפרק המבוא. מלבד הדימיון בין שני המודלים הקיים בנקודות הקצה, קיימים הבדלים בצורת העקום ובערכי  $EC_{e50}$ . העקום של M מורה על ירידה לינארית של היבול היחסי עם עליית מליחות העיסה ובנוסף, ה-  $EC_{e50}$  גבוה מזה שהותאם למדידות ממודל V-G ( $17.9 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  בהשוואה ל-  $9.14 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , בהתאמה).



היחסים בין  $ET$  ובין הביומסה הכוללת (משקל הפירות והעלים שנקטפו) של התמר ב- 2006 וב- 2007 לינאריים (איור 6). משוואת הרגרסיה הלינארית שחושבה בין שני משתנים אלה מורה כי על מנת לייצר 1 ק"ג של ביומסה טריה, רמת הדיות של העץ צריכה לעמוד על 588 ליטר בשנה. פונקציית ייצור זו נמצאה עבור שתי שנות המדידה של היבול. מכאן ניתן להסיק שפונקציית ייצור הפרי של עצי התמר המושקים במגוון רחב של מליחויות מים ורמות בורון, מצויה בשווי משקל. אנו סבורים כי נדרשות מספר שנים נוספות בכדי לאישש ממצאים אלה.



**איור 5.** יבול פירות יחסי (היבול של טיפול מסויים מחולק ביבול המכסימלי שנמדד בניסוי) ב- 2007, כפונקציה של רמת המליחויות של העיסה הרוויה ( $EC_e$ ). העקום הרציף מחושב לפי המודל של Maas (1986) והעקום המקווקו חושב באמצעות רגרסיה למודל של Van Genuchten (1983).

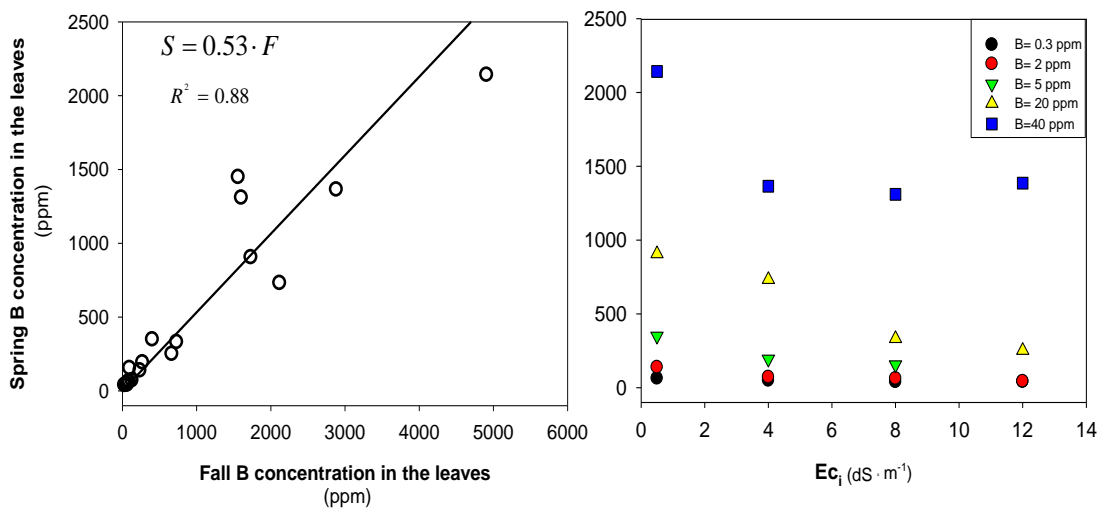


**איור 6.** משקל הביומסה הטרייה (יבול ועלווה) כתלות באופוטורנספירציה בכל שנה.

#### 4.3 ריכוזי היונים בעלים ובפרי

ריכוז הבורון בעלים כפונקציה של מליחות מי ההשקיה, ברמות בורון שונות מוצג באיור 7 מימין. מאיור זה ניתן ללמוד על כך שתכולת הבורון בעלים עלתה ככל שריכוז הבורון במי ההשקיה גדל. תופעה זו קיימת עבור כל טיפולי המליחות. עבור שלושת טיפולי הבורון הגבוהים (5, 20 ו-40 ppm) תבנית התגובה למליחות הינה דעיכה אספוננציאלית עם העליי ה במליחות. כלומר, אפקט המליחות על הצטברות הבורון בעלים קטן עם העליי ה במליחות. ירידה חדה בריכוז הבורון בעלים בעת עליית מליחות מי ההשקיה מ- 0.5 EC ל- 8 EC נראית בטיפולים בהם ריכוז הבורון במי ההשקיה הוא 40 ppm. לא נמדד הבדל בתכולת הבורון בעלים בקרב שני טיפולי המליחות הגבוהים (8 ו-12  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ).

היות שעלייה במליחות מי ההשקיה גרמה לירידה באופוטורנספירציה וביבול (איורים 3, 4-1), ניתן להסיק מאיור 7 שהירידה בתכולת הבורון בעלים עם עליית המליחות נובעת מירידה בכמות הבורון הנקלטת על ידי התמר. כלומר כמות הבורון הנקלטת יורדת עקב שיעור אופוטורנספירציה נמוך. באיור 7 (משמאל) מוצגת השוואה בין ריכוז הבורון באביב ובסתיו 2007. בהתאם לשיטות ולחומרים בהן השתמשנו לדיגום העלים ומדידת ריכוז הבורון בהם, העלים מהם נדגמו העלעלים באביב ממרכז הנוף התבגרו וירדו אל תחתית הנוף. בסתיו נדגמו עלעלים מעלים שהיו בצמרת באביב. על-כן, רמות הבורון באביב משקפות את הצטברותו בחודשי החורף והרמות בסתיו משקפות את הרמות בקיץ. מאיור זה ניתן ללמוד על כך שריכוז הבורון המצטבר בחודשי הקיץ גבוה פי 1.88 מריכוזו בחורף. הסיבה לכך נובעת מרמות ET גבוהות בקיץ ונמוכות בחורף. לא נמצא מתאם בין ריכוזי היונים העיקריים בקרקע (נתרן, סידן, מגניזיום וכלוריד) ובין שילובי המליחות ורמות הבורון במי ההשקיה.



איור 7. ימין: ריכוז הבורון בעלים כפונקציה של מליחות מי ההשקיה, ברמות בורון שונות. התווים מסמלים ריכוזי בורון שונים במי ההשקיה. שמאל: ריכוז הבורון בעלים באביב ובסתיו 2007. העקום מייצג את המתאם הליניארי שהושב.

## 6. מסקנות

דיווח זה מסכם את שלוש שנות המחקר. בעבודה זו נלמדה ההשפעה של ריכוזים שונים של מלח ובורון על יבול, אוופוטנספירציה, ריכוזי הי וניס העיקריים ו ריכוזי הבורון בצמח ובקרקע. עליה עקבית של שיעורי ה-  $ET$  נמדדה בשלוש השנים העוקבות. מכאן, סביר להניח, שהעצים טרם הגיעו לרמת ההתפתחות המרבית שלהם, ושנפחם של מיכלי הליזימטרים איננו מגביל את השימוש במים של העצים הגדלים בהם ואת ההתפתחותם. כלומר, ניתן להמשיך לבחון את ההשפעה ארוכת הטווח של מליחות מי ההשקיה ורמות הבורון בהם על עצי תמר בשנים הבאות. התמר (מזן מג'הול) נמצא רגיש למליחות. דגם תגובת היבול והאוופוטנספירציה למליחות מי ההשקיה ולמליחות מי הנקז דומה. ירידה חדה הן בטרנספירציה והן ביבול מתחילה החל ברמת המליחות הנמוכה. קצב הירידה מתמתן במליחות גבוהות. משקל הפירות וקוטרן היה דומה בכל הטיפולים הודות למשטר הדילול של הפירות שהיה פרופורציוני לקצב הצימוח. לפיכך, על מנת להגיע ליבול איכותי ברמת מליחות דומה לזו של "מי קו" בערבה הדרומית, נדרש "לשלם" בפחת יבול של 54%.

פונקציית ייצור הביומסה נמצאה דומה עבור 2006 ו-2007. מכאן ניתן להסיק שפונקציית ייצור הפרי של עצי התמר המושקים במגוון רחב של מליחות מים ורמות בורון, מצויה בשווי משקל. אנו סבורים כי נדרשות שנים נוספות בכדי לאשש ממצאים אלה. לא נמצא שהתמר רגיש לבורון מבחינת קצבי גידול וטרנספירציה. ברמת מליחות מי ההשקיה הנמוכה נמדדה השפעה שלילית של הבורון, המתבטאת בריכוזי בורון גבוהים ולא שכיחים בממשק גידול חקלאי.

הבורון מתרכז בעלים בהתאם לרמת האוופוטנספירציה של העלה הבודד של התמר. ריכוזי הבורון בעלים בעונות מקבילות דומה. ריכוזי הבורון המצטבר בחדשי הקיץ גבוה פי 1.88 מריכוזו בחורף. הסיבה לכך נובעת מרמות  $ET$  גבוהות בקיץ ונמוכות בחורף.

ברמות מליחות מי השקיה גבוהות ( $EC_i = 8, 12 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ ) לא נמדדו בעלי התמר רמות בורון שונות בין טיפולי השונים. הריכוזים הנמוכים של נתרן, סידן וכלוריד בעלים, לא היו במתאם כלשהו עם הטיפולי השונים של המליחות והבורון. תוצאות דומות התקבלו על ידי Furr and Armstrong (1962), Furr et al. (1966), Furr and Ream (1968). נראה שהתמר אינו קולט יונים אל ה ביחס לריכוזיהם בקרקע, אלא שומר על ריכוז קבוע של כל אחד מהם בעלים. סביר להניח שסלקטיביות זו מהווה חלק ממנגנון העמידות של התמר לרעילות ספציפית של יונים אלה בעקת מלח.

מחקר זה מתנהל מ- 2000 ועד היום. במחקר זה הושקעו משאבים אנושיים, טכניים וטכנולוגיים רבים. עקב היות התמר עץ המתפתח בקצב איטי מבחינת ייצור ביומסה ושימוש במים, קשה יהיה לחזור על ניסוי דומה בעתיד. העצים הגדלים בליזימטרים טרם הגיעו לניבה מלאה וצריכת המים שלהם עולה בהתמדה. הביקוש למים להשקיית מטעי תמרים בערבה עולה על סך ההיצע מחברת המים הלאומית ומאגודת המים המספקת מי קולחין מאילת. ההכנסה השנתית של מטעי התמרים בערבה הדרומית הינה 15 מיליון דולר. קיימים מספר משקים שפרנסתן שעונה בעיקר על תמרים. ניתן להעריך מכאן כי כל מ"ק של מים להשקית תמרים מניב הכנסה של \$2.7. לאור זאת ולנוכח ההרחבה המתמדת של מטעי התמרים בערבה, נראה כי יישום מנות המים כפי שנמדדו מניסוי זה ושיימדדו בעתיד עשוי לייעל את השימוש במים, ע"י השקייה בכמויות נמוכות מהמקובל היום. בכך תקטן מצוקת המים ותתאפשר הרחבה עתידית של נטיעת תמרים. על כן, המשך של מחקר רב- שנים זה הכרחי עקב החיסכון האפשרי במים ובדשנים וקיומה של חקלאות משגשגת ברת קיימא בערבה הדרומית.

## מראי מקום

- טריפלר א. 2004. תגובת שתילי תרבויות של תמרים מזן מג'הול למליחות ולבורון. עבודת גמר – הפקולטה למדעי החקלאות, המזון ואיכות הסביבה. האוניברסיטה העברית. ירושלים.
- מאירי א., ראובני ע., לרנר ח., שרבני י., זיידל א., סולומון א., 1993. השפעת מי השקיה על הגידול והניבה של עצי תמר דו"ח לשנים 3-1991. דו"ח מחקרים, מו"פ חקלאות בקעת הירדן.
- מאירי א., ראובני ע., לרנר ח., סולומון א., יששכר י., רוזנר מ., 1997. תגובת הצימוח, הניבה ואיכות הפרי של תמר לעקות מלח ומים כבסיס להשקייה אופטימלית במים שפירים ומליחים. דו"ח מחקרים, מו"פ חקלאות בקעת הירדן, 1996-1997.
- שני א., טריפלר א., בן-גל א., 2004. בחינת התגובה של תמרים מזן מג'הול לריכוזים שונים של מלח ובורון. דוח מסכם לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות ולצוות היגוי "ייעול השימוש במים".
- Aljiburi, H.J., 1996. Effects of salinity and gibberellic acid on mineral concentration of date palm seedlings. *Fruits*. 51:429-435. Elsevier, Paris.
- Ben-Gal, A., and U. Shani, 2002. A rockwool wick drain apparatus for control of soil water conditions in lysimeters. *Plant and Soil* 239(1): 9-17.
- Bingham F. T., 1982. Boron. In *Methods of Soil Analysis*. Ed. A L. Page. pp 431-447. Am. Soc. Agron., Madison, WI, USA.
- Furr, J.R., and W.Jr. Armstrong, 1962. A test for salt tolerance of mature Halawy and Medjool date palm. *Date growers inst.* 39:11-13.
- Hassan, M.M, and I.M. El-Samnoudi, 1993. Effect of soil salinity on yield and leaf mineral content of date palm trees. *Egypt J. Hort.* 20:315-322.
- Keren, R., and Bingham, F.T., 1985. Boron in water, soils and plants, In R. Stuart (ed.) *Advances in Soil Science*. Volume 1. Springer-Verlag. New York. pp 229-276.
- Maas E.V., 1986. Salt tolerance of plants. *Appl. Agric. Res.* 1: pp 12-26.
- Tripler E, Ben-Gal A., Shani U. (2007) Consequence of salinity and excess boron on growth, evapotranspiration and ion uptake in date palm (*Phoenix Dactylifera L.*, cv. Medjool). *Plant and Soil*. 297:147-155
- US Salinity Laboratory Staff. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. US Dept. Agric. Handbook. 60.
- deWit, C.T., 1958. Transpiration and Crop Yield. Verslag. Van Landbouck, Onderzoek No. 64. 6. 88 p.

<b>מטרות המחקר לתקופת הדו"ח תוך התייחסות לתוכנית העבודה.</b>
לימוד ההשפעה של השקיה במים המכילים מלחים ובורון על ההתפתחות, צריכת המים, היבול הכללי, יבול הפרי ואיכות הפרי של תמר מג'הול. היות ולימוד התגובה של עצי תמר איטי ותלוי בגיל העץ, התרכזה העבודה בשלב מחקר זה בלימוד צריכת המים, התפתחות הפרי, הביומסה והיבול הכללי.
<b>עיקרי הניסויים והתוצאות שהושגו בתקופה אליה מתייחס הדו"ח.</b>
(1) התמר (מג'הול) נמצא רגיש למליחות. הירידה הן בטרנספירציה והן ביבול (ביומסה) מתחילה החל ברמת מליחות נמוכה של $0.5 \text{ ds}\cdot\text{m}^{-1}$ .
(2) קבלת פרי איכותי בעצים מושקים במים מליחים מותנית בדילולו באופן יחסי לגודל העץ ועל-כן בהפחתה משמעותית ביבול. של 45%.
(3) פונקציית יצור קבועה של 1.7 גר' ביומסה טריה לליטר אווטרנספירציה נמדדה בשנתיים האחרונות של המחקר.
(4) לא נמצא שהתמר רגיש לבורון מבחינת קצבי גידול וטרנספירציה. ברמת מליחות מי ההשקיה הנמוכה נמדדה השפעה שלילית של הבורון המתבטאת בריכוזי בורון גבוהים ולא שכחים בממשק גידול חקלאי.
(5) הבורון מתרכז בעלים בהתאם לרמת האוטרנספירציה של העלה הבודד של התמר. ברמות מליחות מי השקיה גבוהות ( $EC_i = 8 \& 12 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ) לא נמדדו בעלי התמר רמות בורון שונות בין טיפוליו השונים.
<b>המסקנות המדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו. האם הושגו מטרות המחקר בתקופת הדו"ח.</b>
מטרות המחקר בתקופת הדו"ח הושגו במלואן.
(1) רגישות התמר למליחות גבוהה מעבודות קודמות. רגישותו גבוהה ברמות מליחות נמוכות וברמות מליחות גבוהות הרגישות יורדת.
(2) מדדי התפתחות של הנוף והפרי והשימוש במים בתמרים אינם נפגעים כתוצאה מהשקיה במים שריכוזי הבורון בהם הוא עד 5 ppm.
(3) ניתן לחשב פונקציית יצור של פרי ועלווה של תמרים המושקים במגוון רחב של איכויות מים, ע"י שימוש במדידות ממחקר זה.
<b>(4) צריכת המים של עצי התמר כתלות באיכות מי ההשקיה נמוכה מזו המיושמת במטעים כיום. עם זאת, השקיה במים מליחים גורמת לפחיתה משמעותית ביבול, ונראה כי מהבחינה הכלכלית והסביבתית שימוש במים בעלי איכות גבוהה יותר עדיפה.</b>
<b>הבעיות שנתרו לפתרון ו/או השינויים שחלו במהלך העבודה (טכנולוגיים, שיווקיים ואחרים); התייחסות המשך המחקר לגביהן, האם יושגו מטרות המחקר בתקופה שנתורה לביצוע תוכנית המחקר.</b>
המחקר ממשיך על מנת ללמוד ולכמת השפעות ארוכות טווח של מליחות ובורון על כל הפרמטרים הנזכרים במטרות. טרם ניתנה התייחסות לפרמטרים של איכות הפרי (צבע, מרקם ואורך חיי מדף) כפונקציה של מליחות ובורון.
אנו צופים כי בשלוש השנים הקרובות העצים בניסוי יגיעו לניבה מלאה. ככוונתנו לבדוק אם ניתן לטייב עצים שטופלו במים מליחים על-ידי השקיה במים בעלי איכות גבוהה יותר.
חישוב מדויק של צריכת המים של עצי תמרים המושקים בטווח רחב של איכויות מים יכול ליעל את השימוש במים בעתיד. לכן, נחוצות מספר שנים נוספות של מחקר.
<b>האם הוחל כבר בהפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח - יש לפרט: פרסומים - כמקובל בביבליוגרפיה, פטנטים - יש לציין מס' פטנט, הרצאות וימי עיון - יש לפרט מקום ותאריך.</b>
למחקר זה אתר אינטרנט בו מופצים מידי יום שיעורי צריכת המים של העצים בטיפולים השונים לשימוש ישיר של חקלאי האיזור: <a href="http://mop.ardom.co.il">http://mop.ardom.co.il</a> . חלק מן התוצאות פורסם במסגרת עבודת מוסמך של אפי טריפלר: תגובת שתילי תרבות של תמרים מזן מג'הול למליחות ולבורון (2004) ובמאמר של (Tripler et al, 2007). הנושא הוצג גם במסגרת ימי העיון שאורגנו על ידי המדען הראשי.
פרסום הדו"ח: אני ממליץ לפרסם את הדו"ח: (סמן אחת מהאופציות)
רק בספריות <
ללא הגבלה (בספריות ובאינטרנט) <
חסוי - לא לפרסם <