דו"ח שנתי מספר 23-03-0001

מוגש למדען הראשי – משרד החקלאות ופיתוח הכפר

שנת המחקר: 2017 (1 מתוך 3 שנים)

השפעת עומס היבול בדקל התמר על תנועת המים ברצף קרקע-צמח-אטמוספירה

Crop load effects on SPAC water fluxes of date palms

מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות ולהנהלת ענף קרקע ומים

ע"י:

אפי טריפלר מו"פ ערבה תיכונה וצפונית- תמר.

נפתלי לזרוביץ' אוניברסיטת בן-גוריון בנגב.

Effi Tripler, Soil and Water, Central and Northern Arava R&D-Tamar. Sapir, M.P. Arava 86825. Email: effi@arava.co.il.

Naftali Lazarovitch, Wyler Department of Dryland Agriculture, French Associates Institute for Agriculture and Biotechnology of Dryland, Ben-Gurion University of the Negev, Sede Boqer Campus, 84990. Email: lazarovi@bgu.ac.il.

תקציר

מתחילת שנות ה-90 חלה עלייה מתמדת בהיקף השטחים של מטעי התמרים, בעוד כי ההיצע למים להשקית תמרים בערבה עולה בקצב איטי יותר. המחקר הנוכחי מתרכז בקשר בין זרימת המים ליבול בדקל התמר, כשההנחה היא ששינוי במבלע סוכרים חזק כמו הפרי, ישפיע על מידת הייצור הפוטוסינטטי בעלים ומכאן על צריכת המים של עץ התמר. על מנת להגיע למשטר השקיה יעיל, המביא לפרי איכותי ביותר מחד, ושאיננו בזבזני ומונע גידול בהיקף הנטיעות (בשל מגבלת מכסות המים) מאידך, יש להבין טוב יותר את אופי השימוש של דקל התמר במי ההשקיה כחלק ממערכת של קרקע-צמח-אטמוספירה. מטרת המחקר היא לבחון את הקשרים בין עומס היבול לבין צריכת המים של העץ בשלבים שונים במהלך עונת הגידול של התמר; ובין השימוש במים, השימוש במוטמעים והפעילות הפוטוסינטטית של העץ.

12 עצי תמר בני שבע שנים מהזן מג'הול הממוקמים בתחנת יאיר בחצבה חולקו לשני טיפולי עומס יבול (0 ו- 100 אחוזי פרי). בכדי לאפיין את מצב המים בעץ ובסביבתו, מתחילת חודש אפריל נמדדו בצורה רציפה פרמטרים שונים בקרקע, בגזע ובאוויר ונאספו נתונים תקופתיים לגבי גודל הפרי, רמת הסוכר בו ואיכותו וכן מדידות פוטוסינתזה בעלים. נמצא כי עצי תמר בעומס יבול גבוה מטמיעים יותר פד"ח, צומחים לאט יותר וצורכים יותר מים מאשר עצים בעומס יבול בינוני ונמוך. בתקופת צבירת הסוכר הבדלים אלו גדלים. עצים בעלי עומס יבול רב מאופיינים בקצבי צימוח וגטטיבי איטי יותר בתקופה הנ"ל, בהשוואה לעצים בעלי עומס יבול נמוך. השפעת עומסי היבול על שימוש במים וחילופי גזים המשיכה גם לאחר הגדיד, והתבטאה בקצבים גבוהים העצים שהיו עמוסים בפירות, בהשוואה לעצים ללא פי, כנראה לצורך מילוי של אוגרי פחמימות ומים בעץ יש צורך לבסס את הממצאים על ידי ניסויי ההמשך המתוכננים בעונה 2- 3, על מנת לראות המשך המגמה בעצים מבחינת צריכת מים ומאזני פחמן.

מבוא

הצורך בייעול השימוש במים, תוך התחשבות במדדים פיזיולוגיים, נמצא במרכז הבמה של המחקר החקלאי. הבעיה העיקרית בהכוונת השקיה היא אומדן צריכת המים של הגידול, בהתאם לתנאים סביבתיים (אקלים, סוג קרקע ואיכות המים) ולמצב הפיזיולוגי של הצמח. השיטות לקבלת אומדן זה מגוונות וכוללות גישות קרקעיות, אטמוספריות ושיטות המתבססות על חיישנים צמחיים. ענף התמרים (*Phoenix dactylifera* L.) צומח בשיעור מתמיד וגבוה של כ-10% בשנה, והכנסותיו ב-2014 נאמדות בכ-600 מיליון ש"ח, מהן 400 מיליון ש"ח בשווקי היצוא. גורם הייצור העיקרי המגביל את פיתוח הענף הוא זמינות המים להשקיה, היות ובעשרים השנים האחרונות שולש היקפם של מטעי התמרים בארץ, ללא שינוי בכמות מי השקיה העומדים לרשות המגדלים. מאחר ותמר נחשב צרכן מים בכמות נדיבה

(Tripler et al., 2011), ידיעה מדויקת יותר של כמויות המים הדרושות לו, בהתאם לשלב הגידול, הינה בעלת פוטנציאל גדול לחיסכון במים.

הארכיטקטורה של מטעי דקלי התמרים היא בעלת דפוס ייחודי. העצים גבוהים ועלוותם מרוכזת בחלקם העליון בלבד. מבנה זה יוצר למעשה שלוש סביבות מיקרו-אקלים שונות ומובחנות – שכבת העלווה המגיעה בעץ הבוגר לשטח של כ-60-40 $מ^2$, השכבה שמתחתיה, והשכבה שמעליה. גודלו של העץ מביא לצפיפות נטיעה נמוכה של כ-12 עצים לדונם. שוויו של כל עץ בוגר הינו אלפי שקלים והתמורה השנתית המתקבלת מיבול עץ בודד בערבה היא רבה ועומדת בתחום של 1000- 1,500 ₪ ויותר לשנה. התמר הינו עץ של נאות מדבר המסוגל באופן יחסי לעמוד בתנאי יובש. יחד עם זאת, על מנת לקבל יבול איכותי רב, דרושה מנת מים רבה (Zaid, 1999 ; Tripler et al., 2011). מנת המים המקסימאלית המיושמת בערבה התיכונה להשקית עץ בודד יכולה לעלות על 1200 ליטרים ליום. ירידה זמנית של תכולת המים בקרקע, אל מתחת לאופטימום, יכולה לגרום לנזק ניכר ביבול של העץ. לעקת מים זמנית, ולו לזמן קצר (מספר שעות), יכולות להיות גם השפעות ארוכות טווח על גודל הפרי, מספר התפרחות, ומספר העלים שייווצרו. ניתן לזהות מחסור במים על פי ירידה בקצב גידול הלולב, אולם, עדיין לא ניתן ליישם שיטה זו ככלי לניטור עקות לשטחים נרחבים, מכיוון שהמדידה היא ידנית וברזולוציה גסה, והן בשל פערי הידע הנוגעים לכמות החיישנים הנדרשים לייצג נאמנה את ההתארכות הלולב האופיינית בחלקה.

הדיות יוצרת הפרש בפוטנציאל המים בעץ. גרדיינט זה גורם לתנועה של מים מהקרקע, דרך השורשים ומערכת ההובלה בגזע אל העלים ואל האטמוספירה. הפחמימות הנוצרות בעלים, עוברות לשאר חלקי הצמח בשיפה, על פי הצורך של אותו איבר. רקמה בה הצורך גבוה נקראת מבלע חזק, לדוגמא- הפרי. ריבוי פרי בעץ ידרוש כמות פחמימות גבוהה המבוטאת בעליה בקצב הפוטוסינתזה (Genard et al., 2008) ובשל כך, מוליכות הפיוניות תגדל, מה שיוביל לאיבוד מים מוגבר (Hansen, 1971; Gucci et al., 1991; Palmer, 1992; Gucci et al., 2007; Wibbe and Blanke, 1995; Naor, 1997; Nard et al., 2008; Naor et al., 2013; Bustan et al., 2016 Wünsche et al., 2000). תופעה הפוכה ידועה בעצי פרי בה עודף יבול מגביר את עקת המים וגורם לירידה בתנועת המים (Yonemoto *et al*., 2004) או תופעה של ירידה במוליכות הפיוניות עם עליה בקצב תנועת המים בגזע בעצים עם עומס יבול גבוה (Mpelasoka *et al*., 2001). קצב הטמעת הפחמן הדו חמצני לא בהכרח יושפע מעומס היבול כיוון שמוטמעים יכולים לשמש לצימוח וגטטיבי מוגבר בעומס יבול נמוך (Petrie *et al*., 2000; Whiting and Lang, 2004). אף על פי כן, בתמר, הפרי נחשב למבלע חזק יותר מאשר הצימוח (ברנשטיין, 2004). בנוסף, דקל התמר ידוע כ'איזוהידרי', מווסת את פתיחת הפיוניות בהתאם למצב המים. כאשר ישנו מחסור במים, יסגור העץ את הפיוניות ולא יאפשר איבוד מים על אף עצירת תהליך הפוטוסינתזה (Renninger *et al*., 2010). הבדלים אלו באסטרטגיות השונות בשימוש במים מגבירים

את הצורך בהבנה טובה יותר של אופי השימוש במים של דקל התמר. לכאורה עשוי להיווצר קונפליקט בין שתי תכונות אלה. אנו משערים כי התקופה הקריטית בה עומס יבול הפירות משפיע על משק המים של התמר היא צבירת הביומאסה של הפירות, שלב צבירת הסוכר. בשלב זה הייצור הפוטוסינטטי גבוה, ולפיכך, קצב קיבוע הפחמן האטמוספירי גבוה. בהתאם לכך, מוליכות הפיוניות גבוהה ומכאן סביר כי קיימת השפעת גומלין בין עומס היבול לבין השימוש במים של תמרים בתקופה זו.

השערת החקר

הנחת המחקר גורסת כי שינוי במבלע סוכרים חזק כמו הפרי, ישפיע על מידת הייצור הפוטוסינטטי בעלים, ומכאן על צריכת המים של עץ התמר. אנו סבורים כי צפויים הבדלים באופי צריכת המים בין טיפולי עומס יבול שונים במהלך תקופות שונות בעונת הגידול, מגידול הפרי המתחיל באביב ועד תקופת צבירת הסוכר בסוף הקיץ.

מטרות המחקר

המטרה העיקרית הינה לבחון את הקשרים בין עומס היבול לבין צריכת המים וחילוף גזים של העץ. המטרות הספציפיות הינן:

1. ללמוד את הקשר בין עומס היבול לבין שטפי מים במערכת הרצף קרקע- תמר- אטמוספירה, בשלבים שונים של עונת הגידול של התמר.
2. לאפיין את חילופי הגזים בתמר תחת רמות עומסי יבול שונים, במהלך עונת הגידול.
3. ללמוד כיצד קצבי הצימוח של התמר מושפעים מרמות יבול שונות.
4. לחקור האם ניתן להעלות את רמת היבול הנוכחית, על ידי הגברה של מנות ההשקיה.
5. לפתח מערכת אינטגרטיבית למדידת התארכות לולב, בעלת דיוק רב וממשק משתמש מיטבי.
6. כיול מודל סיפרתי קיים המחשב מאזני מים ופחמן באקוסיסטמה של מטע תמרים מסחריים, ולבצע הדמיות של הקצאה של פחמן בתמר ושטף מים בתמר בתנאים שונים של אקלים, עומס יבול וממשקי השקיה.

פירוט עיקרי הניסויים ותוצאות המחקר

התקנת חיישני גרנייר בגזעי העצים

חיישני גרנייר שפותחו וכויילו בתמרים מזן מג'הול על ידי Sperling et al. (2012), הותקנו ב- 12 עצים בגובה 1.5 מ' מפני הקרקע (תמונה 1). המערכת מורכבת מצמד חיישנים המוחדרים לעומק 20 ס"מ, באמצעות קידוח בקוטר 8 mm. החיישן העליון חומם עם שטף חום קבוע, על ידי נגד (R=500 Ω) אשר קיבל מתח קבוע של 10 VDC, ואיפשר חימום קבוע בהספק 0.2 W. וממוקם 20 ס"מ מעל לחיישן התחתון. מדידת הטמפרטורה בזוג החיישנים בוצעה על ידי שימוש בצמד חומני כרום- קונסטנטן

(OMEGA Engineering, INC). הפרש הטמפרטורה בין שני החיישנים הינו קורלטיבי לקצב זרימת המים בגזע (Granier, 1985):

$$k = \frac{\Delta T_{Max} - \Delta T}{\Delta T} \quad [1]$$

כאשר ΔT_{Max} הוא הפרש הטמפרטורה המכסימלי הנמדד החיישנים ו k הוא קבוע הפרופורציה. מכל עץ חוברו לאוגר נתונים CR-1000 (Campbell Scientific). אוגר הנתונים מוקם בשטח, ותקשורת בפרוטוקול RS-232 העבירה את הנתונים למחשב PC, שהוצב בארון בקרה משותף, ביחד עם הבקר. תוכנית MATLB ייעודית נכתבה על מנת לחשב את שטף המים בגזע (SF) לפי:

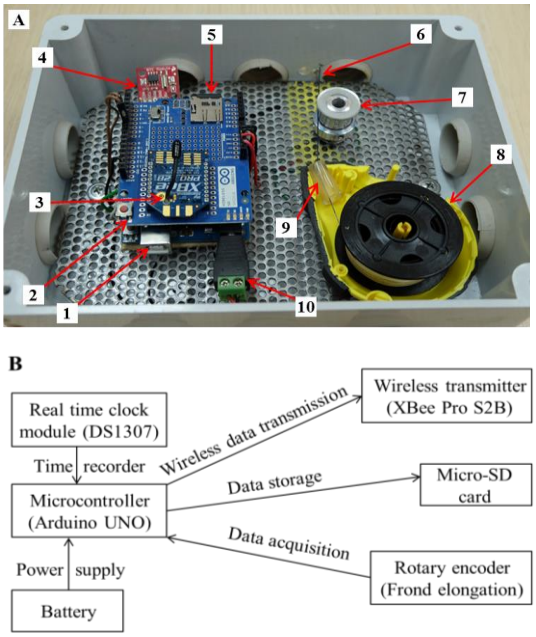
תמונה 1: אופן הצבת חיישני גרנייר בעצי התמרים בתחנת יאיר.

$$SF = 193.2 \cdot K^{1.3} \cdot A_{eff} \quad [2]$$

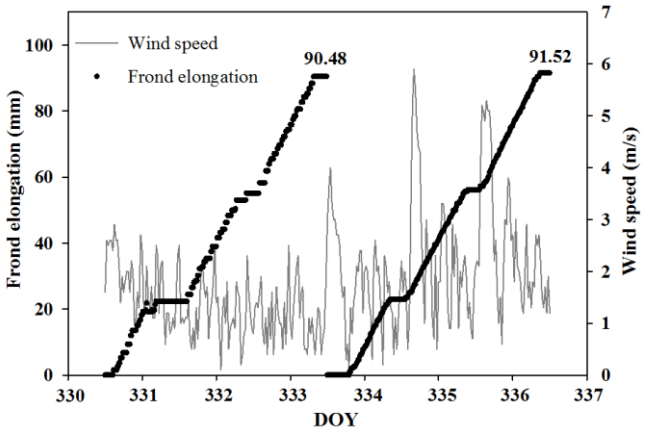
כאשר, A_{eff} הוא שטח החתך האפקטיבי של הגזע.

פיתוח חיישן ובקר למדידה, רישום ושידור אל-חוטי של התארכות הלולב

החיישן מבוסס על חוט הרתום ללולב (איור 1). החוט מגולגל על גלגלת המחוברת לנגד משתנה (1/4 inch, 24 pulses, EVE-GC2F2524M encoder, Panasonic Corp.). התארכות הלולב מסובבת את הגלגלת וגורם להיווצרות פולס שגדלו 0.5 mm. מתח של 5 VDC סופק למערכת, שחוברה לבקר Arduino (Arduino Mega 2560, Arduino CC). היתרון בבקר זה נעוץ הן בעלותו הנמוכה והן באפשרות לחבר אליו חיישנים נוספים. המשדר אל-חוטי (XBee Pro S2B, DiGi International Inc., MN, USA), המוחבר לבקר מקנה אפשרות להתקין מספר רב של חיישני התארכות לולב במטע, בתנאי שהמקלט והמשדר מותקנים מתחת לגובה הכפות (Rao et al., 2016). הבקר ניהל ותזמן את המדידות, איסוף הנתונים ושידורם למחשב על ידי אלגוריתם שפותח בסביבת Arduino Integrated Development Environment. כיול של המדידה בוצע ב- 4 טמפרטורות (4, 25 ו- 67^{o}C), ולא נמצאה רגישות של המכשיר לשינויי טמפרטורה, ובנוסף, מדידה רציפה של התארכות הלולב (איור 2) לא הושפעה משינויים עיתיים במהירות הרוח (Zhen et al., 2017).



איור 1: A- מבט על של מערכת למדידת התארכות הלולב. [1] לוח הבקר; [2] לוח השדר האלחוטי; [3] מודול תקשורת XBee; [4] מודול השעון וזמן האמת; [5] חריץ כרטיס הזיכרון (SD); [6] חוט ההתארכות המחובר אל הלולב; [7] גלגלת; [8] גלגל נמתח קפיצי; [9] צינור שקוף המוליך את חוט ההתארכות; [10] נקודת חיבור מתח חשמל DC. B- תרשים אופן פעולת המערכת. מתוך Zhen et al. (2017).

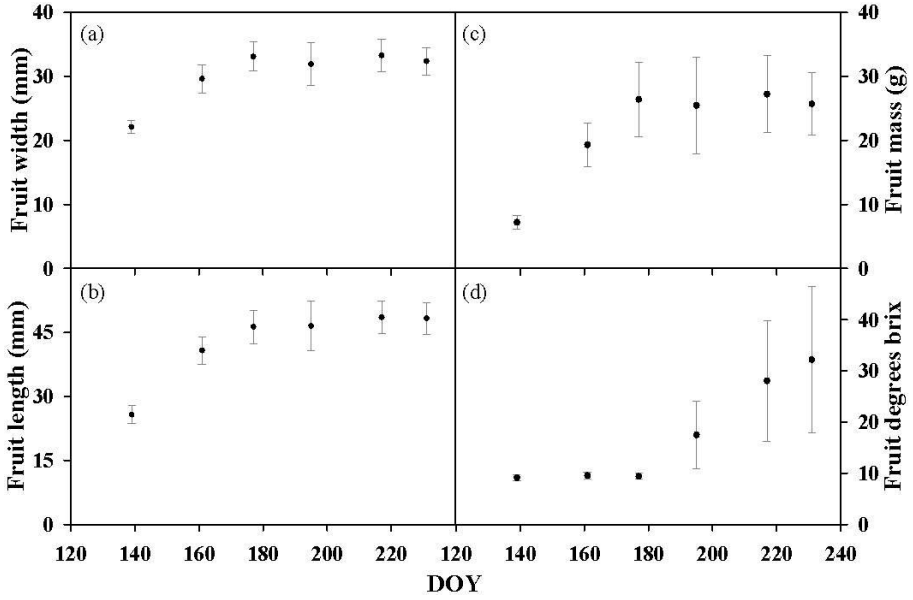


איור 2: הדגם העיתי של התארכות הלולב (ניקוד שחור) ומהירות הרוח (עקום רציף).

הקמת ניסוי שדה לבחינה של מדדים צמחיים ושטפי מים בתגובה ל- 2 רמות עומסי פרי

הניסוי נערך במו"פ ערבה, תחנת יאיר בחצבה._12 עצים בני 10 שנים חולקו ל-2 טיפולי עומס יבול בשש חזרות: עומסי יבול שונים נחנו בשלוש רמות: עומס מלא (100%), וללא פרי (0%). כל העצים הושקו במנת מים אחידה (בטפטוף, 4 טפטפות של 24 ליטר/שעה לעץ) לפי מנת המים המומלצת על יד שה"מ לערבה התיכונה. במשטר עומס היבול המלא כל האשכולות והפירות הושארו. בטיפול ללא פרי הוסרו כל האשכולות בשלב הפריחה. במהלך הניסוי נמדדו התארכות הלולב ושטף מים בגזע (דגם תוך-יומי, וקצב יומי), את תוספת הכפות החדשית ואת היבול מכל עץ.

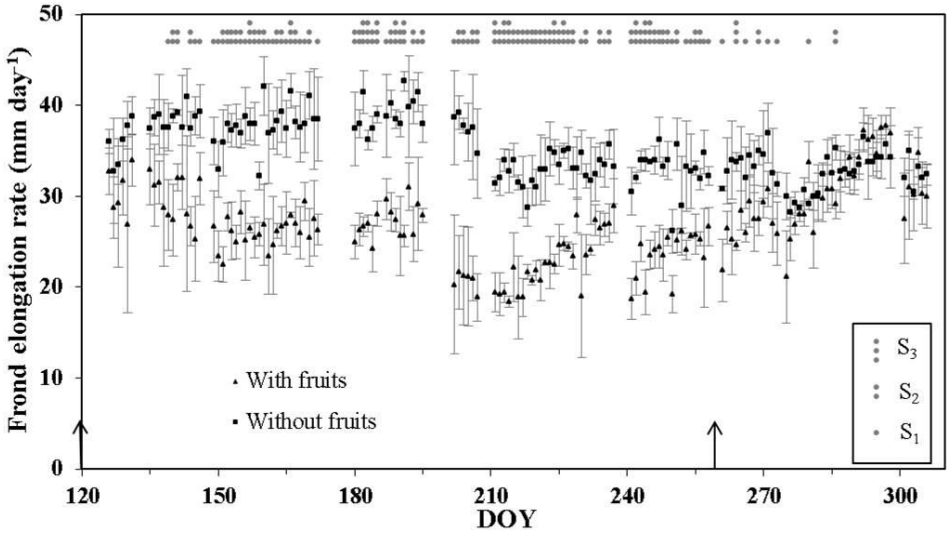
ההפריה החלה בתחילת מרץ והסתיימה כעבור 42 יום. הפרי הגיע לשיא מימדיו הפיזיקליים, קרי, עובי, אורך ומשקל טרי, בסוף יוני (איור 3: a, b ו c, בהתאמה). החל מתקופה זו (DOY>180), הבריקס (איור 3d) החל לעלות באופן משמעותי, ובתוך חודשיים הגיע לערך המכסימלי הנמדד.



איור 3: הדגם העיתי של ההתפתחות המימדים הפיזיים של הפירות: a- עובי פרי; b- אורך הפרי; c- משקל פרי טרי. איור d מציג את מדידות הבריקס. רווחי השגיאה מייצגים שגיאת תקן (n=6).

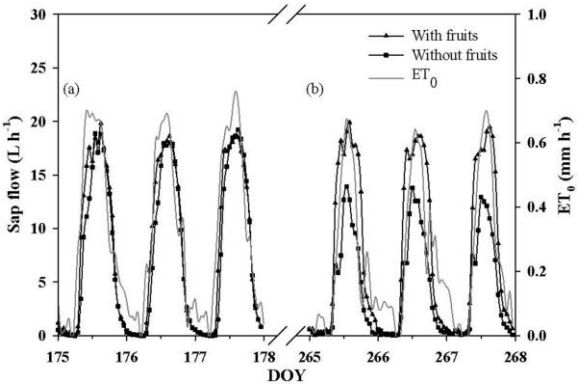
הדגם העיתי של התארכות הלולב, המוצג באיור 4, מראה הבדלים בקצב היומי של ההתארכות נמדדו החל ממועד הסרת הפריחות בטיפול ללא פירות (0%) בתחילת מרץ. קבצי ההתארכות הנמוכים נמדדו, בטיפול עם עומס הפירות המכסימלי (100%), לאורך כל תקופת התפתחות הפירות ועד למועד סיום הגדיד בסוף ספטמבר 2016 (DOY=258). הפערים המכסימליים נמדדו ביולי ועמדו על תחום של 17-19 מ"מ ליממה. שיעורי התארכות יומיים דומים נמדדו מתום הגדיד ועד לאמצע נובמבר. ובנוסף, החל סוף ספטמבר, קצב התארכות הלולב בטיפול 100% עלה מונוטונית למשך כ -30 יום, עקב היעדר פרי ותנאי טמפרטורות נוחות. בתחילת נובמבר הקצב החל לרדת בשתי רמות היבול עקב התקררות עונתית.

המהלך היומי של שטף המים בגזע (איור 5) מצביע על כך שהוא עוקב אחר קצב ההתאדות הפוטנציאלית. השטף עולה באופן חד החל מ 07-08:00, מגיע לשיא בין 12:00 ל- 15:00, ואז דועך עד למינימום מעט לאחר חצות. בתקופה 24- 26 ליוני (DOY=175-178), שמצויה כ- 40 יום לפני הגדיד, נמדדו שטפים דומים בשתי רמות עומס היבול, בעוד שבסוף ספטמבר (22- 25 לחודש, DOY= 265- 268, בהתאמה) שטפי המים בטיפול 100% היו גבוהים בכ- 25% מהשטפים המדודים בטיפול 0%.

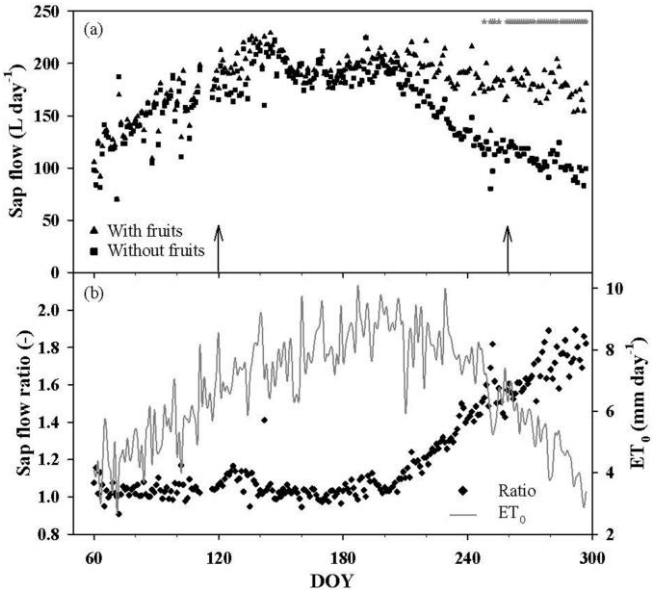


איור 4: הדגם העיתי של קצב התארכות הלולב (מ"מ ליממה). מספר הכוכביות מציין את המובהקות הסטטיסטית במבחן Tukey Krammer: ×- p<0.05; ××- p<0.01; ×××- p<0.001. רווחי השגיאה מייצגים שגיאת תקן (n=6).

הדגם העונתי של שטפי המים (איור 6), שנמדד באמצעות חיישני גרנייר, מראה על עלייה מונוטונית בשטפי המים החל מסוף פברואר ועד ליוני. פערים בשטפי המים בין שתי רמות עומסי היבול החלו להימדד בתחילת אוגוסט במהלך הבשלת הפרי, הבדל מובהק נמצא החל מסוף אוגוסט ועד לסוף אוקטובר. קצב הירידה של השטפים היומיים מתחילת הגדיד ועד לתום המדידות, בטיפול 100% יבול, היה נמוך מזה שנמדד בטיפול ללא פירות. בנוסף, הפער בשטפים החל מתחילת ספטמבר (איור 6b), הלך וגדל באופן מונוטוני.



איור 5: הדגם היומי של שטפי המים בגזע וההתאדות הפוטנציאלית המחושבת על פי פנמן.

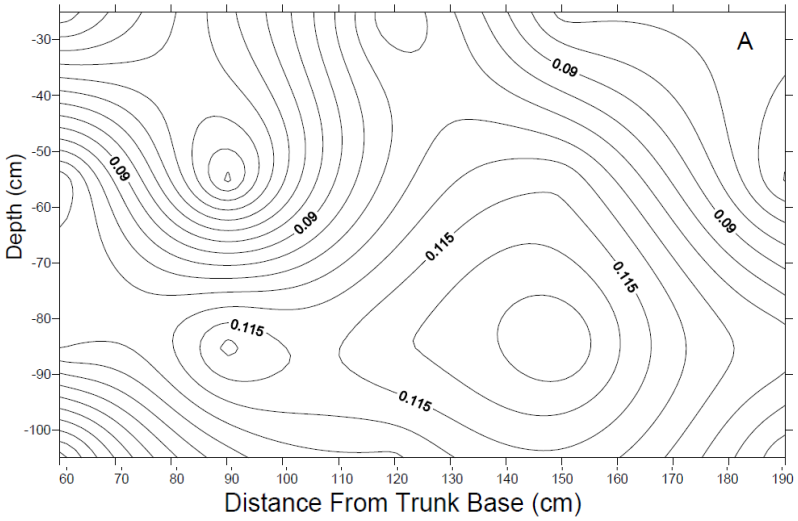


איור 6: הדגם העיתי של שטפי המים בגזע (איור a), והפער בשטפי המים המדודים בין שתי רמות עומס היבול (איור b).

התקנת חיישני TDR למדידת הדגם הדו-מימדי של תכולת הרטיבות בשתי רמות עומס יבול

בכל אחד מרמות עומס היבול הותקנו מערכת המכילה 28 מדי תכולת רטיבות מסוג TDR (CS-630. Campbell sci. Logan. Utah), במטריצה של 7 x 4 ובמרווחים של 30 ס"מ בין כל חיישן ובמרחק של 15 ס"מ משלוחת הטפטוף. מדידות המקדם הדיאלקטרי נקלטו לאוגר נתונים מסוג CR-800 (Campbell sci. Logan. Utah). אוגר הנתונים חישב את תכולות הרטיבות לפי הפולינום של Topp (1977). במהלך שתי עונות הניסוי הראשונות אנו נאפיין את דגם קליטת המים העתי והמרחבי, ואת היחס בינו לבין שטף המים בגזע, בשתי רמות היבול.

הדגם הרדיאלי של תכולת רטיבות, מהגזע ועל למטר ממנו (איור 7), בעת הנחת החיישנים, חושב על ידי אינטרפולציה מסדר שני של אנסמבל המדידה. הטפטפת מצויה במרחק 30 ס"מ מהגזע. מהאיור נראה כי מרכז המאסה של בית השורשים מצוי בעומק ½ מטר מתחת לפני הקרקע, וכי תכולת רטיבות נמוכות מצויות בשולי בצל ההרטבה.

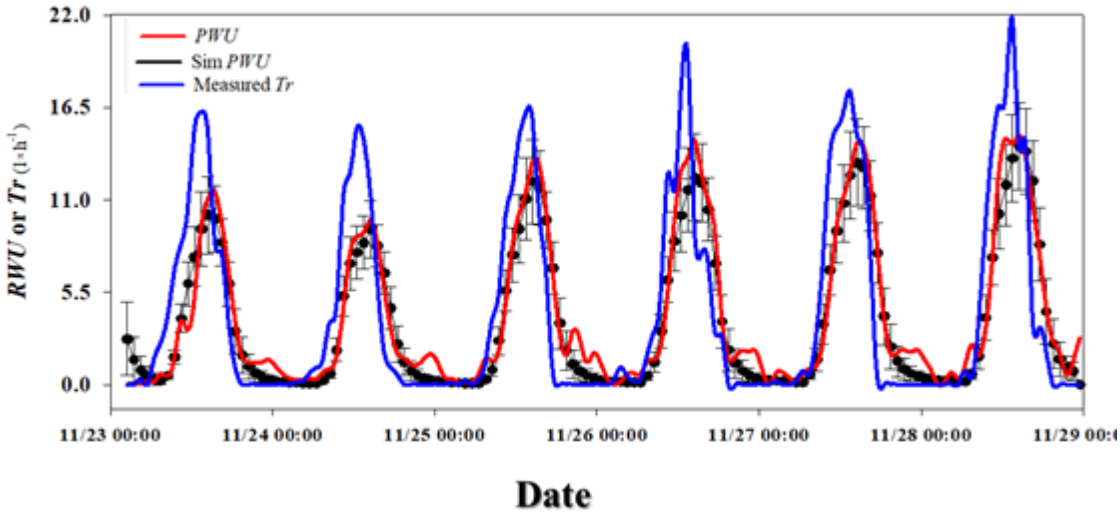


איור 7: הדגם רדיאלי של תכולת רטיבות, מדוד מבסיס הגזע של עץ תמר, כפי שנמדדה בעת הנחת חיישני הרטיבות.

כיול מודל ספרתי חד-מימדי

המודל הנבחר לצורך חישוב מאזני מים ופחמן במערכת הרצף קרקע-תמר-אטמוספירה הוא CoupModel (Jansson and Karlberg, 2004). מודל זה כויל למערכת הגידול הקרקעית והצמחית על בסיס נתוני מאזני ביומסה ומים, הלקוחים מ Tripler et al. (2011), ומ- Spreling et al. (2014). תהליך הכיול הראשוני כולל בחירה של פרמטרים וטווח ערכים. תהליך הכיול כלל מספר רב של הדמיות (50,000- 90,000), כאשר בכל הדמיה מופעל ממשק MCM, לבחירת הערך הנוכחי של כל פרמטר. בהמשך, בוצעה אנליזה של אי הוודאות של הפרמטרים המכוילים, ובניתוח של מספר פרמטרים ומומנטים סטטיסטיים, המחשבים את השגיאה של חיזוי המודל בהשוואה למדידות בפועל. ולפיכך, ובהתאם לקריטריונים סטטיסטיים מוגדרים על ידי המשתמש, נבחרו הערכים של הפרמטרים ביחס להתפלגות מהדמיות שעונות על הקריטריונים הסטטיסטיים.

בעונה זו CoupModel כויל באופן חצי-אוטומטי, בפרוצדורת GLUE (Generalized Likelihood Uncertainty Estimation), המוכלת במודל, לפרמטרים הנוגעים לרצף המים, הכוללים זרימה בקרקע, קליטה לעץ, אוגר המים של העץ ופרמטרים הנוגעים לשכבת הגבול בין העלה לאטמוספירה. נבחרו 212 הרצות שענו לקריטריונים של $RMSE$= 5 $l \cdot h^{-1}$ ו- R^2=0.9. האנסמבל של אותן הרצות הניב מומנטים סטטיסטיים המוצגים בטבלה 1. בנוסף, התאמה טובה נמצאה בין הטרנספירציה וקליטת המים לבין חישובם על ידי המודל (איור 8).



איור 8: דגם עיתי של טרנספירציה (*Tr*, עקום כחול) וקליטת מים ע"י השורשים (*PWU*, עקום אדום) מדודות מהליזימטרים. אנסמבל של הרצות המודל (n=212), שענו על קריטריונים סטטיסטיים, מיוצג ע"י העקום השחור (sim PWU). רווחי השגיאה מייצגים סטיית תקן.

טבלה 1: תחום ערכי המומנטים הסטטיסטיים של 212 ההרצות שעונות על הקריטריונים R^2=0.9 ו- *RMSE*= 5 $l \cdot h^{-1}$ ו- A_0 ו- *A* הם השיפוע והחותך של עקום הרגרסיה הלינארית; *ME* הינו השגיאה הממוצעת, ולוג הנראות מסומל ב *LogLi*.

	R^2		A_0		*A*		*ME*		*RMSE*		*LogLi*	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
PWU	0.90	0.96	0.35	1.46	0.24	0.55	-1.89	2.07	1.33	4.43	-98419	-1127
Tr	0.90	0.93	0.25	0.85	0.29	0.60	-2.22	1.71	2.13	3.95	-4197	-1821

תהליך הכיול של הפרמטרים כלל 3 שלבים. ראשית, תחום ערכים לכל פרמטר נמצא על סמך הקריטריונים של המומנטים הסטטיסטיים שנבחרו. בשלב השני בוצע כיול ידני על ידי בחירה של הערך הממוצע מתוך ההתפלגות הערכים של אנסמבל ההרצות. לאחר מיכן בוצעו מספר הרצות בדידות על מנת לכייל באופן עדין את המודל ולשם עריכת מבחן רגישות שבדק את השפעת השינוי של כל פרמטר על דגם השאריתיות (residuals) שבין המדידות לחישוב.

טבלה 3: דגם סטטיסטי של הפרמטרים שעברו כיול על ידי המודל. הממוצע של הפרמטר בתחום והערך הסופי הנבחר מתוך כיול ידני מסומלים ע"י Mean ו- Selected value, בהתאמה.

Parameter	Symbol	Unit	Mean	STD	5%	95%	Selected value
LAI	A_l	$m^2 \cdot m^{-2}$	5.766	3.934	-0.323	11.854	5.1
Max canopy cover	P_{cmax}	$m^2 \cdot m^{-2}$	2.753	0.873	1.412	3.246	3.1
Plant Water	P_{PSL}	$mm \cdot m^{-1}$	0.164	0.0241	0.0942	0.221	0.15
Leaf threshold water potential	y_{th}	cm	1.2E+04	4100.0	6400.0	15875.0	13,950
Leaf maximum water potential	y_{min}	cm	2.9E+04	7160.0	18100.0	33815.0	37,400
Root resistivity	r_r	$m \cdot d^{-1}$	1.4E+06	2.8E+06	-1.7E+06	4.5E+06	2.3E+06
Xylem resistivity	r_{xylem}	$d \cdot m^{-1}$	49.337	25.720	9.114	71.929	39
Canopy Dens. Max	P_{densn}	-	0.466	0.231	0.097	0.680	0.39
Min roughness	Z_{0min}	m	0.294	0.113	0.118	0.389	0.22
Max roughness	Z_{0max}	m	5.625	2.855	1.333	7.519	4.55
Air Resistivity- LAI Effect	P_{ral}	$s \cdot m^{-1}$	0.053	0.025	0.015	0.074	0.045
Stomata conduct. Ris.	g_{ris}	$j \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$	E+0715.	1.8E+07	2.2E+07	6.3E+07	5.090E+07
Stomata conductivity- VPD	g_{vpd}	pa	3130.000	1680.000	517.815	4460.500	3,250
Max stomata conductivity	g_{max}	$m \cdot s^{-1}$	0.423	0.286	-0.015	0.680	0.305

דיון

הביטוי לשני הממשקים של עומסי היבול היה מידי, קרי, החל מהסרת כל האשכולות (סוף מרץ) נמדדו הבדלים בקצב התארכות הלולב. השפעה דומה של עומס יבול על קצבי גידול של קדקוד הנצר נמצא על ידי Barone et al. (1994), Palmer et al. (1997) ו- Petrie et al. (2000), בפיסטוק, תפוחים, וכרם מאכל, בהתאמה. מדידות של קצבי קיבוע פד"ח ומוליכות פיוניות ממועד הסרת האשכולות ועד לחודשיים לאחר הגדיד (לא מוצגים מפאת היקף הדוח הנדרש) הראו דגם הפוך, לפיו קצבי חילופי הגזים בטיפול עומס היבול המכסימלי היו גבוהים באופן מובהק מקצבים שנמדדו בטיפול בו הוסרו כל האשכולות. ממצאים דומים נמצאו על ידי DeJong (1986), שמדד מדדי חילוף גזים גבוהים בשלבי הגידול הראשונים של פירות אפרסק, בהשוואה לעצים ללא פרי. לפיכך, יתכן ויעילות פיוניות גבוה מחד, ומאידך, קצבי גידול נמוכים של הקדקוד, מעידים על צבירת פחמימנים בעץ. במחקר שבחן את שכיחות סוגי הסוכרים והעמילן בפירות תמרים מזן ח'לאס (Yin et al., 2012), נמצא כי כמות גדולה של אנזים מסוג עמילז סינטאז בשלבי הגידול הראשונים של הפרי (DOY 0-45). עדויות לקיומו של אוגר פחמימות בגזעי עצי דקל השמן, נמצאו על ידי Legros et al. (2009) ו- Lamade et al. (2016). Henson et al. (1999) מצאו שרובן של הפחמימות (68%, 25 ק"ג חומר יבש), בדקלי שמן בני 8 שנים בעלי גזע בגובה 4 מ', הם סוכרים חופשיים, והשאר מחולק בצורה שווה בין עמילנים לפוליסכרידים.

בניגוד להשפעה המיידית של קצבי חילוף גזים וצימוח קודקודי, שטפי המים שנמדדו בגזעי עצים עם עומס פרי מלא היו דומים עד שלב תחילת צבירת הסוכרים בפרי (DOY 180-200). מתקופה זו החלו להימדד שטפי מים גבוהים בעצים עם עומס רב של פירות, בהשוואה לעצים ללא פרי. במקביל, המימדים הפיזיקליים של הפרי הגיעו לערכי המקסימום, וקצב צבירת הסוכרים החל לעלות. Bustan et al. (2016) מצאו דגם דומה בזיתים לפיו, הפער בשטף הטרנספירציה של עצי זית שגדלו בליזימטרי שקילה, בין עצי עמוסי פרי לבין עצים שהפרי הוסר מהם, התעצם ככל שמועד הסרת הפרי התאחר. מתום הגדיד (DOY=260), הפער של קצב התארכות הלולב בין שני טיפולי עומס הפרי החל להצטמצם מחד, מאידך, שטפי מים גבוהים המשיכו להימדד בגזעי עצים עמוסי פירות, בהשוואה לעצים ללא פרי. למעשה, פערים אלו בשטפי המים המשיכו להימדד עד סוף נובמבר. אנו סבורים כי קליטת מים מוגברת בעצים עמוסי פרי בתקופה שלאחר הגדיד נובעת ממילוי עונתי של אוגר פחמימות שנגרעו לטובת גידול הפרי והצימוח, ומילוי אוגר המים של העצים. אוגר זה עוזר לעצים להגיע לטרנספירציה פוטנציאלית, בתקופת שיא הצריכה (יוני-אוגוסט). ממצא תומך לכך נמצא במדידות שטף מים בגזע (איור 8), לפיהן כוייל CoupMOdel, לפיו, ישנו פער בין הטרנספירציה המצטברת לעץ ובין קליטת המים שלו, בסוף נובמבר.

אוגר המים של התמר, כפי שחושב מכיול CoupModel, הוא $0.15\ m \cdot mm^{-1}$. כלומר, עבור עץ בגובה 6 מטרים ובעל LAI מחושב (טבלה 1), נפח המים האגורים בעץ ואשר זמינים לפיצוי הוא 430 ליטר. חישוב שבוצע עלי ידי Sperling et al.(2015), בעצים באשדות יעקב מאנליזות של שטפי מים בגזעי עצים בגובה 12 מטרים הצביע על ערך של 1000 ליטר. לפיכך, הערך שחושב באמצעות CoupModel מצוי בהתאמה, זאת בהנחה שעיקר האוגר מצוי בגזע.

מראי מקום

Barone E, Caruso T, Marra FP, Motisi A (1994) Vegetative growth and inflorescence bud abscission in bearing and non bearing pistachio trees. I International Symposium on Pistachio 419: 29–36

Bustan A, Dag A, Yermiyahu U, Erel E, Presnov E, Agam N, Kool D, Iwema J, Zipori I, Ben-Gal A (2016) Fruit load governs transpiration of olive trees. Tree Pysiol 36: 380-391.

DeJong TM (1986) Fruit effects on photosynthesis in Prunus persica. Physiologia Plantarum 66: 149–153

Génard, M., Dauzat, J., Franck, N., Lescourret, F., Moitrier, N., Vaast, P., Vercambre, G. (2008) Carbon allocation in fruit trees: From theory to modelling. Trees 22: 269–282

Granier, A (1985) A new method of sap flow measurement in tree stems. Annales des Sciences Forestierès 42: 193–200

Gucci, R., Xiloyannis, C., Flore, J.A. (1991) Gas exchange parameters, water relations and carbohydrate partitioning in leaves of field-grown Prunus domestica following fruit removal. Physiologia Plantarum 83: 497–505

Henson, I.E., Chang, K.C., Siti, N.A.M., Chai, S.H., Hasnuddin, M.Y., Zakaria A. (1999) The oil palm trunk as a carbohydrate reserve. Journal of Oil Palm Research 11, 98–113.

Jansson P.E., Karlberg L. (2004) Coupled heat and mass transfer model for soil-plant-atmosphere systems Royal Institude of Technology, Dept of Civil and Environmental Engeineering, Stockholm, Sweden., Report 3087, p 435.

Mpelasoka B, Behboudian M, Green S (2001) Water use, yield and fruit quality of lysimeter-grown apple trees: responses to deficit irrigation and to crop load. Irrigation Sci 20:107-113.

Naor A., Schneider D., Ben-Gal A., Zipori I., Dag A., Kerem Z., . . . Gal Y. (2013) The effects of crop load and irrigation rate in the oil accumulation stage on oil yield and water relations of 'Koroneiki' olives.Irrigation Science 31, 781–791.

Naor, A., I. Klein, I. Doron, Y. Gal, Z. Ben-David and B. Bravdo. 1997. The effect of irrigation and crop load on stem water potential and apple fruit size. J. Hortic. Sci. 72:765–771.

Palmer JW, Giuliani R, Adams HM (1997) Effect of crop load on fruiting and leaf photosynthesis of "Braeburn"/M.26 apple trees. Tree physiology 17: 741–746

Petrie PR, Trought MC, Howell GS (2000) Growth and dry matter partitioning of Pinot Noir (Vitis vinifera L.) in relation to leaf area and crop load. Aus J Grape and Wine Res 6: 40-45.

Rao, Y.; Jiang, Z.-H.; Lazarovitch, N. Investigating signal propagation and strength distribution characteristics of wireless sensor networks in date palm orchards. Comput. Electron. Agric. 2016, 124, 107–120.

Renninger HJ, Phillips N, Salvucci GD (2010) Wet- vs. dry-season transpiration in an Amazonian rain forest palm Iriartea deltoidea. Biotropica 42: 470-478.

Sperling O, Shapira O, Cohen S, Tripler E, Schwartz A, Lazarovitch N (2012) Estimating sap flux densities in date palm trees using the heat dissipation method and weighing lysimeters. Tree Physiol 32: 1171–8.

Tripler, E., Shani, U., Mualem, Y., Ben-Gal, A. (2011) Long-term growth, water consumption and yield of date palm as a function of salinity. Agricultural Water Management 99: 128–134.

Wibbe, M. L., and M. M. Blanke. 1995. Effects of defruiting on source-sink relationship, carbon budget, leaf carbohydrate content and water use efficiency of apple trees. Physiol. Plantar. 94:529–533.

Wünsche JN, Palmer JW, Greer DH (2000) Effects of crop load on fruiting and gas-exchange characteristics of "Braeburn"/M.26 apple trees at full canopy. Journal of the American Society for Horticultural Science 125: 93–99

Yin Y, Zhang X, Fang Y, Pan L, Sun G, Xin C, Abdullah MMB, Yu X, Hu S, Al-Mssallem IS, et al (2012) High-throughput sequencing-based gene profiling on multi-staged fruit development of date palm (Phoenix dactylifera, L.). Plant Molecular Biology 78: 617–626

Yonemoto, Y, Matsumoto K, Furukawa T, Asakawa M, Okuda H and Takahara T (2004) Effects of rootstock and crop load on sap flow rate in branches of 'Shirakawa Satsuma mandarin (Citrus unshiu Marc.). Scientia Horticulturae 102: 295-300.

Zaid, A., De Wet, P.F. (1999). Origin, geographical distribution and nutritional values of date palm. In: Zaid, A. (ed) Date Palm Cultivation. FAO, Rome, pp 29-44.

Zhen J, Tripler E, Peng X, Lazarovitch N (2017) A wireless device for continuous frond elongation measurement. Computers and Electronics in Agriculture 140: 1–7.