

**תגובת עצים נשירים לעקת מים חריפה רב עונתית – השלכות  
פיזיולוגיות, הורטיקולטוריות ומימשקיות**

**Responses of deciduous orchards to multiple season severe water  
stress – physiological, horticultural and practical implications**

מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות

ע"י

עמוס נאור – המכון לחקר הגולן ומו"פ צפון

רפי שטרן – מו"פ צפון

אליעזר גולדשמידט – האוניברסיטה העברית, הפקולטה לחקלאות

שמואל וולף – האוניברסיטה העברית, הפקולטה לחקלאות

שאול נשיץ, האוניברסיטה העברית, הפקולטה לחקלאות

Amos Naor	Golan Research Institute, P.O.Box 97 Kazrin 12900. <a href="mailto:amosnaor@research.haifa.ac.il">amosnaor@research.haifa.ac.il</a>
Raffi Stern	MIGAL, Galilee Technology Center, P.O. Box 831, Kiryat-Shmona 11016, raffi@migal.org.il
Eliezer Goldschmidt	The Robert H. Smith Institute of Plant Sciences and Genetics in Agriculture, Faculty of Agricultural Food and Environmental Quality Sciences. P.O.Box 12 Rehovot, 76100. goldsmit@agri.huji.ac.il
Shmuel Wolf	The Robert H. Smith Institute of Plant Sciences and Genetics in Agriculture, Faculty of Agricultural Food and Environmental Quality Sciences. P.O.Box 12 Rehovot, 76100. swolf@agri.huji.ac.il
Shaul Naschitz	The Robert H. Smith Institute of Plant Sciences and Genetics in Agriculture, Faculty of Agricultural Food and Environmental Quality Sciences. P.O.Box 12 Rehovot, 76100. nashitz@el-rom.org.il

נובמבר 2011

תשע"ב

**הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים.**

**הניסויים מהווים המלצות לחקלאים: לא**

**חתימת החוקר**

תקציר

**תאור הבעיה** – משק המים השפירים בארץ נמצא במצב קשה ובמקביל יש עליה בכמות מי הקולחים המהווים תחליף משמעותי בחלק מהאזורים. הרוב המכריע של המטעים הנשירים מרוכז בצפון הארץ אך כמות מי הקולחים מוגבלת בשל צפיפות האוכלוסייה וברור שלא יובאו מי קולחים לאגן ההיקוות של הכנרת – כך התלות במים שפירים במטעים נשירים בצפון תישאר גבוהה. הידע שבידנו חלקי ואינו מאפשר לחקלאים להתמודד עם הגדלה נוספת של הקיצוץ במים והפעלתה מספר עונות ברציפות.

**מטרות המחקר** – פיתוח מימשק שיאפשר: 1. הישרדות עצים נשירים בהשקיה במנות מים נמוכות; 2. שיקום מהיר של הפוריות עם החזרה להשקיה אופטימלית.

**תכנית המחקר** – המחקר בוצע בתפוח המיצג פירות גרעיניים ונקטרינה המיצגת פירות גלעיניים. נבחנה בניסויי שדה האינטראקציה בין מנת השקיה ועומס יבול בתפוח ונקטרינה בהשפעתם על היבול, גודל הפרי, פוריות לאורך זמן ומימשק פחמימות. כמו כן נבחן גם גיזום חריף בנקטרינה על הישרדות העצים בהשקיה במנת מים נמוכה מאד.

**תוצאות עיקריות** – הטיפולים בשני הניסויים יצרו טווח רחב של מצבי מים ועומסי יבול שהשפיעו שניהם על היבול וגודל הפרי. גיזום חצי מענפי השלד בנקטרינה לא שיפר את ביצועי העץ במונחים של גודל פרי. השקית חסר במהלך הקיץ גרמה לדחייה משמעותית של נשירת העלים הסתתיות בשנת 2009, אך לא ב-2010. ככל שנשירת העלים היתה מאוחרת יותר כך התגברו צבירת העמילן בשורשים לפני החורף והחנטה בשנה העוקבת. המנגנון המבטיח את הישרדות העצים בעקת מים חריפה הוא התאמה אוסמוטית המבוקרת ע"י ריכוז הסורביטול בעלים.

**מסקנות והמלצות לגבי יישום התוצאות** – השקית חסר, אפילו קיצונית, במשך שנתיים רצופות לא השפיעה על פוטנציאל נשיאת הפרי של תפוח בשנה השלישית. עם זאת, עצים שסבלו עקת מים צמחו פחות מאשר עצים שהושקו בשפע. בנקטרינה חלה ירידה קלה בחנטה בשנת הניסוי השלישית בעצים שסבלו עקת מים חריפה. היעדר הפגיעה בפוריות העצים מוסבר, לפחות בחלקו, בתקופת ההתאוששות הארוכה שלאחר הקטיף.

## **מבוא**

משק המים השפירים בארץ נמצא במצב קשה שכן כמות המים נתונה ומוגבלת והצריכה הביתית עולה בשל גידול האוכלוסייה, ישראלית ופלשתינית כאחד, וכן בשל עליה מתמדת ברמת החיים. במקביל, יש עליה בכמות מי הקולחים המהווים תחליף חלקי למים שפירים ובשל כך נמצאת חקלאות ישראל בתהליך מואץ של מעבר להשקיה בקולחים. בחלק מהאזורים לא תהיה מגבלת הספקת קולחים שכן הכמות גדולה והשימוש החוזר בחקלאות מצמצם בעיה אקולוגית קשה.

הרוב המכריע של המטעים הנשירים מרוכז בצפון הארץ אך כמות מי הקולחים מוגבלת בשל צפיפות האוכלוסייה וברור שלא יובאו מי קולחים לאגן ההיקוות של הכנרת. אם כן, גם בעתיד תתבסס השקית המטעים בצפון הארץ בעיקר על מים שפירים ולפיכך צפוי ענף הנשירים בצפון להיות במגבלת מים תמידית, דבר המדגיש את הצורך בהעלאת יעילות השימוש במים.

הקצאת המים השפירים לחקלאות יורדת בצורה משמעותית בעקבות רצף של שנות בצורת כפי שקרה בעונה החקלאית 2008. הקיצוצים שהושתו על החקלאים בשנת 2008 אמורים לפגוע בריווחיות החקלאים שכן לא ניתן לקבל יבולים גבוהים של פרי גדול ראוי לשיווק. שימוש במימצאים קודמים שלנו מאפשר לחקלאים להתאים את עומס היבול ולהשיא את רמת היבול של פרי גדול לכל מנת מים. יש בידנו ידע מוגבל על המשמעויות החקלאיות הנובעות מהשקיה גרעינית רב עונתית. תפוחים שרדו השקיה של 150 מ"מ/עונה אך לא ניתן היה לקבל יבול מסחרי גם בעומסי יבול נמוכים במיוחד (Naor et al, in press). לא ברור מה הייתה תרומת אוגר המים מהחורף (בתנאי הניסוי היו גשמי חורף ואביב וגשם מוקדם בסתיו) כך שלא ברור בצורה מדויקת מה הייתה צריכת המים בפועל. בנוסף, בעבר לא נבחנה השפעה של השקיה מוגבלת במשך מספר עונות ברצף על הישרדות העצים, פוריותם וקצב השיקום, נושא שהמחקר המתוכנן אמור לטפל בו.

יש צורך בביצוע מחקר בו יפותח מימשק שיאפשר: 1. הישרדות עצים נשירים בהשקיה במנות מים נמוכות; 2. שיקום מהיר של הפוריות עם החזרה להשקיה אופטימלית.

בצד הבחינה של אלטרנטיבות מימשקיות שונות יעשה מאמץ להבין את המשמעויות הפיזיולוגיות וההורטיקולטוריות לחשיפה רב עונתית לעקת מים חריפה באינטראקציה עם עומס יבול (רמת דילול). במחקר נשתמש בתפוח כמיצג עצים גרעיניים ובנקטרינה המיצגת עצים גלעיניים כאשר המחקר הפיזיולוגי המעמיק יעשה בתפוח.

### מטרות המחקר בתקופת הדו"ח

לבחון את קצב השיקום של מטע שהושקה בשנתיים הקודמות במנות מים נמוכות.

### חומרים ושיטות

#### תפוח

הניסוי בוצע במטע בוגר מהזן זהוב בחוות מתיתיהו. בניסוי נבחנו שישה טיפולי השקיה לפי הפרוט המופיע בטבלה. בכל טיפול השקיה היו ארבעה עומסי יבול: 100, 300, 600 פירות לעץ וטיפול שאינו מדולל (מירווח נטיעה 2.5 X 4.5 m). היבול מכל עץ נקטף ומוין בנפרד. לאורך העונה בוצעו מדידות פוטנציאל מים בגזע ופעמיים בוצעו גם בדיקות חילוף גזים. נערך אומדן של צפיפות הפריחה ובוצע מעקב אחר אחוז החנטה בשנים עוקבות. בחודשים אוקטובר-דצמבר נערך מעקב אחר נשירת העלים העונתית.

השקיה לאחר קטיף (מ"מ/יום)	השקיה עד הקטיף (מ"מ/יום)
1	1
2	2
4	4
4	7
4	1
0	7

#### נקטרינה

בניסוי נבחנו ארבע מנות השקיה: 150, 300, 550 ו-800 מ"מ/עונה. מנות ההשקיה חולקו לאורך העונה לפי העיקרון הבא: עליה הדרגתית בתחילת העונה עם כיסוי העלווה ומיצוי מלאי המים בקרקע, שמירת מנת מים גבוהה לשלב III של גידול הפרי (שלב התנפחות הפרי). ומנת מים קטנה/העדר השקיה לאחר הקטיף, בהתאם להקצאה (ראה טבלה).

	4	4	4	5	5	5	6	6	6	7	7	7	8	8	8	9	9	9	10	10	10
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
816	1.1	1.1	1.5	2.8	3	3.2	3.4	3.7	3.7	6	6.4	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	1.8	1.3	1.2	1.1	0.9
550	0.3	0.5	1.2	1.5	1.8	2	2.2	3	3	3	3	5	6.5	6.5	6.5	5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5
300	0	0	0.5	1.3	1.5	1.5	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	0	0	0.5	0	0
150	0	0	0.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.5	1.3	1	0	0	0.5	0	0

בכל טיפול השקיה היו ארבעה טיפולי משנה – העצים בכל טיפול השקיה דוללו שלושה עומסי יבול, אקוילנטים ל-1.5, 3.5 ו-5.5 טון/דונם בטיפול ההשקיה הגבוהה, 135, 315, 465 פירות/עץ בהתאמה. בטיפול נוסף היה עומס יבול נמוך והקטנת נוף שהתבטאה בהורדת מחצית הזרועות. הורדת הזרועות הייתה לגובה כזה שניתן יהיה לבנות אותן מחדש. במהלך העונה בוצע גיזום של רוב הצימוח שהיה כתגובה לגיזום והושארו מספר ענפים שיהוו את הבסיס לזרועות שיחודשו בעונה השלישית.

### תוצאות ודין

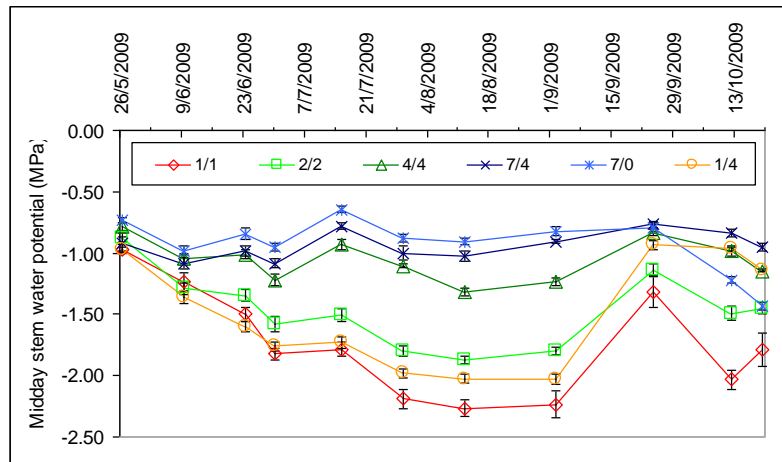
#### תפוח

השקיה - מנת ההשקיה עלתה בהדרגה בתחילת העונה עד שהיגיעה למנת המים המתוכננת. ככל שמנת ההשקיה הייתה גבוהה יותר היה מועד ההגעה למנת היעד מאוחר יותר. מנות ההשקיה מיוני ועד הקטיף היו 1, 2, 4, ו-7 מ"מ/יום ומיד לאחר הקטיף בוצע שינוי השקיה בחלק מהטיפולים – אחד מטיפולי "1 מ"מ/יום" התחיל לקבל 4 מ"מ יום ואחד מטיפולי "7 מ"מ/יום" התחיל לקבל 4 מ"מ/יום ובשני נעצרה ההשקיה. מנת ההשקיה עד הקטיף נעה מכ-100 מ"מ ועד כ-580 מ"מ ב-2009 ומ-139 עד 750 ב-2010 (טבלה 1). ב-2011 הושקו כל עצי הניסוי על פי ההמלצות המסחריות.

**דילול** – ב-2009 הפירות בעצי המדידה דוללו ידנית לארבע רמות בשיא פריחה +17 כאשר מספרי הפירות לעץ היו 100, 300, 600 ולא מדולל. ב-2010 לא בוצע דילול בשני העומסים הגבוהים בגלל מיעוט פרחים עקב העומס הרב ב-2009. ב-2011 בוצע דילול מסחרי בכל הטיפולים, במטרה להביא את הפרי לגודל סחיר.

טבלה 1: מנת המים המצטברת (מ"מ) עד הקטיף בטיפולי ההשקיה השונים. המספר השמאלי הוא מנת המים לפני הקטיף והמספר הימני הוא מנת המים לאחר הקטיף.						
טיפול	7/0	1/4	7/4	4/4	2/2	1/1
2009	571	103	583	391	192	98
2010	754	153	776	487	276	138
2011	756	738	746	747	744	754

**איור 1:** השפעת טיפול ההשקיה על פוטנציאל המים בגזע בצהרים במהלך עונת 2009. בתיאור הטיפולים,

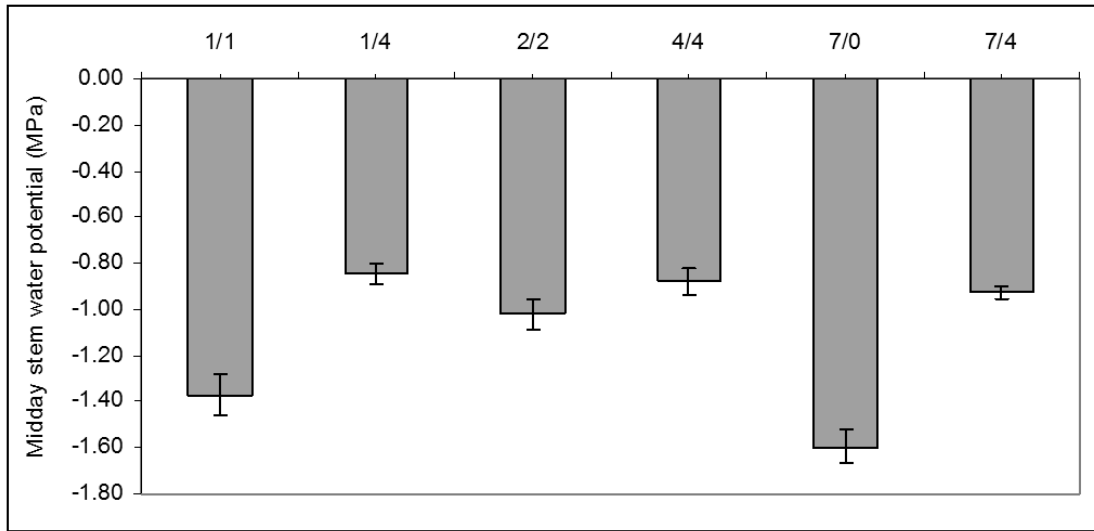


הספרות השמאלית והימנית מציינות את מנות ההשקיה היומיות במ"מ לפני ואחרי הקטיף, בהתאמה. הקווים האנכיים מציינים את שגיאת התקן של כל מדידה.

**השפעת מנת ההשקיה היומית על פוטנציאל המים, מוליכות הפיוניות והפוטוסינתזה** - עם ההפרדה בין טיפולי ההשקיה השונים בסוף חודש מאי 2009, נמדד בכל עצי המדידה פוטנציאל מים גדול מ-1.0 MPa. ערך זה מעיד על העדר עקה בראשית הניסוי. בהמשך העונה הלך פוטנציאל המים בגזע בצהרים ונעשה שלילי יותר, עד שהתייצב בסוף חודש יולי (איור 1). כצפוי, פוטנציאל המים בגזע בצהרים נעשה שלילי יותר עם הצמצום במנת ההשקיה היומית שניתנה לעצים. ניתן להפריד את טיפולי ההשקיה לשלוש קבוצות מבחינת מצב המים של העץ: העצים שקיבלו מנות השקיה יומיות בנות 4 ו-7 מ"מ לא סבלו עקה (>-1.3 MPa) ומצב המים השפיר שלהם נשמר במהלך כל עונת הגידול, עד הקטיף; העצים שקיבלו מנת מים יומית בת 2 מ"מ סבלו מעקה בינונית בחומרתה (<-1.5 MPa) החל מראשית חודש יולי ועד הקטיף באמצע ספטמבר; העצים להם ניתנה הקצבת מים יומית בת 1 מ"מ אחד סבלו עקת מים חמורה (<-2.0 MPa) החל באמצע חודש יולי. ב-20 וב-21 בספטמבר, 2009, כשבוע לאחר קטיף הפרי מעצי הניסוי, נרשם אירוע גשם משמעותי (כ-40 מ"מ). בעקבות הגשם חלה עליה בפוטנציאל המים בכל הטיפולים, אך פוטנציאל המים של העצים משני טיפולי ההשקיה הנמוכים נותר שלילי יותר מזה של יתר הטיפולים האחרים, כמו גם טיפול ההשקיה הנמוכה שקיבל 4 מ"מ/יום לאחר הקטיף. ממצא זה מעיד שאוגר המים בקרקע בשני הטיפולים הנמוכים לא הושפע משמעותית ע"י 40 מ"מ גשם.

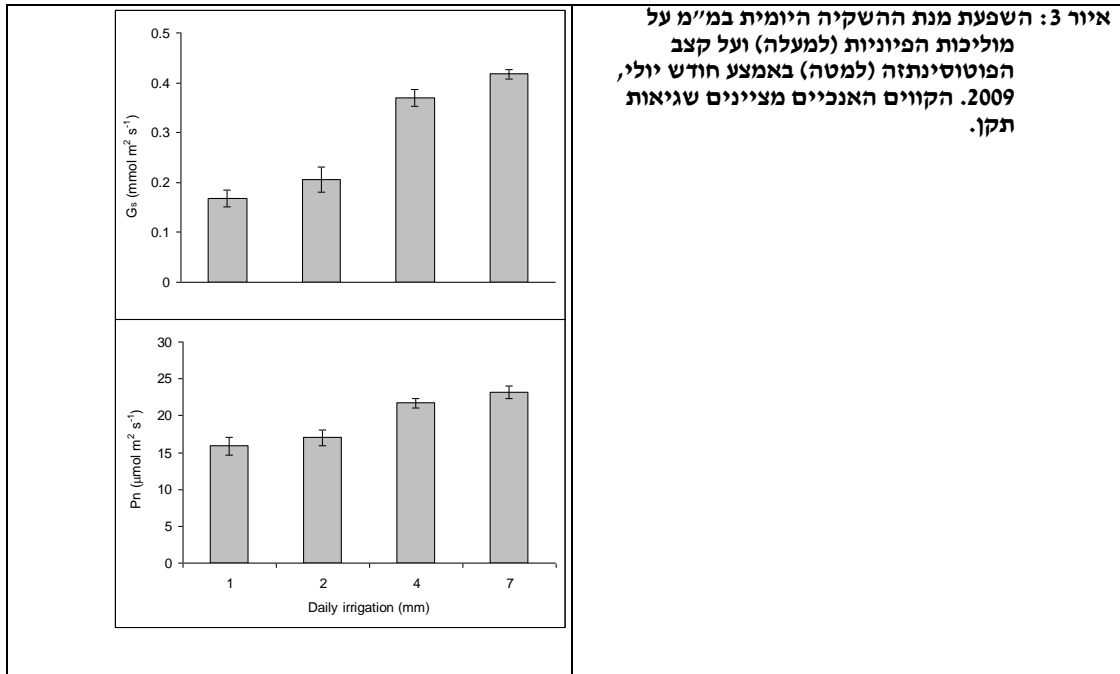
תגובת העצים מטיפולי ההשקיה השונים לאירוע גשם סתווי בודד חזרה על עצמה בחודש אוקטובר 2010: גם אז, העצים שקבלו קודם לכן מנות השקיה גבוהות ניצלו את העליה החדה בזמינות המים בקרקע במידה רבה יותר, דבר שהתבטא בפוטנציאל מים שלילי פחות שנמדד בעצים אלה מספר ימים

לאחר הגשם (איור 2). יש לציין כי אירוע הגשם של אוקטובר 2010, בניגוד לזה של ספטמבר 2009, חל כ- 40 ימים לאחר הקטיף. עובדה זו עשויה להסביר את השפעתה הגדולה של מנת ההשקיה שניתנה לעצים לאחר הקטיף על תגובתם לגשם.



**איור 2:** השפעת טיפול ההשקיה על פוטנציאל המים בגזע בצהריים ב-12 באוקטובר 2010, ארבעה ימים לאחר אירוע גשם משמעותי. בתיאור הטיפולים, הספרות השמאלית והימנית מציינות את מנות ההשקיה היומיות במ"מ לפני ואחרי הקטיף, בהתאמה. הקווים האנכיים מציינים שגיאות תקן.

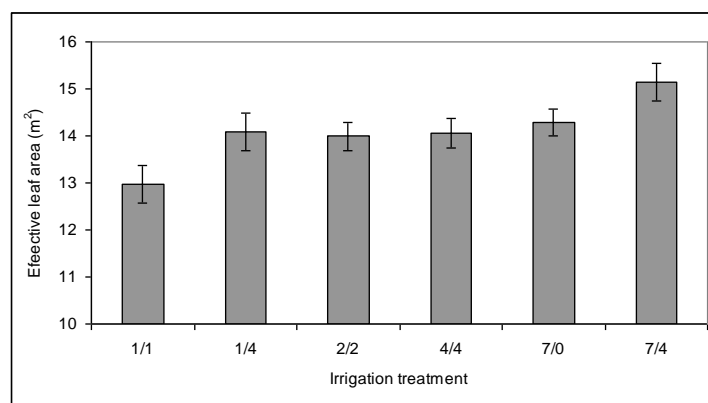
השפעת מנת ההשקיה היומית על מוליכות הפיוניות ועל קצב הפוטוסינתזה הייתה דומה להשפעתה על פוטנציאל המים: במדידות שנערכו באמצע חודש יולי 2009, נמצאו הבדלים מובהקים בין שני טיפולי ההשקיה הגבוהים לבין השניים הנמוכים בשני המדדים האלה (איור 3).



**איור 3:** השפעת מנת ההשקיה היומית במ"מ על מוליכות הפיוניות (למעלה) ועל קצב הפוטוסינתזה (למטה) באמצע חודש יולי, 2009. הקווים האנכיים מציינים שגיאות תקן.

הקשר הליניארי ( $r^2=0.83$ ;  $P<0.0001$ ) שנמצא בין קצב הפוטוסינתזה לבין מוליכות הפיוניות (לא מוצג) מלמד על כך שמגבלת הפוטוסינתזה נבעה מסגירת פיוניות ולא מעיכוב ביוכימי כלשהו.

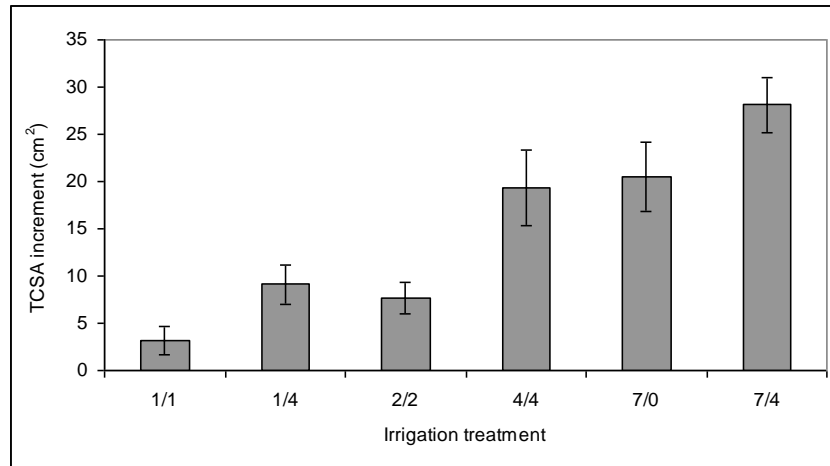
**השפעת מנת ההשקיה היומית על גודל העץ -** מידת הצמיחה הווגטיבית של העץ הושפעה רבות מגודלה של מנת ההשקיה היומית, הן במהלך הקיץ והן לאחר הקטיף. העצים שקיבלו מנת מים של מ"מ אחד לאורך כל עונת הגידול כמעט שלא צמחו במשך השנתיים הראשונות של הניסוי. לעומתם, העצים שקיבלו מנות מים גבוהות לכל אורך העונה צמחו באופן נמרץ לא רק באביב, אלא אף במהלך הקיץ. העצים מטיפולי הביניים השונים צמחו באופן מתון, בעיקר בראשית עונת הגידול. ההבדלים בעוצמת הצימוח באו לידי ביטוי בגודלם של העצים: בסופה של השנה השנייה לניסוי נראה בבירור כי העצים שהושקו בשפע היו גבוהים וצפופי עלווה יותר מאשר עצים שסבלו עקה חריפה. עדות כמותית להבדלים אלה ניתן לקבל מתצלומי העצים בראשית חודש אוקטובר, 2010, מהם חושב שטח העלווה האפקטיבי בכל אחד מ-40 עצי המדידה (איור 4). יש לציין כי עומס היבול בשנת הניסוי השנייה לא נמצא קשור באורח מובהק סטטיסטית לגודל העץ. ניתן להסביר זאת בעומס הנמוך שאפיין באותה שנה את רוב העצים.



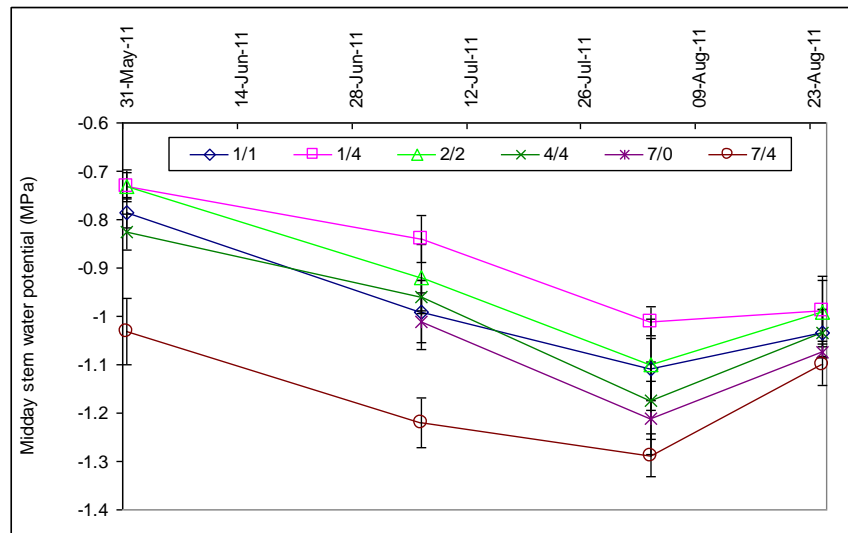
**איור 4:** השפעת מנת ההשקיה היומית במ"מ על שטח מעטפת העץ האפקטיבי בראשית חודש אוקטובר, 2010. הספרות השמאלית והימנית מציינות את מנות ההשקיה היומיות במ"מ לפני ואחרי הקטיף, בהתאמה. הקווים האנכיים מציינים שגיאות תקן.

יש לציין את השפעתה של ההשקיה הסתווית על הצימוח הווגטיבי, שבאה לידי ביטוי בשני טיפולי ההשקיה המפוצלים (טיפולים 1/4 ו-7/0 באיור 4). מאחר שרוב רובה של הצמיחה החד שנתית מתרחש בעונת האביב, נראה כי לצבירת המוטמעים בעץ לאחר הקטיף נכונה השפעה רבה עליה. לפיכך הגברת ההשקיה בסתיו בטיפול שהיה נתון בעקה חריפה במהלך הקיץ הגבירה את הצימוח בעוד הפסקת ההשקיה בטיפול שהושקה בעודף במהלך הקיץ הפחיתה את הצימוח בעונה העוקבת ביחס לעצים שהושקו כל צרכם גם לאחר הקטיף.

ההבדלים במידת הצמיחה הווגטיבית התבטאו גם בגידול בחתך שטח הגזע (איור 5) וגם כאן בולטת השפעתה ההשקיה הסתווית. ההבדלים בגודל העצים באו לידי ביטוי בשנת הניסוי השלישית, בה כל עצי הניסוי הושקו באופן מסחרי. למרות היעדר הבדלים בהשקיה ובאומד יבול הפרי, צריכת המים של העצים מטיפול ההשקיה המלא (7/4) הייתה גבוהה מזו של כל יתר העצים, דבר שהתבטא בערכי פוטנציאל המים בגזע בצהרים נמוכים יותר בטיפול ההשקיה הגבוהים (איור 6). יש לציין כי באף אחד מטיפולי ההשקיה לא נמדדו בשנה זו ערכי פוטנציאל מים המעידים על עקה. הצריכה המוגברת קשורה כנראה לגודל הנוף.



איור 5: השפעת מנת ההשקיה היומית במ"מ על הגידול בשטח חתך הגזע בין פברואר, 2010 לפברואר, 2011. הספרות השמאלית והימנית מציינות את מנות ההשקיה היומיות במ"מ לפני ואחרי הקטיף, בהתאמה. הקווים האנכיים מציינים שגיאות תקן.



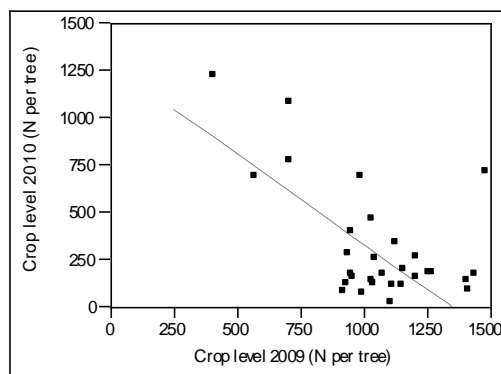
איור 6: השפעת טיפול ההשקיה על פוטנציאל המים בגזע בצהריים במהלך עונת 2011. בתיאור הטיפולים, הספרות השמאלית והימנית מציינות את מנות ההשקיה היומיות במ"מ לפני ואחרי הקטיף, בהתאמה. הקווים האנכיים מציינים את שגיאת התקן של כל מדידה.

בחינת הקשר בין אומד היבול לבין משקל הפרי הטרי הממוצע בשנת הניסוי השלישית מגלה כי בטיפולי ההשקיה שהתאפיינו בצימוח וגטטיבי נמרץ בשנתיים הראשונות של הניסוי אומד היבול (מספר הפירות לעץ ששרדו עד הקטיף) השפיע פחות על גודל הפרי מאשר בטיפולי ההשקיה שדיכאו את הצימוח (טבלה 2). זאת למרות שלא נמצאו הבדלים מובהקים בין הטיפולים באומד היבול או במשקל הפרי הטרי הממוצע עצמם. נראה שההסבר לממצא זה קשור לכושרו של עץ בעל נפח גדול יותר לכלכל יותר פירות ולהביאם למשקל גבוה יותר בעת הקטיף, בתנאי שהפוטוסינתזה שלו איננה מוגבלת ע"י עקת מים או עקה אחרת. בעונת 2011, סבלו עצים אלה ממצב מים ירוד במעט יחסית לעצי הטיפולים האחרים (איור 5), ויתכן שהדבר מנע מהם להביא את פריים למשקל ממוצע גבוה יותר מזה של יתר הטיפולים. השפעות ההשקיה ועומס היבול על הייצור הרפרודוקטיבי - על מנת לבחון את פוריות העצים, נבחנו מניין הפירות ומשקלם בעצים הבלתי-מדוללים, בהם לא בוצעה התערבות מלאכותית בעומס היבול למעט בשנת 2011. מנייני הפרי שהתקבלו במהלך הניסוי בעצים שלא עברו דילול היו גבוהים בשנים 2009 ו-2011 ונמוכים בשנת 2010.

טבלה 2: מספר הפירות הממוצע לעץ והמתאם הסטטיסטי (r) בינו לבין משקל הפרי הטרי הממוצע בכל אחד מטיפולי ההשקיה. בתיאור הטיפולים, הספרות השמאלית והימנית מציינות את מנות ההשקיה היומיות במ"מ לפני ואחרי הקטיף, בהתאמה.

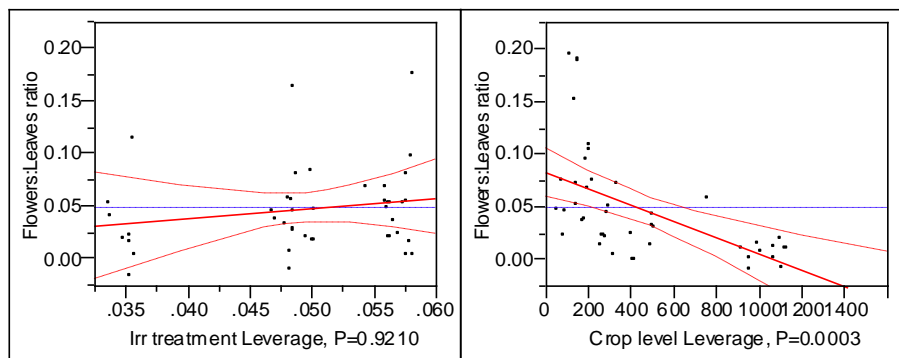
Irrigation treatment	Fruit per tree $\pm$ SE	Mean fruit fresh weight (g) $\pm$ SE	Correlation between crop load and mean fruit weight
1/1	1132 $\pm$ 50	108 $\pm$ 1.7	-0.717
1/4	1212 $\pm$ 88	97 $\pm$ 2.9	-0.748
2/2	1160 $\pm$ 60	101 $\pm$ 1.6	-0.566
4/4	1193 $\pm$ 43	104 $\pm$ 2	-0.395
7/0	1199 $\pm$ 105	99 $\pm$ 1.7	-0.574
7/4	1125 $\pm$ 69	99 $\pm$ 1.8	0.145

הדגם הסירווגי של נשיאת הפרי מאפיין עצי תפוח מזנים מסויימים, אם כי הזן דלישס זהוב איננו אחד מהם בדרך כלל. עם זאת, נמצא שמניין הפירות לעץ בעונת 2010 היה קשור ביחס הפוך למניין הפירות בעונת 2009 (איור 7). נראה אפוא שעומס היבול הנמוך בשנת 2010 הוא תוצאה ישירה של מנייני הפירות הגבוהים שהגיעו לקטיף בשנת 2009. יש לציין כי המתאם השלילי הזה בין עומסי היבול בשתי השנים כלל את כל טיפולי ההשקיה (הנתונים אינם מוצגים).



איור 7: הקשר בין מנייני הפירות לעץ בשנת 2010 ובשנת 2009, בהתאמה, בעצים שלא עברו דילול.

מודל רב משתנים ליניארי שבחן את השפעתם של עומס היבול בעונת 2009 ושל טיפול ההשקיה על צפיפות הפריחה האופטית כפי שנמדדה מתצלומים מראה כי השפעתו השלילית של עומס היבול בשנה הקודמת על מניין הפירות מתבטאת כבר בפריחה (איור 8). גם כאן לא נמצאה השפעה מובהקת לטיפול

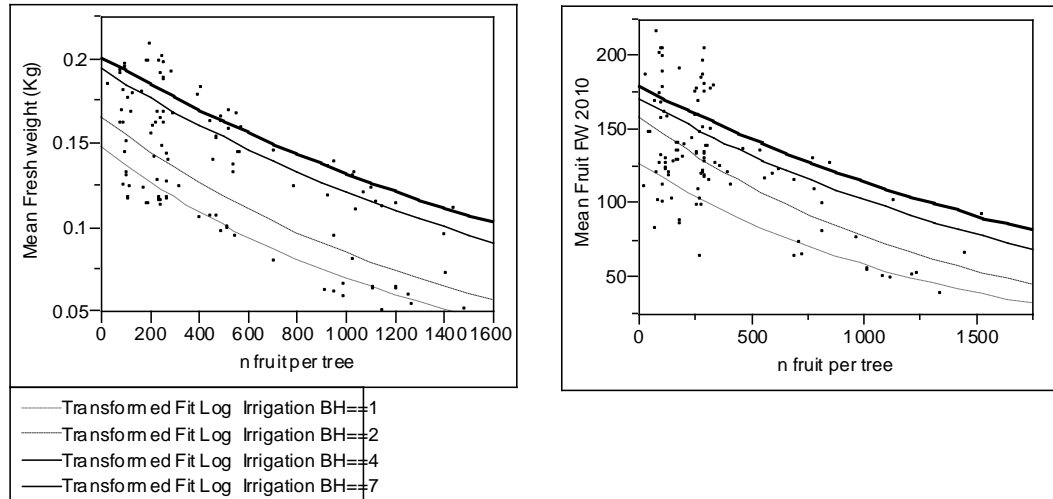


ההשקיה.

איור 8: מודל רב משתנים ליניארי המתאר את השפעותיהם הנפרדות של טיפול ההשקיה (משמאל) ושל עומס היבול בשנת 2009 (מימין) על צפיפות הפריחה באביב 2010 כפי שנמדד בצילום RGB.



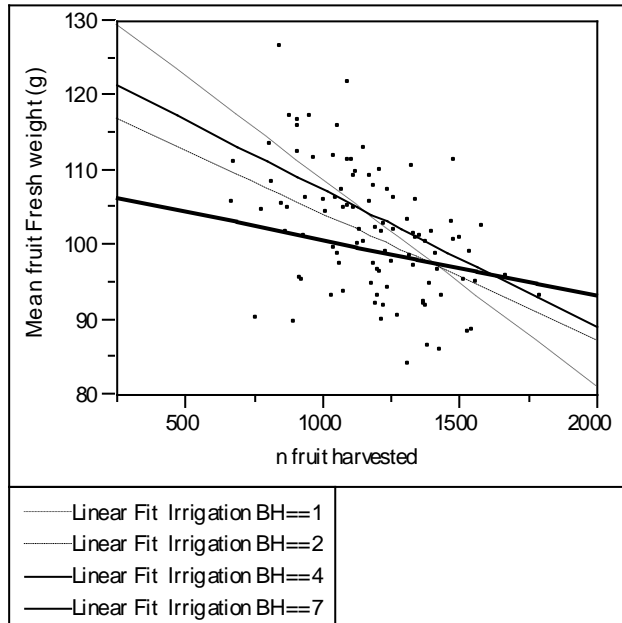
יש לציין כי צפיפות פריחה גבוהה ( $>0.1$ ) נמדדה ב-2010 רק בעצים שדוללו לרמות עומס נמוכות של 150 פירות לעץ ופחות בשנת 2009. מרכיב נוסף, חשוב מבחינה מסחרית, הקובע את היבול המשקלי של הפרי הוא משקלו הממוצע. כצפוי, נמצא כי משקלו הממוצע של פרי בודד הושפע באופן חיובי ממנת ההשקיה היומית לפני הקטיף ובאופן שלילי ממניין הפירות על העץ. השפעות אלה באו לידי ביטוי בשתי העונות הראשונות של הניסוי, בהן הונהגו משטרי השקיה נפרדים (איור 9).



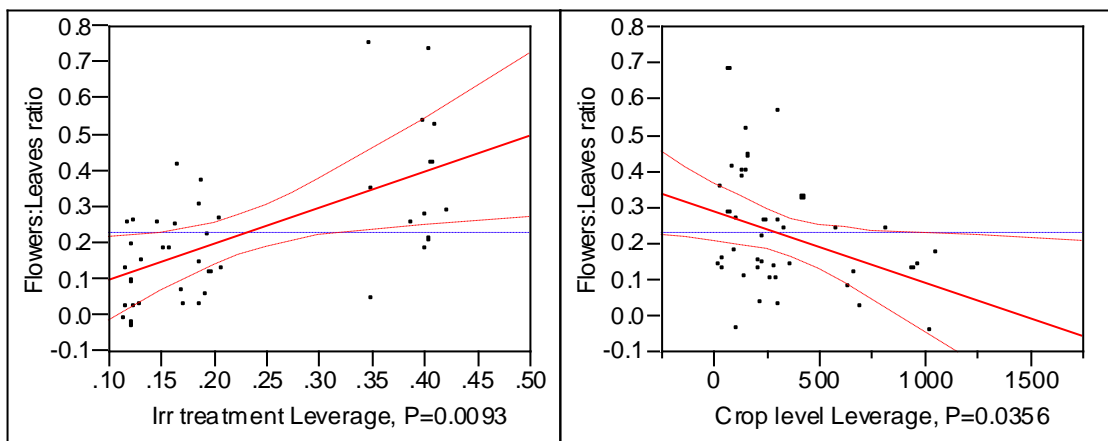
**איור 9: השפעת מניין הפירות על העץ על משקל הפרי הטרי הממוצע בכל אחד מארבעה טיפולי השקיה שיושמו לפני הקטיף בשנים 2009 (משמאל) ו-2010 (מימין). מנת ההשקיה (מ"מ/יום) מופיע תחת השם BH.**

עונת 2011 התאפיינה בפריחה שופעת ובשפע של חנטים ששרדו על העצים עד תום שלב חלוקת התאים בפרי (כ-50 הימים הראשונים לאחר שיא הפריחה). גם לאחר דילול מסחרי שבוצע במרבית העצים נותרו מנייני הפירות גבוהים וכתוצאה מכך משקלו הטרי הממוצע של הפרי היה קטן. באותה שנה לא הונהגו בניסוי משטרי השקיה דיפרנציאליים. טיפולי ההשקיה שניתנו בשנתיים הקודמות לא השפיעו אמנם על מניין הפירות הממוצע לעץ או על משקל הפרי הטרי הממוצע, אך נבדלו ביניהם בשיפוע הקשר בין השניים (איור 10, טבלה 2).

צפיפות הפריחה בשנה זאת הושפעה הן ממניין הפירות לעץ בעונה הקודמת והן מטיפול ההשקיה (איור 11). יש לציין את תרומתה הניכרת של מנת המים היומית שניתנה לעצים לאחר הקטיף, שהתבטאה בשני טיפולי ההשקיה המפוצלים (טבלה 3). עם זאת, בעונת 2011 לא נמצא קשר מובהק בין צפיפות הפריחה לבין אומד החנטים הסופי.



איור 10: השפעת מניין הפירות על העץ על משקל הפרי הטרי הממוצע בכל אחד מארבעה טיפולי השקיה שיושמו לפני הקטיף בשנת 2011. מנת ההשקיה (מ"מ/יום) מופיע תחת השם BH.



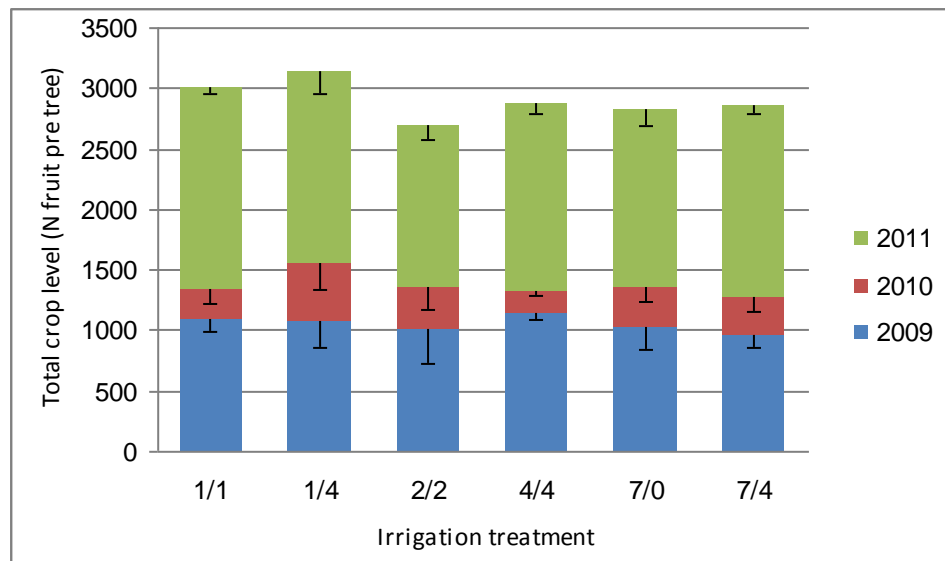
איור 11: מודל רב משתנים ליניארי המתאר את השפעותיהם הנפרדות של טיפול ההשקיה (משמאל) ושל עומס היבול בשנת 2010 (מימין) על צפיפות הפריחה האופטית באביב 2011.

הממצא לפיו טיפול ההשקיה הסתווי השפיע על צפיפות הפריחה בשנת 2011 אך לא בשנת 2010 יכול להיות מוסבר בסתיו החם והיבש של שנת 2010: הגדלת מנת ההשקיה היומית בתנאים אלה, בהם נדחית נשירת העלים, עשויה להגביר את צבירת הפחמימות בעץ בסוף עונת הגידול ואף להגדיל את מספר הפקעים המתמיינים לפריחה. לעומת זאת, בסתיו הקריר יותר של שנת 2009 הוקדמה נשירת העלים דווקא בטיפולי ההשקיה הגבוהים והיתרון שבהשקיה שופעת התבטל בשל כך.

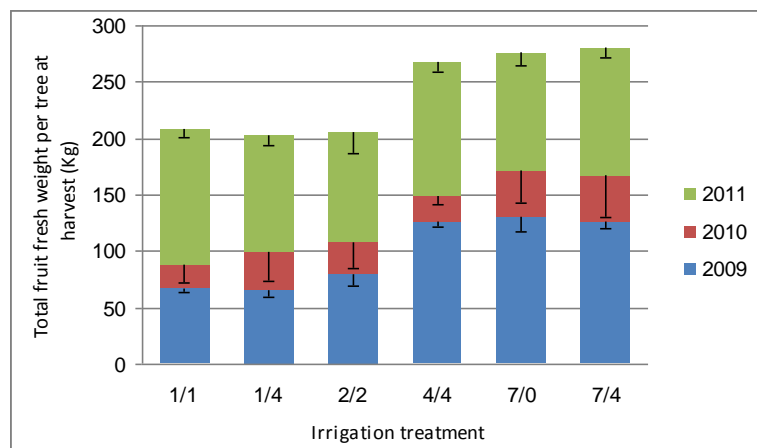
בסיכום שלוש שנות הניסוי לא נמצאה השפעה מובהקת לטיפול ההשקיה על מניין הפירות לעץ באף אחת מהשנים (איור 12). משקלו של יבול הפרי לעץ אמנם גדל עם מנת ההשקיה היומית טרם הקטיף (איור 13), אך ניתן לייחס את כל ההבדל ביבול להבדלים בגודל הפרי בטיפולי ההשקיה השונים בשנים 2009 ו-2010 (ראה איור 9).

טבלה 3: השוואה בין צפיפות הפריחה האופטית ואומד החנטים לעץ לפני הדילול הידני המסחרי שהתקבלו בשנת 2011 בטיפולי ההשקיה השונים. אותיות שונות מציינות הבדלים מובהקים בין הטיפולים ( $\alpha=0.05$ ). בתיאור הטיפולים, הספרות השמאלית והימנית מציינות את מנות ההשקיה היומיות במ"מ לפני ואחרי הקטיף, בהתאמה.

Irrigation treatment	Optical bloom density	Fruit set per tree (N)
1/1	0.132 b	1553 a
1/4	0.350 ab	1656 a
2/2	0.127 b	1573 a
4/4	0.197 ab	1610 a
7/0	0.172 ab	1555 a
7/4	0.411 a	1664 a



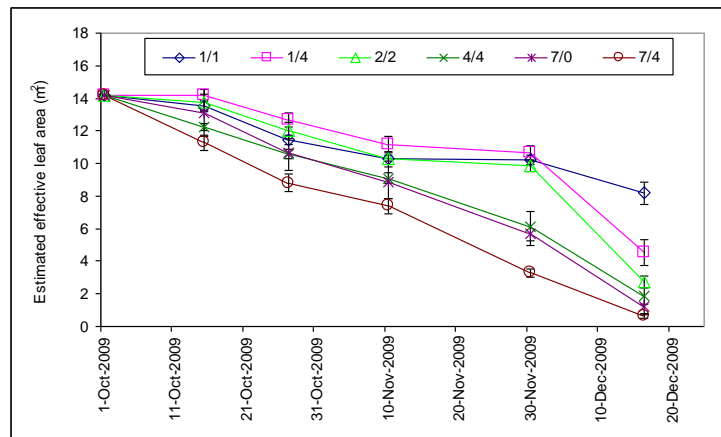
איור 12: מניין הפירות הממוצע לעץ בכל אחת משלוש שנות הניסוי בעצים הלא מדוללים שבכל אחד מטיפולי ההשקיה בכל אחת משנות הניסוי: 2009, 2010 ו-2011 למטה, באמצע ולמעלה, בהתאמה. הקווים האנכיים מייצגים את מחצית שגיאת התקן. בתיאור הטיפולים, הספרות השמאלית והימנית מציינות את מנות ההשקיה היומיות במ"מ לפני ואחרי הקטיף, בהתאמה.



איור 13: משקל יבול הפרי לעץ בכל אחת משלוש שנות הניסוי בעצים הלא מדוללים שבכל אחד מטיפולי ההשקיה בכל אחת משנות הניסוי: 2009, 2010 ו-2011 למטה, באמצע ולמעלה, בהתאמה. הקווים האנכיים מייצגים את מחצית שגיאת התקן. בתיאור הטיפולים, הספרות השמאלית והימנית מציינות את מנות ההשקיה היומיות במ"מ לפני ואחרי הקטיף, בהתאמה.

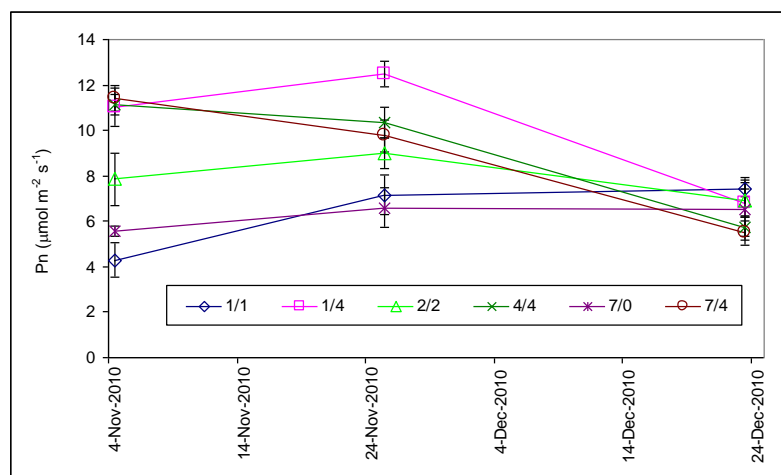
יש לציין כי הכפלת מנת המים טרם הקטיף מ-1 ל-2 מ"מ ביום לא הביאה לעליה כלשהי ביבול המצטבר. גם הגדלת מנת המים מ-4 ל-7 מ"מ ביום לא הביאה לגידול ביבול.

השפעת ההשקיה על נשירת העלים הסתויות - בעונת 2009 נצפו הבדלים בין טיפולי ההשקיה השונים במועד ובקצב נשירת העלים הסתויות: השקיה מרובה, בעיקר לפני הקטיף, גרמה לנשירת עלים מוקדמת בעוד השקיה חסרה הביאה להישרדותם של מרבית העלים על העץ עד החורף ממש (איור 14).



**איור 14:** השפעת טיפול ההשקיה על שטח העלווה האפקטיבי הממוצע לעץ במועדים שונים בסתיו שנת 2009. הקווים המאונכים מייצגים סטיות תקן. בתיאור הטיפולים, הספרות השמאלית והימנית מציינות את מנות ההשקיה היומיות במ"מ לפני ואחרי הקטיף, בהתאמה.

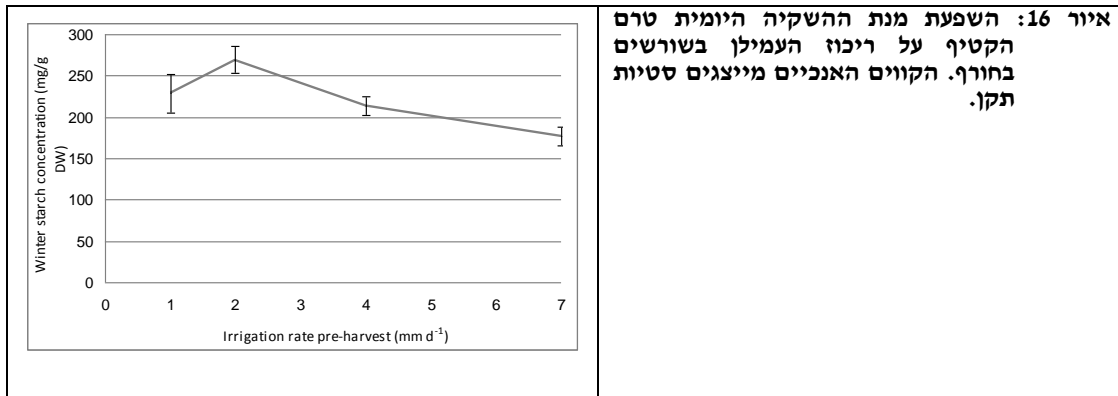
מידודות פוטוסינתזה שבוצעו בחודשי הסתיו בשנת 2010 מעידות כי העלווה הירוקה הנותרת על העצים בסוף עונת הגידול אכן פעילה ומסוגלת לקבע פחמן דו חמצני (איור 15). בראשית הסתיו התקיים מתאם חיובי בין קצב הפוטוסינתזה לבין מנת ההשקיה היומית, אך עם הפחיתה בהתאדות לקראת החורף התאפיינו כל טיפולי ההשקיה בשיעור פוטוסינתזה דומה של  $6-7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , המהווה 40-50% מקצב הפוטוסינתזה המרבי כפי שנמדד בחודשי הקיץ.



**איור 15:** קצב הפוטוסינתזה הממוצע בכל אחד מטיפולי ההשקיה, כפי שנמדד בחודשי הסתיו של 2010. הקווים האנכיים מייצגים שגיאות תקן. בתיאור הטיפולים, הספרות השמאלית והימנית מציינות את מנות ההשקיה היומיות במ"מ לפני ואחרי הקטיף, בהתאמה.

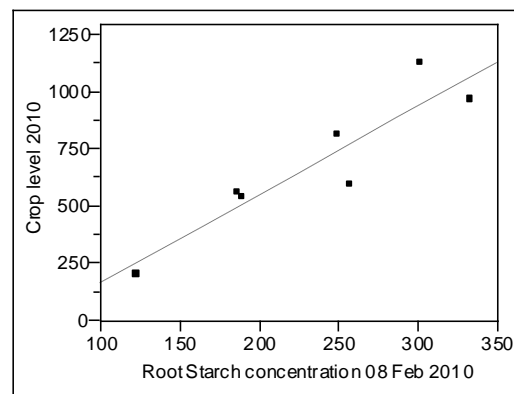
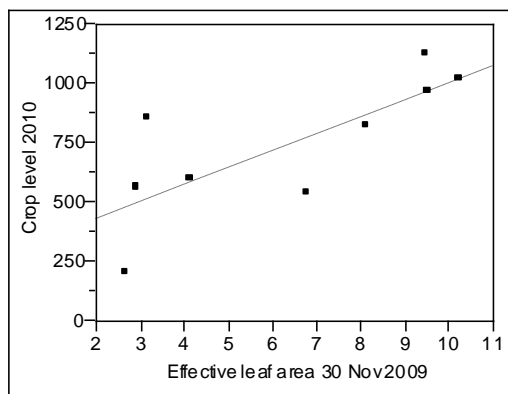
יתכן שמועד הכניסה השונה לתרדמת החורף קשור לנפח בית השורשים מיד לאחר הקטיף (ראה איורים 1, 2): עצים שהושקו בחסר זקוקים לזמן ארוך יותר על מנת לשחזר את צפיפות מערכת השורשים שלהם לפני כניסתם לתרדמה. הדחייה במועד נשירת העלים גרמה להגברת צבירת המוטמעים הסתויות בשלד העץ, כפי שהתבטאה בריכוז העמילן בשורשים בטיפולי ההשקיה השונים בראשית חודש פברואר, 2010 (איור 16). צבירת העמילן הפחותה בטיפול ההצמאה החריף ביותר יחסית לטיפול העקה הקלה יותר

איור 16) נבעה ככל הנראה מעקת המים אליה היו חשופים עצים אלה במשך תקופה ארוכה בסתיו (איורים 1, 15).



איור 16: השפעת מנת ההשקיה היומית טרם הקטיף על ריכוז העמילן בשורשים בחורף. הקווים האנכיים מייצגים סטיות תקן.

תהליכי הבלבוב, הפריחה, ראשית החנטה והצימוח הווגטיבי באביב תלויים כולם בפחמימות שנאגרו בעץ במהלך העונה הקודמת ונראה כי עצי תפוח מזרימים את מירב המאגרים הללו אל השורשים, שם הם נשמרים בתקופת התרדמה החורפית. על מנת לבדוק האם אכן ריכוז העמילן בשורשים בתקופת החורף משפיע על חנטת הפירות, נבחנה קבוצת העצים שדוללה באופן הקל ביותר. אותה קבוצת עצים לא דוללה באביב 2010 מתוך אומדן לפיו מניין הפירות באותם עצים לא יעלה על המניין המיועד להם על פי תכנית הניסוי – 600 פירות לעץ. מאידך, אותה קבוצת עצים נשאה די פירות על מנת שאפשר יהיה לבחון את שיעור החנטה בה. זאת בניגוד לקבוצת העצים שלא דוללה כלל בשנת 2009 ואשר התאפיינה בפריחה דלה ביותר בשנת 2011. בקבוצת העצים שעברו דילול קל ב-2009 נמצא מתאם חיובי מובהק בין מניין הפירות בקטיף 2010 לבין שטח העלווה האפקטיבי בסוף הסתיו הקודם ( $r^2=0.59$ ) ולבין ריכוז העמילן בשורשים בחורף הקודם ( $r^2=0.88$ , איור 17). יש לציין כי בסתיו שנת 2010, בו שררו טמפרטורות גבוהות במיוחד ונרשם מיעוט משקעים קיצוני, לא נצפו הבדלים ניכרים במועד נשירת העלים בין טיפולי ההשקיה השונים.



איור 17: הקשר בין מניין הפירות לעץ בשנת 2010 לבין שטח העלווה האפקטיבי בסתיו הקודם (משמאל) ולבין ריכוז העמילן בשורשים בחורף הקודם (מימין).  
השפעות ההשקיה ועומס היבול על יחסי המים - המחקר הנוכחי מלמד על כושרם של עצי תפוח לעמוד בעקת מים חריפה הנמשכת לאורך מרבית עונת הגידול ואף בכזו החוזרת במשך שתי שנים רצופות. הישרדותו של העץ בתנאים כאלה מחייבת שימוש מיטבי במשאבים המעטים העומדים לרשותו. אין ספק כי תנאי העקה החריפים ביותר מתפתחים בקיץ, אז הקרינה השופעת, טמפרטורת האוויר הגבוהה והיום הארוך מקטינים את מידת הרוויה של אדי המים באטמוספירה ומגבירים את ההתאדות. האוויר-טרנספירציה היומית הטיפוסית ביום קיץ באזור מרום הגליל עומדת על כ-8 מ"מ. אספקת מים לעץ

בקצב של 1 או 2 מ"מ ביום מביאה לעקת מים חמורה למדי, כפי שמעיד פוטנציאל המים בגזע (איור 1). על מנת לברר מהם המנגנונים המאפשרים לעץ התפוח לשרוד בתנאים כאלה, ערכנו סדרת מדידות של קצב הפוטוסינתזה, מוליכות הפיוניות, פוטנציאל המים בגזע ובעלה, הפוטנציאל האוסמוטי בעלה וריכוזיהן של פחמימות מסיסות עיקריות בעלה. המדידות נערכו בשיא הקיץ בעצים שקיבלו שילובים של השקיה ודילול. תוצאות המדידות האלה מובאות בטבלה 4.

**טבלה 4: השפעותיהם הנפרדות של שיעור ההשקיה ושל עומס היבול על קצב הפוטוסינתזה (Pn), מוליכות הפיוניות (Gs) פוטנציאל מים כללי (LWP), אוסמוטי וטורגור בעלים ופוטנציאל המים בגזע (SWP). הטבלה מתארת את תוצאותיהם של מודלים דו-גורמיים. אותיות שונות מייצגות הבדלים מובהקים ( $\alpha=0.05$ ).**

Term	Irrigation rate		Crop level		Interaction
	high	low	heavy	light	
Pn ( $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	16.0 a	4.5 b	8.8 b	11.6 a	ns
Gs ( $\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	448 a	72 b	270 a	251 a	ns
SWP (MPa)	-0.76 a	-2.19 b	-1.72 b	-1.24 a	ns
LWP (MPa)	-1.17 a	-2.34 b	-1.97 b	-1.54 a	ns
Osmotic potential (Mpa)	-1.36 a	-1.66 b	-1.39 a	-1.63 b	ns
Calculated leaf Turgor (Mpa)	0.59 a	-0.53 b	-0.33 b	0.39 a	ns
Leaf sucrose ( $\text{mmol Kg}^{-1}$ )	43.3 a	34.6 a	37.4 a	40.6 a	ns
Leaf glucose ( $\text{mmol Kg}^{-1}$ )	8.6 a	11.0 a	7.9 a	11.7 a	ns
Leaf fructose ( $\text{mmol Kg}^{-1}$ )	44.9 a	50.1 a	41.0 a	53.9 a	ns
Leaf sorbitol ( $\text{mmol Kg}^{-1}$ )	366 b	618 a	438 b	546 a	ns
Total soluble NSC ( $\text{mmol Kg}^{-1}$ )	463 b	714 a	524 b	652 a	ns

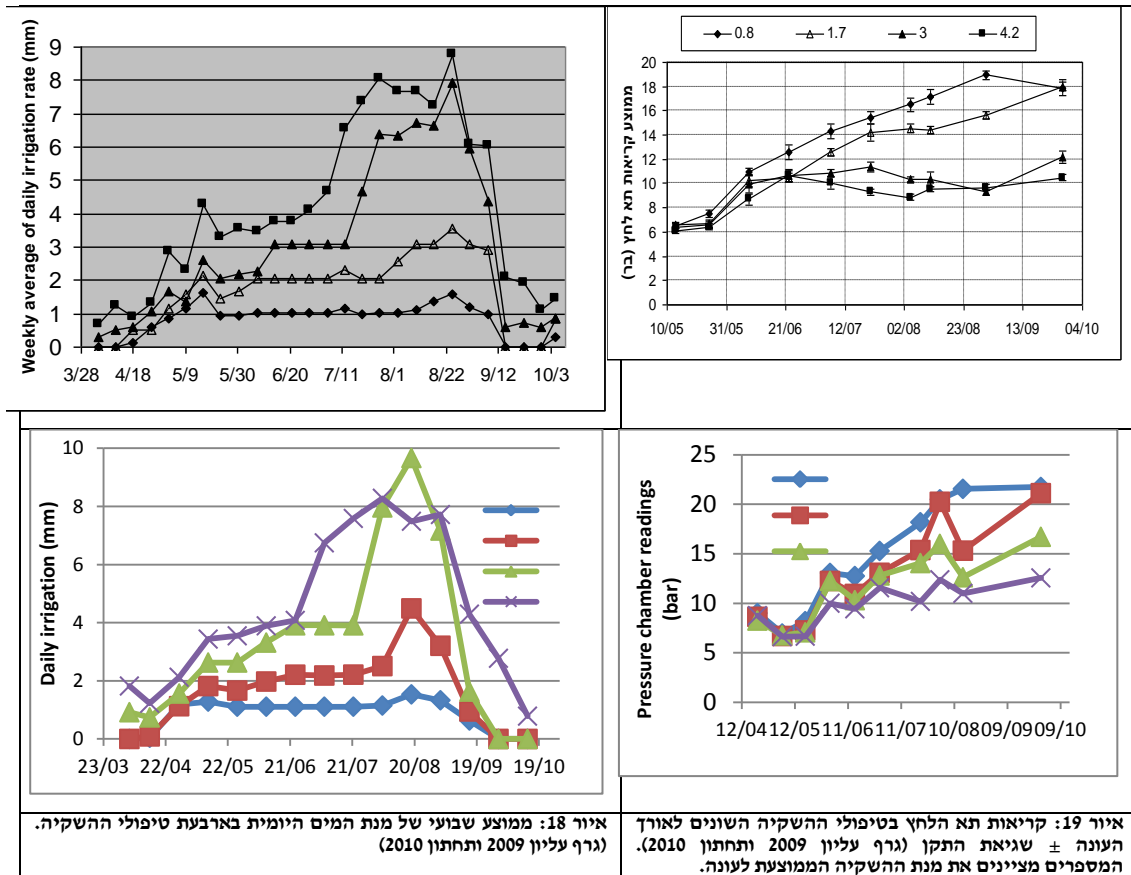
ממצאים אלה מעידים על תפקידו של הסורביטול בהתאמה האוסמוטית, המאפשרת לעצים הסובלים מעקת מים חריפה להפחית את הפוטנציאל האוסמוטי בעליהם ולשאוב מים מן הקרקע גם כשאלה מועטים. ריכוזן של הפחמימות המסיסות בעלה מסביר כ-96% מן הפוטנציאל האוסמוטי ושולל מעורבות משמעותית של מינרלים ומולקולות אורגניות אחרות בהתאמה האוסמוטית. ריכוז הסורביטול לבדו מסביר 70-80% מן הפוטנציאל האוסמוטי ושיעור זה עולה ככל שעקת המים חריפה יותר. יש לציין כי מלבד תפקידו בהתאמה האוסמוטית של העץ, הסורביטול משמש להסעת סוכרים מן העלים אל המבלעים השונים בעץ. התחרות בין שתי הפונקציות האלה באה לידי ביטוי בירידה בריכוז הסורביטול שחלה עם העליה בעומס היבול. מאידך, עקת מים גורמת לצבירה של סורביטול בעלים ולהפחתה בייצוא הפחמימות אל הפירות שבאה בנוסף על הקטנת קצב ייצורן בעקבות פחיתה במוליכות הפיוניות ובשיעור הפוטוסינתזה.

לסיכום, נראה כי היעדר הפגיעה בכושרו של העץ להכין פקעי פריחה, לפרוח ולחנוט פירות בהשפעת השקית חסר ואפילו קיצונית במשך תקופה ארוכה קשור, לפחות בחלקו, לעונת הגידול הארוכה המאפיינת את ארצנו. התקופה הממושכת שבין קטיפת הפרי וירידת טמפרטורת האוויר לערכים שאינם מאפשרים קיומה של פוטוסינתזה מהווה חלון הזדמנויות עבור העץ לאושש את מערכת השורשים שלו ולמלא את מאגרי הפחמימות שלו לפני בוא החורף.

## נקטרניה

מנות השקיה וקריאות תא הלחץ - ההשקיה המפוצלת בוצעה כמתכנן ב-2009 ו-2010 (איור 18, 19). הפריחה בשנת 2009 הייתה חלשה מאד ולא ניתן היה להגיע לעומסים המתוכננים. ב-2010 הייתה פריחה

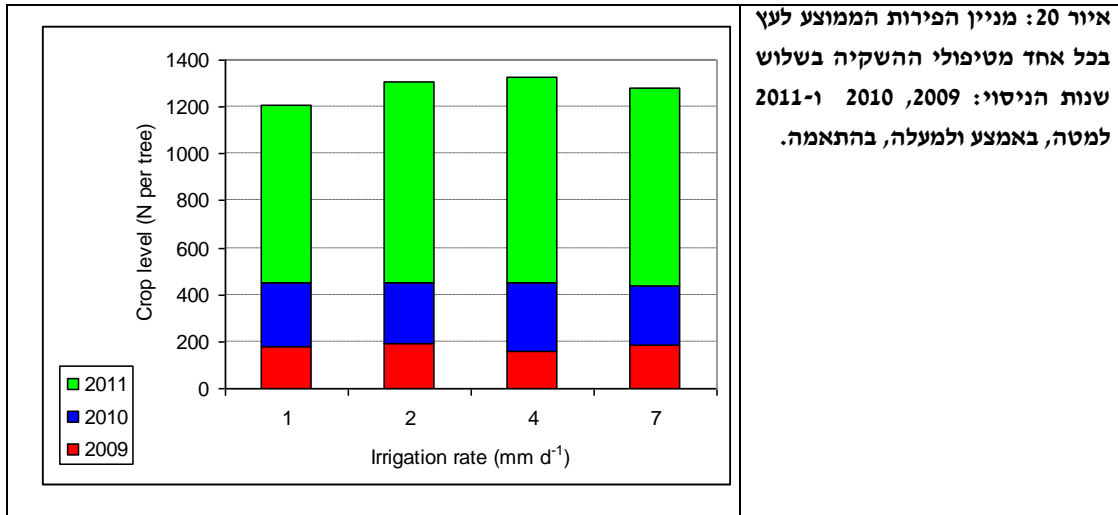
סבירה אך אחוז החנטה היה נמוך (כנראה עקב החורף החם) כך שגם בשנה זו לא ניתן היה להגיע לעומסים גבוהים.



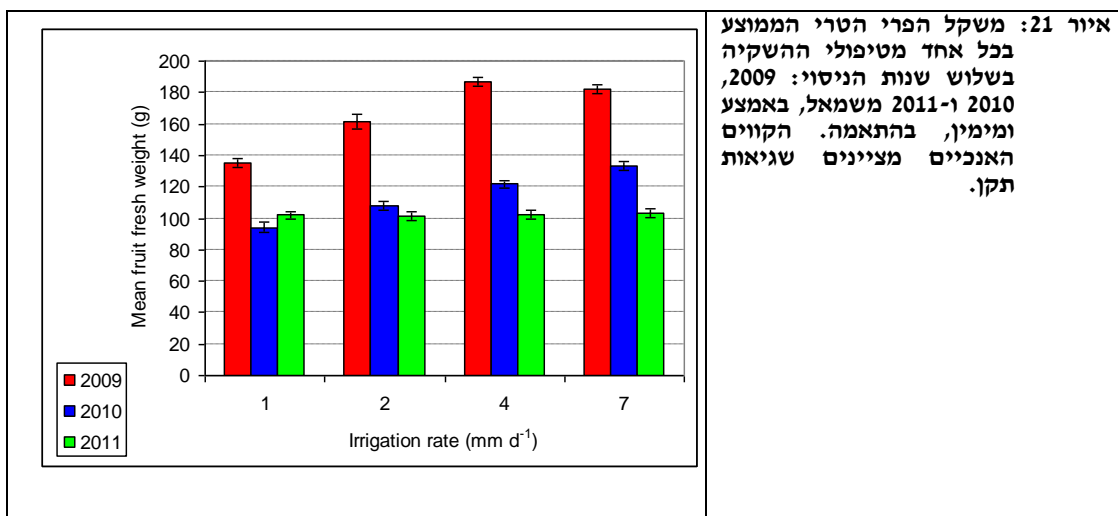
קריאות תא הלחץ עלו עם הירידה במנת המים (איור 19) כאשר הלחץ המקסימלי בשיא הקיץ היגיע ל-18 בר ב-2009 ו-20 בר ב-2010. על סמך ניסיון שנצבר בניסויים קודמים היו צפויים ערכים גבוהים יותר במנת ההשקיה הנמוכה וניתן אולי להסביר את הממצאים בנוף קטן יחסית ובעומס היבול הנמוך הידוע בהשפעתו על מוליכות הפיוניות ופוטנציאל המים.

השפעת מנת ההשקיה היומית על עומס היבול, משקלו וגודל הפרי - שתי העונות בהן הונהגו טיפולי השקיה דירנציאליים, 2009 ו-2010, התאפיינו בחנטה דלה שהקטינה את השפעת ההשקיה על גודל הפרי (איור 20). בשנת 2011 בה הושקו כל עצי הניסוי על פי ההמלצות המסחריות, החנטה בעצים שסבלו את עקת המים החמורה ביותר בשתי העונות הקודמות הייתה נמוכה במקצת (לא מובהק) מזו שנרשמה ביתר טיפולי ההשקיה.

בשנים 2009 ו-2010 משקל הפרי הממוצע בשני טיפולי ההשקיה הגבוהים היה הגדול ביותר (איור 21). משקל הפרי הממוצע בטיפול שקיבל 2 מ"מ ביום היה גדול יותר מזה שנמדד בעצים שקיבלו 1 מ"מ ביום בשתי השנים. בשנת 2011 לא נרשמו הבדלים מובהקים בגודל הפרי בין טיפולי ההשקיה השונים.



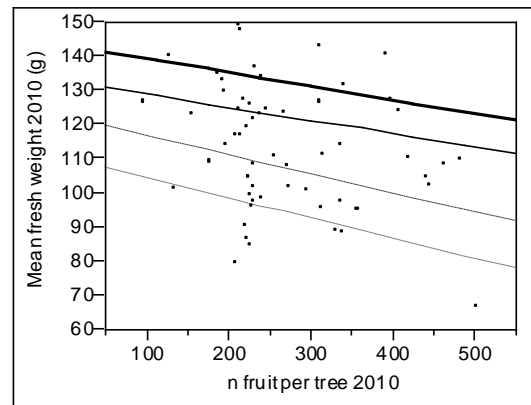
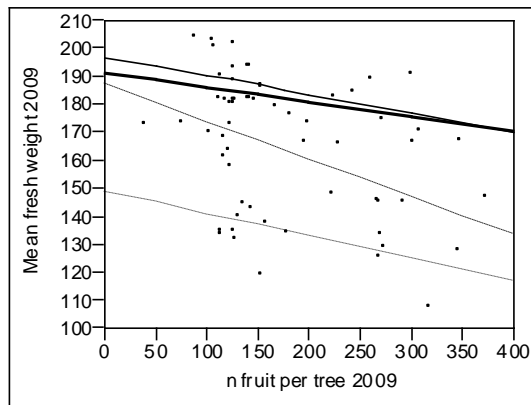
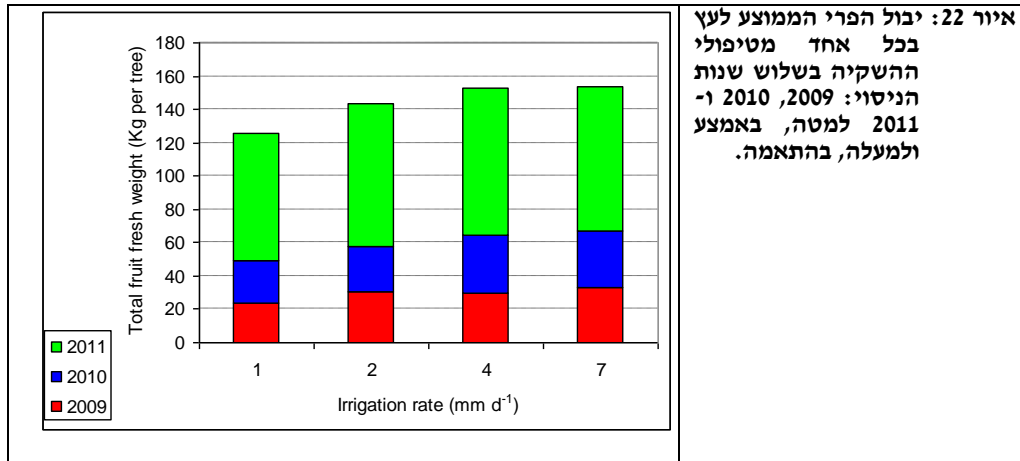
איור 20: מניין הפירות הממוצע לעץ בכל אחד מטיפולי השקיה בשלוש שנות הניסוי: 2009, 2010 ו-2011 למטה, באמצע ולמעלה, בהתאמה.



איור 21: משקל הפרי הטרי הממוצע בכל אחד מטיפולי השקיה בשלוש שנות הניסוי: 2009, 2010 ו-2011 משמאל, באמצע ומימין, בהתאמה. הקווים האנכיים מציינים שגיאות תקן.

יבול הפרי הממוצע לא נבדל בין טיפולי ההשקיה בעונת 2009 למרות המגמה. ב-2010 היבול לעץ היה גבוה יותר בשני טיפולי ההשקיה הגבוהים מאשר בשני הטיפולים הנמוכים. ב-2011 נרשם הבדל מובהק ביבול, שהיה גבוה בשלושת טיפולי ההשקיה הגבוהים מאשר בטיפולי ההשקיה הנמוך ביותר (איור 22). היבול המצטבר הגבוה ביותר בשלוש שנות הניסוי נתקבל בשני טיפולי ההשקיה הגבוהים, אחריהם בטיפולי העקה הקלה ואילו בטיפולי העקה החריפה התקבל היבול המצטבר הנמוך ביותר. ההבדלים ביבול הפרי הממוצע לעץ בין טיפולי ההשקיה מייצגים את ההבדלים שנרשמו במשקל הפרי הממוצע בשתי השנים הראשונות ואת הפחיתה בחנטה בטיפולי העקה החריפה בשנת הניסוי השלישית. יש לציין כי שיעור ההשקיה השפיע באופן מכריע על משקל הפרי הבודד הממוצע. לעומתו, משקל הפרי ירד מעט עם מניין הפירות על העץ (איור 23), כנראה בגלל עומס היבול הקל שאפיין את שתי שנות הניסוי הראשונות. בתנאים אלה לא היה בכוחו של דילול הפרי כדי לחפות על השקיית חסר.

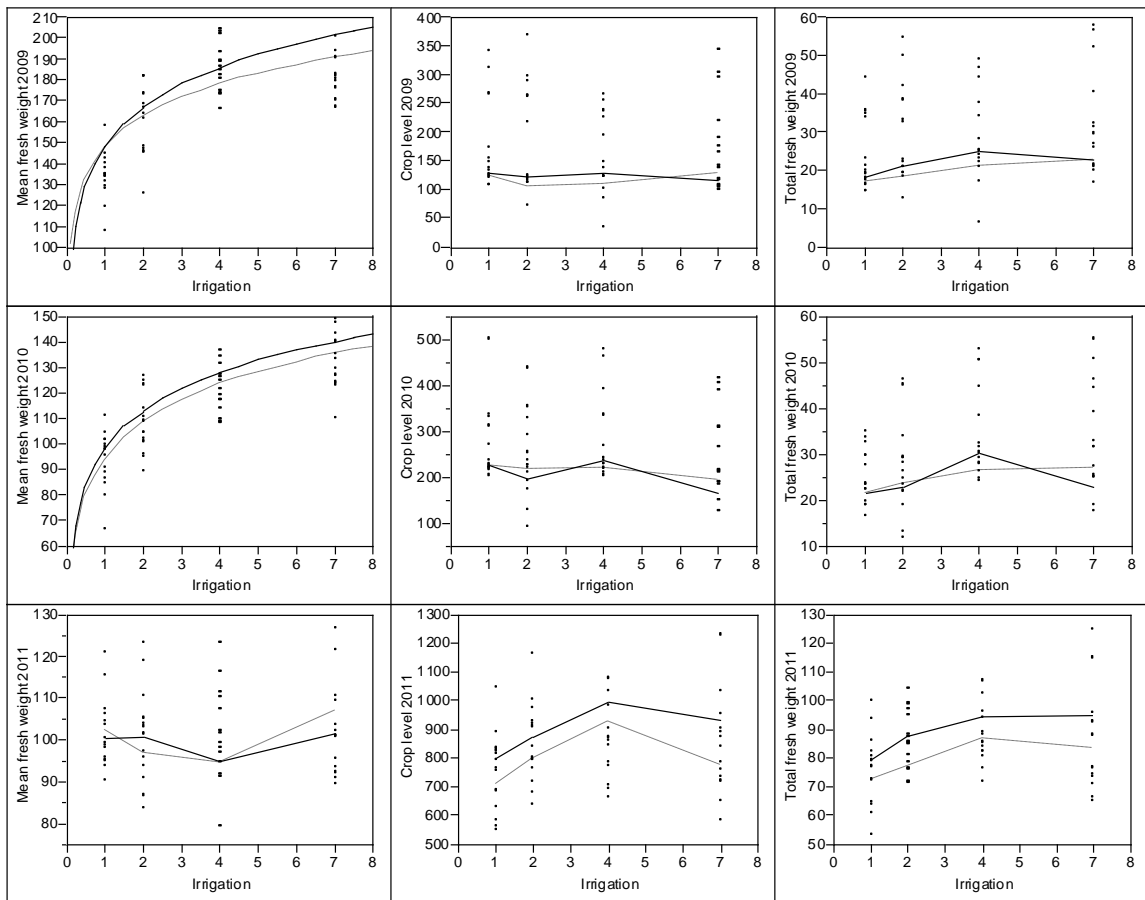




— Linear Fit Irrigation==1  
 — Linear Fit Irrigation==2  
 — Linear Fit Irrigation==4  
 — Linear Fit Irrigation==7

**איור 23: השפעת מניין הפירות על העץ על משקל הפרי הטרי הממוצע בכל אחד מטיפולי ההשקיה בשנים 2009 (משמאל) ו-2010 (מימין).**

השפעת גיזום שלד העץ על פוריותו ועל גודל הפרי - תכנית הניסוי כללה שתי וריאציות של טיפול עומס היבול הנמוך: האחת כללה הסרה של שליש מענפי השלד של העץ בעוד השניה הותירה את שלד העץ המקורי על כנו. מטרת הסרת ענפי השלד הייתה הפחתת שטח העלווה על מנת להקטין את צריכת המים של העצים. השוואת היבולים המצטברים ומשקל הפרי הבודד הממוצע בין שני טיפולים אלה מבהירה כי הגיזום השלדי לא תרם לשיפור מצב המים של העצים (איור 24). למעשה, הפחתת שטח העלווה הביאה לירידה הן במספר הפירות וביבול הממוצע לעץ (הבדל מובהק בשנת 2011) והן בגודל הפרי הממוצע (הבדל מובהק בשנת 2009).



— Fit Each Value Crop level group=="low"  
 - - - Fit Each Value Crop level group=="low + scaffold thinning"

איור 24: השפעת טיפול ההשקיה על משקלו הטרי הממוצע של הפרי (שמאל), על מניין הפירות הממוצע לעץ (מרכז) ועל היבול הממוצע לעץ (ימין) בכל אחת מן השנים 2009 (למעלה), 2010 (מרכז) ו-2011 (למטה) לאחר הסרת שליש מענפי השלד של העץ (קו מקווקו) ובביקורת הלא גזומה (קו רצוף).