

# אופטימיזציה של משטרי מים באמצעות מערכת השקיה אוטומטית בטפטוף בעצי תפוח\*

דו"ח מחקר לשנים 1985-1987

ר. אסף, מינהל המחקר החקלאי, מכון למטעים  
י. לוין, מינהל המחקר החקלאי, מכון לקרקע ומים  
ב. ברבדו, פקולטה לחקלאות, מחלקה למטעים

3. תוצאות הניסוי הראו אפשרות של ביצוע אוטומציה ממוחשבת של השקיה לפי פוטנציאל מטריצי אופטימלי של הקרקע - תוך שמירה על יכול גבוה ואיכות פרי טובה, עם חסכון בכמות המים העונתית. בהשקיה אוטומטית לפי פוטנציאל מטריצי נמוך מתקבלת הרטבת נפח קרקע מצומצם, פחיתה ניכרת בכמות המים העונתית וקבלת עצים יותר קטנים. הגדלת הצפיפות של העצים ליחידת שטח עשויה לפצות את הפחיתה ביכול ללא פגיעה באיכות הפרי וגודלו, תוך הקלה על עבודת הקטיף והעיבודים, חדירת אור רבה לעצים, יעילות הריסוסים ושיפור צבע הפרי.

4. המדידות הפיסיולוגיות שבוצעו במטע הראו שבעצים נושאי פרי מושקים בסף פוטנציאל קרקע אופטימלי, מידת הטרנספירציה ופתיחת הפיוניות גבוהים יותר מאשר בעצים ללא פירות ובאלה שמושקים בסף פוטנציאל קרקע מטריצי נמוך יותר.

## מבוא

כדי להגיע ליעול מירבי של שימוש במים וקבלת יבולים מירביים של עצי פרי יש להתקרב ככל האפשר להספקת המים בקצב של תצרוכת העצים. תצרוכת המים של העץ בתנאי האקלים המשתנים תלויה בגודל הנוף, עומס היבול, צירוף זן/כנה ומשטר ההשקיה (3,2,1). השקיה בטפטוף, המצויה כיום במטעים הנשירים, שואפת לספק מים בקצב הקרוב ביותר לקצב הצריכה. ההשקיה לרוב יומית, בכמויות מים קטנות יחסית. (לפעמים בפעימות בכל יום). בהשקיה זו מורטב נפח מוגבל של הקרקע בו

במטע תפוחים, נטוע בזנים זהוב ויונתן באילת השחר, מושקה בטפטוף, נערך במשך חמש שנים, 1982-1987, ניסוי השקיה אוטומטית מפוקדת ע"י חיישני קרקע אלקטרוטנסיומטרים וחיישנים הפועלים לפי מהירות פיזור החום, בהתאם לפוטנציאל המטריצי של הקרקע. תגובת העצים והפרי נבחנה בשתי רמות של פוטנציאל מטריצי בקרקע בסף השקיה של 10 ו-15 - קילופסקל. שני סוגי החיישנים נקבעו במרחק 30 ס"מ ובעומק 35 ס"מ מהטפטפת. כן נבדק טיפול השקיה לפי מדידות מדניוטרונים וטיפול ביקורת מקובל של השקיה לפי מקדמי התאדות מגיית.

התוצאות של שלוש השנים האחרונות הראו:  
1. כמות המים הממוצעת הגבוהה ביותר לעונה - 838 מ"מ - התקבלה בטיפול של השקיה לפי גיגית. בטיפולים שהושקו אוטומטית, לפי סף של 10 - קילופסקל ולפי מדידות מדניוטרונים, ניתנו ב-10% פחות מים מזה של הטיפול לפי מקדמי גיגית. היבול בכל הטיפולים האלה היה גבוה, 9.0 ו-4.6 טונות לדונם בזהוב ויונתן בממוצע בהתאמה ללא סירוגיות בשלוש השנים. גם הגידול הווגטיבי של העצים, האיכות, גודל הפרי ועומס הפרי לא היו שונים משמעותית.  
2. בטיפולים שהושקו אוטומטית בסף 15 - קילופסקל, כמות המים הממוצעת לעונה היתה 660 מ"מ (21% פחות מאשר בטיפול מקדמי הגיגית). היבול הממוצע היה 7.7 ו-5.6 טונות/דונם בזהוב ויונתן בהתאמה (ב-20% פחות באופן מובהק מיתר הטיפולים). הפחיתה ביבול נגרמה מפחיתה במספר הפירות - כאשר משקל הפרי הממוצע היה דומה לכל יתר הטיפולים. גם איכות הפרי ועומס הפרי היו דומים לכל יתר הטיפולים.

\* מפרסומי מינהל המחקר החקלאי, סדרה ה' 1989, מס' 2155.

מתרכזת מערכת השורשים עם משטר איזור טוב (8). היתרון החשוב ביותר בשיטת ההשקיה בטפטוף הוא אפשרות המעבר היבש לכלים המיכניים בין השורות, אפילו בזמן הקטיף. מסיבות אלו הפכה השיטה לבלעדית בהשקית מטעים נשירים. עם זאת אין בשיטת השקיה זו חסכון במים בהשוואה לשיטות הקודמות. הסיבה היא הפסדי מים ניכרים המתנקזים מתחת לבית השורשים באיזור הסמוך לטפטפת, 15%-17% (8). עם ההפסד במים חלים גם הפסדי יסודות מזון בגלל השטיפה ודניטריפיקציה באיזור הרחי. כל שיטה שתצמצם את ההפסדים האלה תביא לעילות השימוש במים. עבודות ראשונות בכיוון זה בוצעו על ידנו בהשקיה יומית בפעילות (8). ברור שהשקיה שתתקרב לקצב הצריכה של העצים תהיה יותר יעילה:

(א) תמנע הפסדי מים שהוזכרו לעיל.

(ב) תגביל את מערכת השורשים ותלווה בהשפעות הפיסיולוגיות החיוביות של הגדלת היחס פוריות/צמיחה (5).

בחמש השנים, 1983-1987, נוסתה במטע תפוחים של אילת השחר השקיה אוטומטית ממוחשבת המבוססת על פיקוד חיישני קרקע לפי הפוטנציאל המטריצי של הקרקע באיזור מערכת השורשים. המחקר בוצע בעזרת תקציב קמ"ח (קרן מחקר חקלאי אמריקה-ישראל), תקציבי מועצת הפירות וועדת הנוטעים של הגליל העליון (5).

נוסף לטיפול ההשקיה האוטומטית נבדקו להשוואה משטרי ההשקיה לפי מדידות מפזר ניוטרונים ולפי מקדמי התאדות גיית. בעבודה המדווחת להלן אנו מוסרים תוצאות של תגובת העצים והפרי בשלוש השנים האחרונות, 1985-1987. התוצאות של מהלך שינוי הרטיבות בקרקע בטיפולים שנבדקו ידווחו ברשימה נפרדת.

## חומרים ושיטות

המחקר נערך במטע תפוח שניטע ב-1972, באילת-השחר שבדרום החולה, בקרקע כבדה של ורטיסול אלוביאי חום (69% חרסית, 6% חול) אחידה לעומק של 1.5 מ'. העצים מהזנים זהוב ויונתן על כנת חשבי מבוררת ניטעו במרחקים של

3 מ' בין העצים ו-4 מ' בין השורות. הזנים אורליאנס וגרני סמיט ניטעו כמפרים. המטע הושקה בטפטוף עם טפטפות בספיקה של 8 ל/ש' במרחקים של 1.5 מ' על השלוחה היחידה לכל שורת עצים. העצים עוצבו בשיטת פלמטה מחניים ושיטת שלושה צירים ללא קומות (2).

הדישון ניתן כל שנה דרך המים, 32 ו-40 ק"ג/ד' חנקן ואשלגן צרופים, בהתאמה. 3 ק"ג/ד' זרחן פעם בשלוש שנים בדשן 11 ו-37 ק"ג/ד' סקווסטרן H-138 כל שנה.

בכל שנה ניתנו ריסוסי הזנה עלוותית: 3 ריסוסי אבץ ניטרלי, 3 ריסוסי סידן חנקתי וריסוס אחד של מגנזיום גפרתי. הדברת מחלות ומזיקים היתה בשיטת הכיסוי, כמקובל במטעים המסחריים באיזור.

תכנית הטיפולים היתה מבוססת על בדיקת משטרי השקיה, שיספקו את המים לפי פיקוד אוטומטי של חיישני קרקע שהוחדרו במרחק 30 ס"מ מהטפטפת, לעומק של 35 ס"מ. נבדקו שני סוגי חיישנים - אלקטרוטנסיומטרים מתוצרת "עמ" ו"אארומטר" וחיישנים המגיבים על רמת הפוטנציאל המטריצי של מי הקרקע לפי השינויים בפזר החום בגוף קרמי נקבובי לפי שיטת Phene.

התכנית כללה בדיקת שני ספי השקיה של פוטנציאל מטריצי: 10- ו-15- קילופסקל. החיישנים (4 חיישנים בכל טיפול) פיקדו על ההשקיה באמצעות מחשב מרכזי (מוטוחלה - PCU 10) ומדפסת שרשמה את מימצאי כל חיישן והממוצע של חיישני כל טיפול כל 20 דקות. כאשר הממוצע של הפוטנציאל המטריצי בכל טיפול הגיע לסף שנקבע מראש נפתחו המים אוטומטית ל-10 דקות ואחרי זה הופסקה ההשקיה ל-10 דקות נוספות. אחרי זה נסקרו שוב החיישנים אוטומטית ובהתאם לרמת הסף שנקבע מראש נפתחו או לא נפתחו הברחים מחדש. הסכימה של תכנית המחשב ניתנת בציור 1.

נוסף לטיפולי החיישנים נבדקו שני טיפולים נוספים:

(א) משטר השקיה יומית לפי מדידות מד ניוטרונים.



(ב) השקיה לפי מקדמי התאדות מגיית הקבועה בשולי המטע.

תכנון הניסוי היה בבלוקים באקראי בארבע חזרות של 14 עצים עם שתי שורות גבול לכל חזרה בכל טיפול. בשתי השנים הראשונות חיישני Phene לא הוכנסו לטיפול ולפיכך בוצעו משטרי השקיה אחרים - כך שרק טיפולי האלקטרוטנסיומטרים פעלו 5 שנים רצופות (מ-1983) ואילו יתר הטיפולים פעלו ברציפות רק בשנים 1985-1987. פירוט הטיפולים וכמויות המים שניתנו בשלוש השנים האלה מובאים בטבלה 1.

בכל טיפול השקיה הוחדרו 4 צינורות גישה למדידות של פעמיים בשבוע במדיטורונים במרחק 0, 35, 70, 105 ס"מ בניצב לשלוחה. טנסיומטרים רגילים הוחדרו על יד כל חישן באותו מיקום, לקריאה יומית.

בדיקות כימיות של הקרקע נערכו פעמיים בשנה בדוגמאות שנלקחו בשלושה מרחקים מהטפטפת ובשלוש שכבות עומק.

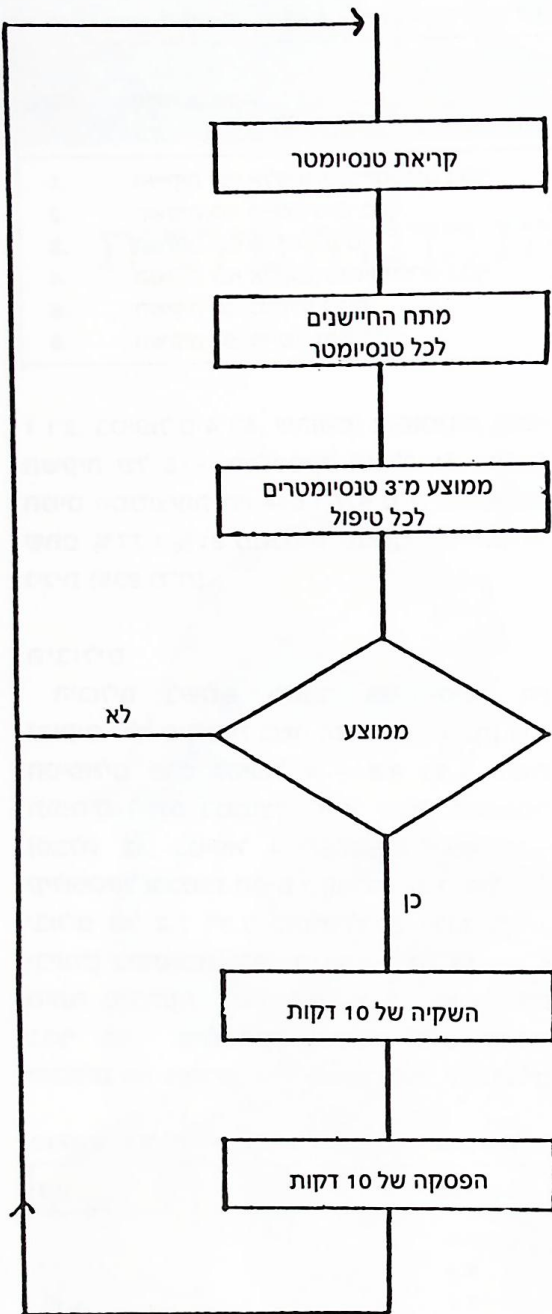
תכולת המינרלים בעלים ובפירות נבדקה מספר פעמים בעונה בכל שנה, בכל חזרה של כל טיפול. מדידות שבועיות של היקף פרי נערכו בעזרת סרט מדידה במשך העונה - 32 פירות לכל חזרה של כל טיפול. נפח הפרי חושב מההיקף לפי עקום הפיכה שפורסם (4). היבול נשקל ומיון לגדלים בכל חזרה. איכות הפרי בקטיף נבדקה לתכולת כלל מוצקים מומסים (כ.מ.מ.), אחוז חומצות ולחץ. כמו כן נעשו בדיקות עמידות הפרי בקירור.

היקף הגזעים נמדד כל שנה בסתיו. מדידות של פוטנציאל המים בעלה נערכו בתא לחץ שולנדר. הטנסופירציה והתנגדות הפיוניות נמדדה במשך העונה ע"י פורומטר דיפוזי (6).

## תוצאות ודין

### כמויות המים

כמויות המים שניתנו בטיפול המקובל של השקיה לפי גיגית (טיפול 5) היו הגבוהות ביותר במשך כל אחת משנות הניסוי (טבלה 1) - 838 מ"מ בממוצע בשנים 1985-1987. בטיפולים 1 ו-2, שהושקו אוטומטית בקצב צריכת הצמחים



ציור 1. סכימה של תכנית המחשב להפעלת ההשקיה האוטומטית

בסך השקיה של 10 - קילופסקל, כמות המים הממוצעת היתה 762 מ"מ לשנה, שהם 90% מזו שניתנה לפי מקדמי התאדות מגיית. גם בטיפול 3, שהושקה לפי מדיטורונים, היו כמויות המים במשך שלוש שנות הניסוי דומות לאלו של טיפול

טבלה 1. פרטי הטיפולים וכמויות המים בהשקיה (מ"מ) בשלוש שנים - אילת השחר

כמויות מים - (מ"מ)				פרטי הטיפול	
1987-1985 ממוצע	1987	1986	1985		
763	782	766	722	- 10 kPa	1. השקיה לפי אלקטרוטנסיומטרים בסף
762	779	765	742	- 10 kPa	2. השקיה לפי חיישני חום בסף
756	797	779	692		3. השקיה לפי מדניוטרונים
644	656	660	617	- 15kPa	4. השקיה לפי אלקטרוטנסיומטרים בסף
838	844	883	786		5. השקיה לפי מקדמי גיגית
675	673	698	653	- 15kPa	6. השקיה לפי חיישני חום בסף

אך ההפרשים לא הגיעו למובהקות - כנראה בגלל משך הזמן של שלוש שנים בלבד לעומת 5 השנים בטיפול 4 (טבלאות 1 ו־2). עובדה זו מרמזת שבתפוח פחיתה בכמות מים עשויה להשפיע באופן מובהק רק אחר חמש שנים רצופות.

כמות המים הגדולה ביותר שניתנה בטיפול 5 (לפי מקדמי גיגית) לא תרמה לתוספת יבול. היבולים בטיפולים 1 ו־3 היו דומים לאלה שבטיפול 5 בכמות מים פחותה ב־80 מ"מ לעונה.

מספר הפירות לדונם וגודל פרי משוקלל היבול הוא מכפלה של מספר פירות כפול המשקל המשוקלל של הפרי. היבול הקטן בטיפול 4 התבטא במספר קטן באופן מובהק של הפירות בהשוואה ליתר הטיפולים, ואילו גודל הפרי המשוקלל היה דומה.

1 ו־2. בטיפולים 4 ו־6, שהושקו אוטומטית בספי השקיה של 15 - קילופסקל (טבלה 1), כמויות המים הממוצעות היו 644 ו־675 מ"מ בהתאמה, שהם 77% ו־81% מהכמות שניתנה לפי מקדמי גיגית (838 מ"מ).

#### היבולים

היבולים בשלוש השנים 1985-1987 היו גבוהים ללא סירוגיות בשני הזנים זהוב ויונתן בכל הטיפולים פרט לטיפול 4 - 8.9 ו־4.5 טונות תפוחים לדונם בממוצע בזהוב ויונתן בהתאמה (טבלה 2). בטיפול 4, שהושקה בסף 15- קילופסקל ובכמות המים הקטנה ביותר, התקבלו יבולים של 7.2 ו־3.3 טונות לדונם בלבד בזהוב וביונתן בהתאמה. הפחיתה הזו ביבול בטיפול 4 היתה מובהקת. בטיפול 6, שאף הוא הושקה בסף 15- קילופסקל ובכמות מים קטנה, היבולים היו נמוכים יותר מאשר ביתר הטיפולים

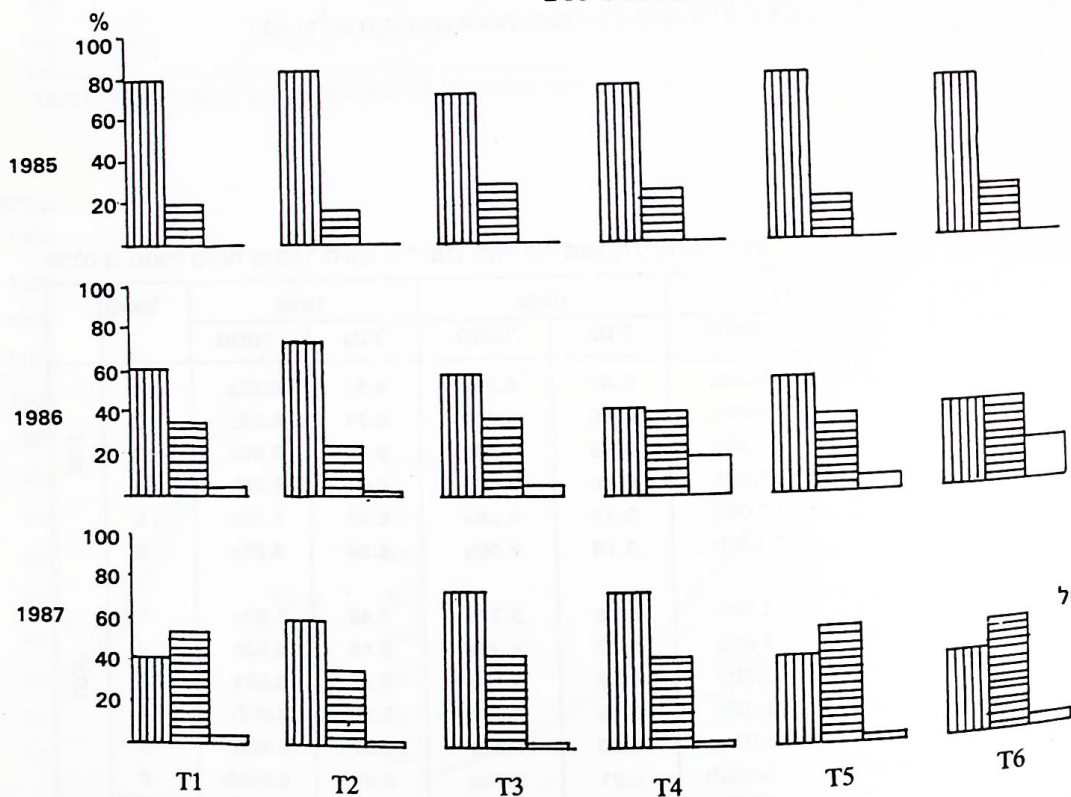
טבלה 2. יבול תפוחים (טונות/דונם) בשני זנים, אילת השחר

הזן	טיפול	1985	1986	1987	ממוצע 1985/1987
זהוב	1	9.0	8.0	10.4 a	9.0 a
	2	8.4	7.9	11.0 a	9.1 a
	3	8.7	7.4	10.3 a	8.8 a
	4	6.7	6.1	8.7 b	7.2 b
	5	9.3	7.3	11.3 a	9.3 a
	6	8.2	7.5	9.1 a	8.3 a
יונתן	1	6.7	3.5	3.5 a	4.5 a
	2	7.4	3.5	3.5 a	4.7 a
	3	6.4	3.3	4.1 a	4.6 a
	4	4.3	3.0	2.5 b	3.3 b
	5	6.4	4.4	3.4 a	4.7 a
	6	5.3	3.7	3.0 ab	4.0 ab



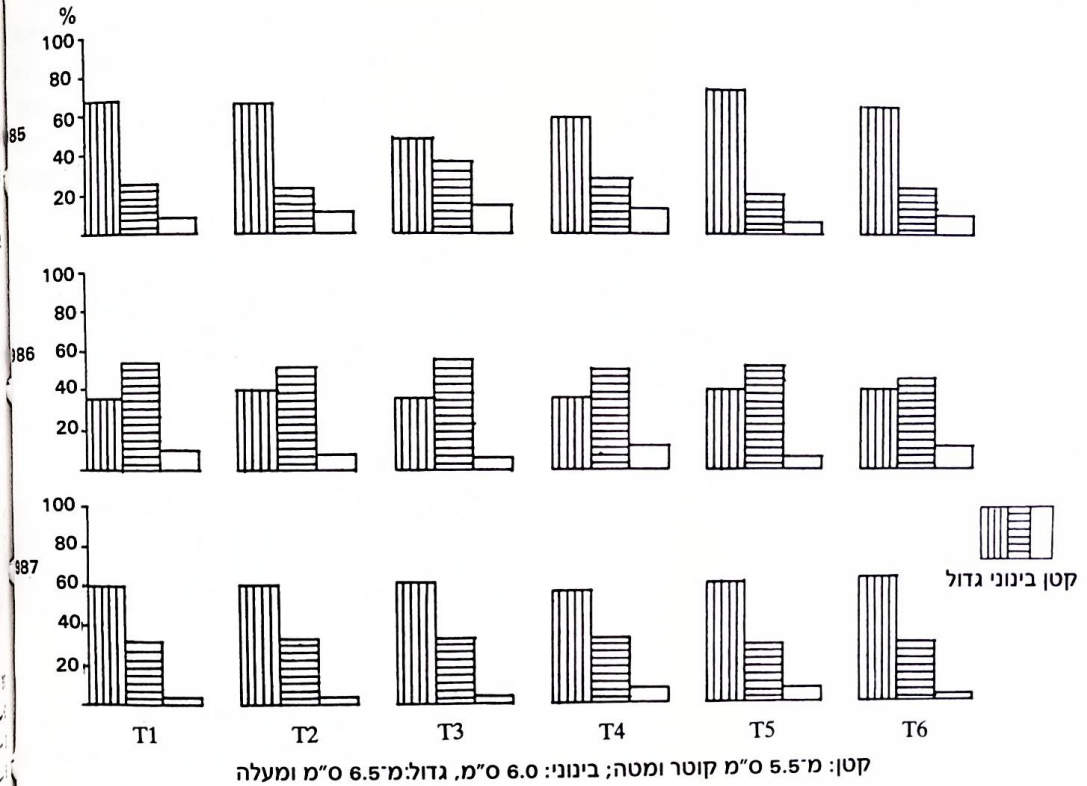
תופעה זו חזרה על עצמה במשך כל שנה משלוש השנים - בשני הזנים זהוב ויונתן (טבלה 3). בטיפול 6, שאף בו ניתנה כמות מים יותר קטנה בסף השקיה של 15 - קילופסקל, התקבלה נטיה דומה (מובהקת בזן יונתן במוצע התלת-שנתי). לתוצאות אלו יש חשיבות רבה - הן מצביעות שבהשקיה מבוקרת לפי קצב צריכת העצים בתנאים של הגבלת נפח ההרטבה של הקרקע והקטנת מערכת השורשים הפעילה - הצמחים מושקים בפחות מים, מפחיתים את יבולם ע"י הקטנת מספר הפירות, מבלי לפגוע בגודל הפרי. לגודל הפרי יש כידוע חשיבות שיווקית מסחרית ממדרגה ראשונה. בציורים 2 ו-3 ניתן לראות שאחוז הפרי הקטן (קוטר 5.5 ס"מ ופחות) בטיפולים 4 ו-6 לא היה שונה בהרבה מזה שביתר הטיפולים.

ציור 2. חלוקת הפרי לגדלים בזן זהוב ב-6 טיפולים בשלוש שנים



קטן: מ"מ 5.5 קוטר ומטה; בינוני: 6.0 ס"מ, גדול: מ"מ 6.5 ס"מ ומעלה





טבלה 3. מספר פירות (מספר לדונם  $\times 10^{-4}$ ) וגודל פרי משוקלל (קוטר ס"מ)

טיפול	1985	1986	1987	ממוצע 1985-1987		1985	1986	1987	טיפול	
				מספר	גודל					
1	6.95a	6.58a	6.20	7.60a	6.46	6.64	6.47	6.20	1	זרח
2	6.35a	6.24a	6.33	7.33a	6.55	6.71	6.60	6.33	2	
3	6.80a	6.33a	6.33	7.31a	6.45	6.63	6.38	6.33	3	
4	5.25b	5.68b	6.28	6.17b	6.35	6.61	6.16	7.59b	4	
5	7.16a	6.26a	6.22	7.82a	6.43	6.67	6.39	10.05a	5	
6	6.35a	7.00a	6.21	7.18a	6.34	6.64	6.16	8.18ab	6	
1	5.85a	3.37a	6.43	4.05a	6.36	6.48	6.18	2.94a	1	יונתן
2	6.50a	3.39a	6.38	4.27a	6.36	6.48	6.22	2.93a	2	
3	6.08a	3.19a	6.38	4.32a	6.36	6.27	6.18	3.70a	3	
4	3.90b	2.87b	6.34	3.03b	6.28	6.38	6.19	2.32b	4	
5	5.40a	4.26a	6.38	4.24a	6.38	6.57	6.20	3.07a	5	
6	4.64ab	3.76a	6.43	3.69b	6.37	6.47	6.21	2.66ab	6	

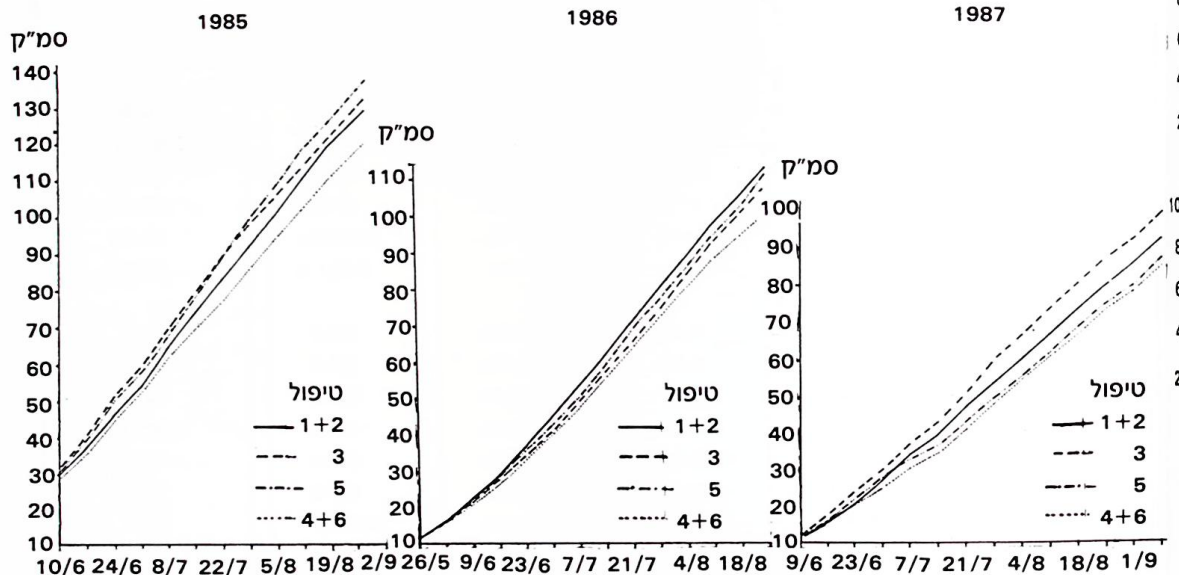
אותיות שונות ע"י הנתונים מצביעות על הפרש מובהק בהסתברות של 0.05.

# איכות הפרי

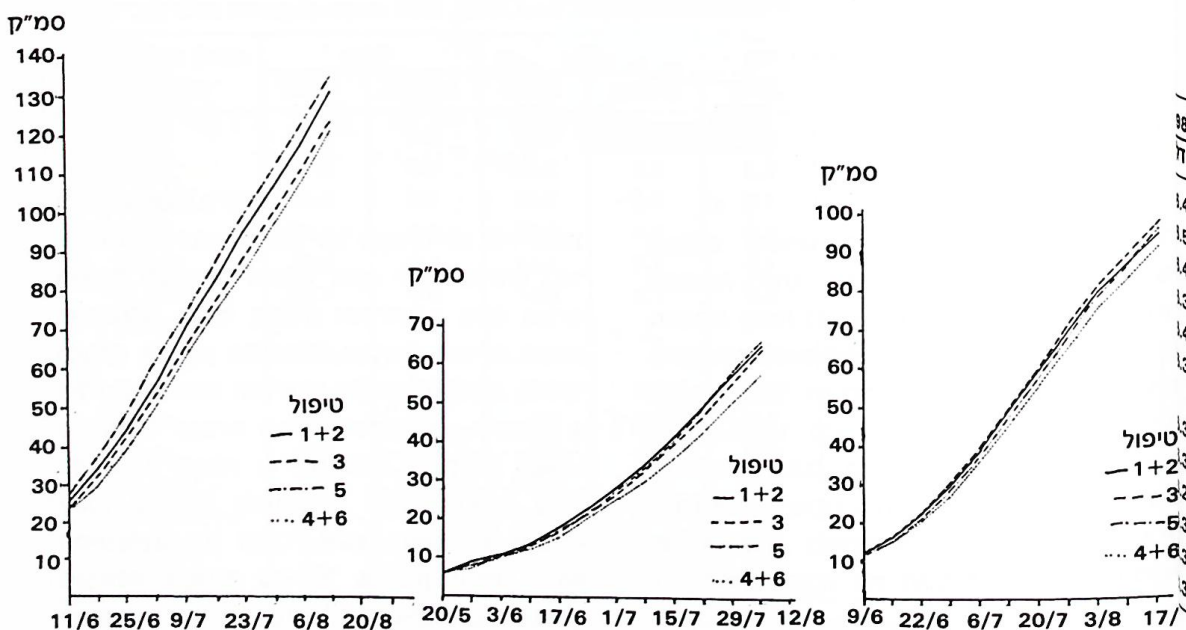
לא היו הבדלים משמעותיים בשלושה הפרמטרים של איכות הפרי - % כ.מ.מ., קשיות ואחוז חומצה בין כל הטיפולים בכל אחת משנות הניסויים (טבלאות 4 ו-5).

קצב גדילת הפרי בשנים 1985, 1986, 1987 ניתן בצירים 4 ו-5. ניתן לראות שרק ב-1986 היה קצב גידול הפירות בשני הזנים בטיפולים 4 ו-6 קצת יותר אטי מאשר ביתר הטיפולים. בשתי השנים האחרות לא היה הבדל משמעותי בין כל הטיפולים בשני הזנים.

ציור 4. מהלך גידול נפח הפרי בזן זהוב במשך העונה



ציור 5. מהלך גידול נפח הפרי בזן יונתן במשך העונה



ממוצע 1985-1987	1987	1986	1985	טיפול	
13.64	12.96	15.00	12.96	1	% כלל מוצקים מומסים (כ.מ.מ.)
13.48	12.71	14.89	12.83	2	
13.44	12.35	15.06	12.91	3	
13.89	13.00	15.59	13.07	4	
13.27	12.46	14.95	12.41	5	
14.13	12.63	16.07	13.69	6	
13.64	12.69	15.16	12.98	ממוצע	
0.118	0.097	0.175	0.155	S.E.	
18.27	19.00	19.30	17.50	1	קושיות ליבס/אינץ <sup>2</sup>
18.37	19.45	18.30	17.35	2	
18.50	19.10	19.00	17.50	3	
18.75	19.25	19.80	17.20	4	
18.83	20.00	19.40	17.10	5	
18.62	18.70	19.80	17.35	6	
18.56	19.25	19.10	17.33	ממוצע	
0.081	0.165	0.256	0.060	S.E.	
0.46	0.60	0.32	0.46	1	% חומצה
0.48	0.63	0.35	0.46	2	
0.49	0.64	0.37	0.47	3	
0.50	0.65	0.37	0.49	4	
0.48	0.57	0.39	0.47	5	
0.47	0.60	0.36	0.44	6	
0.48	0.62	0.36	0.47	ממוצע	
0.005	0.011	0.009	0.006	S.E.	

## תוספת שטח הגזע

תוספות שטח הגזע של העצים לא היו שוות בשנות הניסויים וניכרת בהם ירידה ברורה בכל הטיפולים בשתי השנים האחרונות בשני הזנים (טבלה 6). בין הטיפולים שקיבלו כמויות שונות של מים נמצאו הפרשים מובהקים. נראה בבירור שבטיפול כמויות המים הפחותות - טיפולים 4 ו-6 (ראה טבלה 1) התקבלה בתקופה 1985-1987 תוספת שטח גזע קטנה מאשר ביתר הטיפולים. בן זהוב: 65% בטיפול 4 (הפרש מובהק) ו-79% בטיפול 6. בן יונתן: 90% בטיפול 4 ו-82% בטיפול 6. בטיפול 5, שהושקה

בשלוש השנים האלו בכמות מים ממוצעת הגבוהה ביותר - 838 מ"מ (טבלה 1) לא היתה תוספת שטח גזע שונה משמעותית בשני הזנים בהשוואה לטיפולים 1, 2, 3, שהושקו ב-78 מ"מ פחות. בגלל הגידול הווגטיבי המועט יחסית בשנת 1987 גדל עומס הפרי בכל הטיפולים בטיפולים בהם היו הבדלים מובהקים ביבול ובתוספת שטח הגזע, לא היו הבדלים משמעותיים בעומס הפרי בכל השנים, ז.א. שהשינויים ביבול היו מקבילים לשינויים בגידול הווגטיבי.



טבלה 5. פרמטרים של איכות הפרי בשנות הניסויים בזן יונתן

1985-1987 ממוצע	1987	1986	1985	טיפול	
14.29	13.96	14.80	14.10	1	% כלל מוצקים מומסים (כ.מ.מ.)
13.92	13.70	14.30	13.75	2	
13.34	14.03	15.12	13.88	3	
14.12	14.05	14.43	13.87	4	
13.88	14.38	13.87	13.40	5	
14.38	13.98	15.02	14.13	6	
14.16	14.02	14.59	13.86	ממוצע	
0.081	0.081	0.178	0.099	S.E.	
17.73	19.00	18.7	15.5	1	קושיות ליבס/אינץ'
18.42	17.45	19.8	16.0	2	
18.33	19.10	19.4	16.6	3	
18.18	19.25	18.4	16.9	4	
18.23	20.00	17.8	16.9	5	
18.03	18.70	19.0	16.4	6	
18.15	19.30	18.9	16.37	ממוצע	
0.092	0.166	0.266	0.202	S.E.	
0.62	0.60	0.64	0.61	1	% חומצה
0.66	0.63	0.71	0.63	2	
0.63	0.64	0.67	0.59	3	
0.65	0.45	0.70	0.59	4	
0.64	0.57	0.69	0.67	5	
0.67	0.60	0.75	0.65	6	
0.65	0.62	0.69	0.62	ממוצע	
0.007	0.011	0.014	0.012	S.E.	

טבלה 6. תוספת שטח הגזע ועומס הפרי (ק"ג פרי לעץ לס"מ שטח הגזע). אילת השחר (התוספת בסמ"ר)

סה"כ תוספת סמ"ר 1985-1987	1987		1986		1985		טיפול
	עומס	תוספת	עומס	תוספת	עומס	תוספת	
26.4a	32.9	3.8	14.3	6.7	6.8	15.9	1
27.4a	21.6	6.1	12.7	7.5	7.3	13.8	2
32.5a	14.6	8.5	10.7	8.4	6.7	15.6	3
17.7b	29.2	3.6	16.6	4.4	8.3	7.9	4
22.7ab	36.8	3.7	12.4	7.1	9.3	11.9	5
21.6ab	31.7	3.5	14.8	6.1	8.3	12.0	6
SE=1.91							
27.2a	5.1	7.8	8.8	4.8	5.5	14.6	1
26.0a	4.2	9.5	9.2	4.6	6.7	11.9	2
26.4a	5.7	8.6	4.6	8.5	8.3	9.3	3
24.1ab	4.3	7.2	8.7	4.1	4.0	12.8	4
27.9a	5.0	8.2	14.3	3.7	4.8	16.0	5
22.0b	4.6	7.9	11.9	3.7	6.1	10.4	6
SE=1.20							

אותיות שונות ע"י הנתונים מצביעות על הפרש מובהק בהסתברות של 0.05.

## תוצאות בדיקות קצב טרנספירציה התנגדות פיוניות וטמפרטורות עלה

תוצאות מדידות אלו, שנערכו בקיץ 1984 במספר טיפולים, ניתנים בטבלה 7. הנתונים מראים שבטיפולים שקיבלו יותר מים (טיפול 1 ו-5) היתה טרנספירציה רבה יותר, התנגדות פיוניות יותר קטנה וטמפרטורת עלה יותר נמוכה באופן מובהק מאשר בטיפול 4 שקיבל פחות מים. כמו כן בולטת ההשפעה של נוכחות פירות על הענף על תהליכים אלה בצמחים. בנוכחות פירות היתה טרנספירציה יותר גדולה ופיוניות פתוחות יותר (התנגדות קטנה יותר) ובהתאם לכך טמפרטורות עלה נמוכות יותר בהשוואה לעצים ללא פירות. תוצאות דומות התקבלו גם במקומות אחרים (7).

## הרכב המינרלים בעלים ובפרי המלא (תוצאות של כל 5 השנים של הניסוי)

לא היו הפרשים משמעותיים בהרכב המינרלים בעלים ובפרי בין כל הטיפולים במשך חמש השנים. לפיכך ניתנות בציורים 6, 7 התנודות בהרכב המינרלים בממוצע לכל הטיפולים בשני הזנים במשך העונה בכל אחת מחמש שנות הניסויים. בציור 6 נראה את הירידה העקבית של ריכוזי החנקן בעלים של הזנים במשך העונה. ריכוזי הזרחן בשני הזנים היו נמוכים בעלים של שני הזנים בשנים 1983, 1986 ו-1987 (הגיעו עד 0.1% בסוף העונה). בשנים 1984 ו-1985 ריכוזם עלה. יתכן שזו השפעת הדישון בזרחן שלא היה עקבי. ריכוזי האשלגן בעלים בשני הזנים פחתו לחוב עם העונה והגיעו לרמות נמוכות לפני הקטיף בסתיו. אחוז הסיידן עלה בעקביות ברוב השנים לאורך העונה בשני הזנים בריכוזים מספיקים מקובלים. השינויים בריכוזי המגנזיום

בעונה ובמשך השנים בשני הזנים היו בתחום המקובל (2).

בציור 7 נראה בבירור את ירידת ריכוז כל המינרלים בפרי בשני הזנים לאורך העונה. זוהי תוצאה מקובלת של דילול היסודות בעקבות עליה כמות החומר היבש של הפרי הגדל. עליה הנפח מסוף מאי עד הקטיף, היתה בתחום של פי 8-10 (ראה ציורים 4, 5). הירידה בריכוזים בערך פי 3-4 בחנקן, פי 2.5-3 בזרחן, פי 1.8-2.0 באשלגן, פי 2.5-4 בסיידן ומגנזיום. חישובים אלה מראים שקיימת קליטת יסודות של הפרי תוך כדי גידולו. במיוחד בולטת קליטת האשלגן המרובה בפרי תוך כדי גידולו.

כמות המינרלים בחומר היבש של הפרי המלא נותנת אפשרות של אומדן כמותי של הוצאות המינרלים מהקרקע ביבול הפרי. בהנחה של 10 טונות פרי לדונם ו-15% חומר יבש בפרי תהיה הוצאת המינרלים ע"י הצמחים לדונם אחד בפירות בלבד: 7 ק"ג חנקן, 1.5 ק"ג זרחן, 14-13 ק"ג אשלגן, 0.8-0.9 ק"ג סיידן ו-0.6-0.9 ק"ג מגנזיום.

## מסקנות

התוצאות של שלוש השנים האחרונות של המחקר, מ'1983-1987, הראו:

1. במטע הניסוי של תפוחים מהזנים זהוב ויונתן בוצעה בהצלחה שיטת השקיה אוטומטית בטפטוף מפוקדת ע"י אלקטרוטנסיומטרים וחיישני פיזור חום הקשורים למחשב לפי הפוטנציאל המטריצי של הקרקע.
2. נמצא שבטיפול ההשקיה האוטומטית ניתנו המים בקצב ובכמות הקרובה לצריכה - תוך צמצום נפח ההרטבה ונפח מערכת השורשים של העצים.

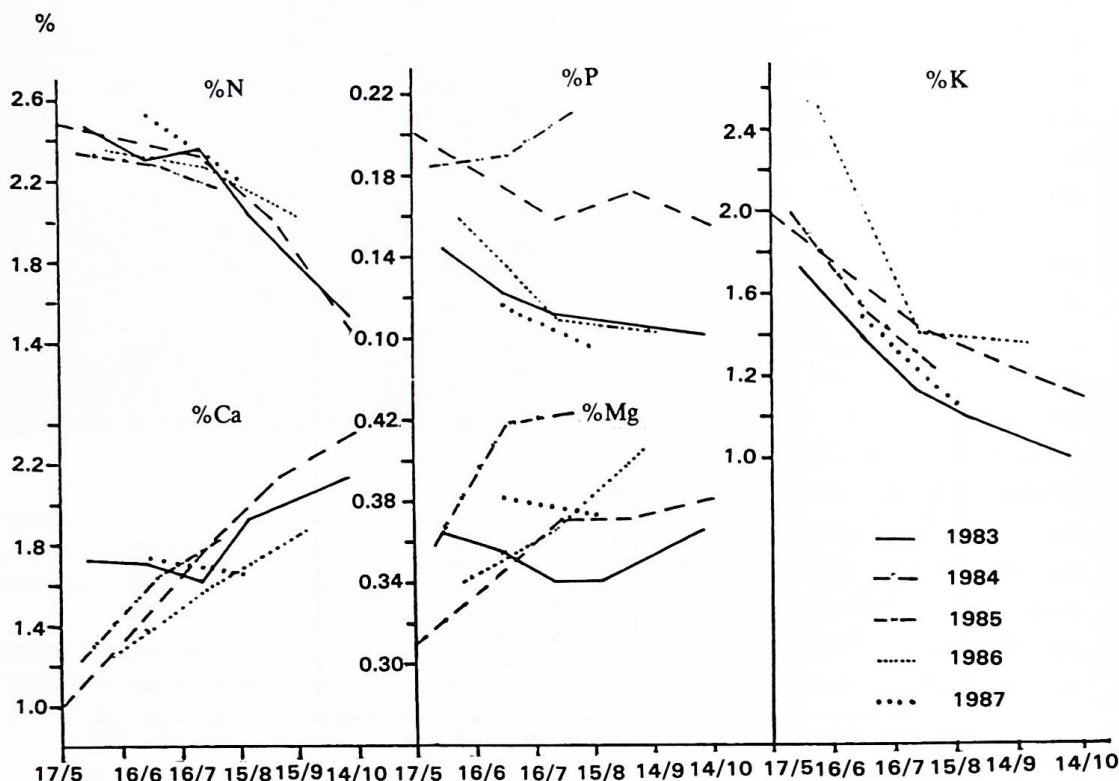
טבלה 7. פרמטרים פיסיולוגיים לתגובת העצים בשלושה טיפולים קיצוניים מדידות קיץ 1984 בשעות 10.00-12.00

טמפרטורות עלה		התנגדות פיוניות שניה/ס"מ		טרנספירציה מ"ג/דצ"ר/שעה		הטיפול
ללא פרי	עם פרי	ללא פרי	עם פרי	ללא פרי	עם פרי	
33.6 א	33.5 א	1.50 א	1.37 א	5493 א	5928 א	ספ 10 - קילופסקל מקדמי גיגית ספ 15 - קילופסקל
32.0 א	30.3 ב	1.68 א	1.38 א	4837 א	5149 א	
37.0 ב	35.4 א	2.74 ב	2.27 ב	3818 ב	4440 ב	

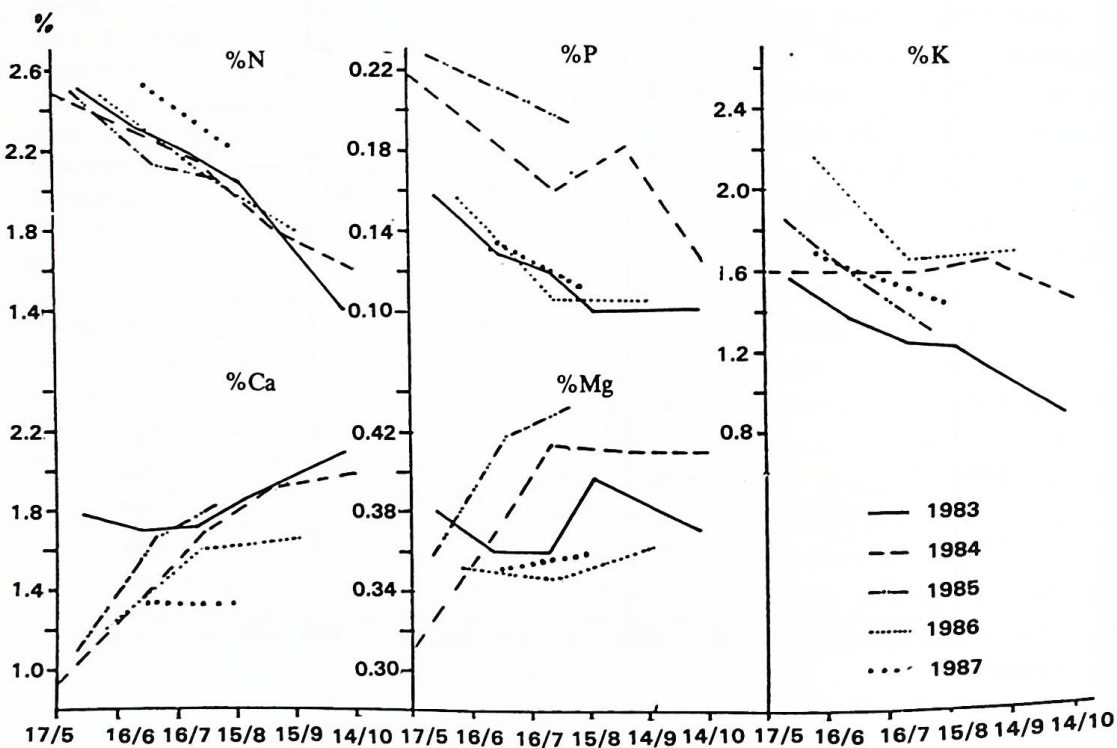
אותיות שונות ע"י המספרים מראות מובהקות בהסתברות  $p=1.10^{-4}$

אחוזים מחומר יבש

זהוב



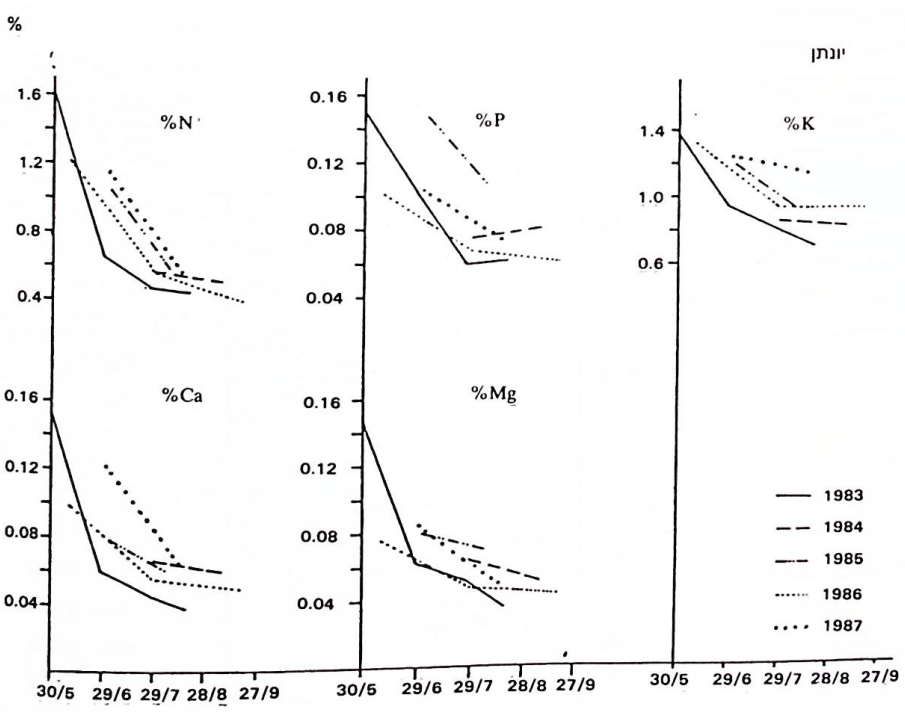
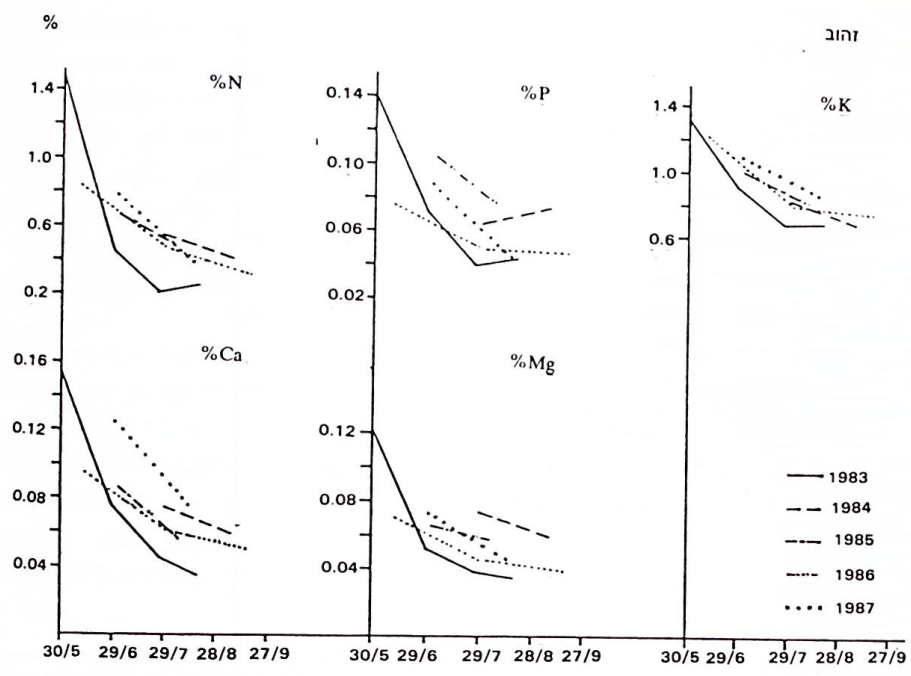
יונתן





ציור 7. ריכוזי המינרלים בפרי התפוח המלא במהלך העונה בחמש שנות הניסויים (ממוצעים של כל הטיפולים בשני זנים)

אחוזים מחומר יבש





### פירות

1. אסף ר., לוין י. וברבדו ב. 1976. תגובת התפוח למשטר מים ועיצוב צורה. דו"ח הקדמי מחניים, אילת השחר, 1974, 1975. חוברת מס. 69. ועדת הנוטעים גליל עליון.

2. לוין י., אסף ר., וברבדו ב. 1981. תגובת התפוח למשטר מים ועיצוב צורת העץ. הוצאת מינהל המחקר החקלאי והמועצה האיזורית גליל עליון, חוברת ועדת הנוטעים מס' 73.

3. Assaf R., Bravdo, B. and Levin I. 1974. Effects of irrigations according to water deficit in two different soil layers on yield and tree growth. J. Hort. Sci. 49:53-64.

4. Assaf R., Levin I. and Bravdo, B. 1982. Apple fruit growth as a measure of irrigation control. Hort. Science 17:59-61.

5. Assaf R., Levin and Bravdo B. 1986. Optimization of water and nitrogen by automated drip irrigation control for apple trees. BARD scientific project No I - 274-80.

6. Bravdo, B. 1972. Photosynthesis transpiration, leaf stomatal and mesophyll resistance measurements by the use of ventilated diffusion porometer. Physiol. Plant. 27:209-215.

7. Jeff A.E. and Proctor J.T.A. 1987. Changes in apple leaf water status and vegetative growth as influenced by crop load. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 112:617-620.

8. Levin I., Assaf R. and Bravdo B. 1979. Soil moisture and root distribution in apple orchard irrigated by tricklers. Plant Soil 52:31-40.

3. תוצאות הניסויים מצביעות על אפשרות חסכון במים של 10% (לעומת השקיה לפי מקדמי גיגית) בהשקיה אוטומטית של סף 10 - קילופסקל תוך כדי קבלת יבולים גבוהים ללא סירוגיות וצימוח וגטיבי מספק. השקיה אוטומטית ממוחשבת צמצמה את הפסד המים מתחת לטפטפת והקטינה את הוצאות העבודה במטע.

4. בטיפול של סף 15 - קילופסקל, שבו ניתנו 79% מהמים, התקבלו 80% מהיבול בהשוואה לטיפול ההשקיה המקובל של מקדמי גיגית. תוספת שטח חתך הגזע התלת-שנתית היתה 60% מזה שביתר הטיפולים. הפחיתה ביבול בטיפול של 15 - קילופסקל התבטאה במספר יותר קטן באופן מובהק של הפירות בהשוואה ליתר הטיפולים. עם זאת גודל הפרי ואיכותו היו ברמה גבוהה ודומה לפירות של יתר הטיפולים. עומס הפרי (מספר פירות על תוספת שטח של גזע העץ) אף הוא לא נפגע והיה דומה ליתר הטיפולים.

5. טיפול זה פותח אפשרות של גידול עצי פרי נמוכים מהמקובל ושמידה על רמת היבול תוך כדי הגדלת מספר העצים לדונם, ללא פגיעה באיכות הפרי ועומס הפרי על צימוח העץ. במטע כזה אמורה להיות חדירת אור משופרת, הקלה בעבודת הקטיף והעיבודים האגרוטכניים במטע, נוסף על הקלה בעבודת ההשקיה ובקרתה.

6. בדיקות פיסיולוגיות של מידת הטרנספירציה, טמפרטורות עלה והתנגדות של הפיוניות הראו שבטיפול שניתנו בו פחות מים, הטרנספירציה היתה יותר קטנה וטמפרטורות העלה והתנגדות הפיוניות להעברת מים היו יותר גבוהים מאשר ביתר הטיפולים (פתיחת פיוניות יותר קטנה). בהשוואה בין עצים נושאי פרי לעומת חסרי פירות - בעצים ללא פירות, הטרנספירציה היתה יותר קטנה, התנגדות הפיוניות להולכת מים יותר גדולה (פיוניות יותר סגורות) וטמפרטורות עלה יותר גבוהות.

# Optimization of water use by automated drip irrigation control for apple trees

R. Assaf - A.R.O. Institute of Horticulture; Bet Dagan Israel

I. Levin - A.R.O. Institute of Soils and Water; Bet Dagan Israel

B. Bravdo - Faculty of Agriculture; Hebrew University of Jerusalem; Rehovot Israel

During the five consecutive years 1983-1987, automated drip irrigation, actuated by soil matrix potential (SMP) sensors, electrotensimeters and heat dissipation sensors was carried out in an orchard of Golden Delicious (GD) and Jonathan apples, in Ayelet Hashachar, in the Hula Valley of Israel. The sensors were placed 30cm from the dripper at a depth of 35 cm. These sensors were connected to a computer, capable of operating the irrigation according to programmable threshold SMP levels. The signals of 4 sensors for each treatment were averaged in order to turn on the irrigation. Irrigation was applied in pulses, 10min on and 10 min off, to minimize overshooting the SMP. The intention was to approach an irrigation regime that would supply water according to the consumption of the trees. The response of the apple trees was studied in 4 treatments, consisting of 2 SMP threshold levels of - 10 and - 15 kPa in each of the sensor types. The other 2 treatments were: a) irrigation according to neutronprobe measurements of the soil water content; b) a control treatment similar to the common irrigation regime, according to pan evaporation coefficients, used in commercial orchards.

The results of the last 3 years, presented in this paper, show:

1) The highest average seasonal amount of water was in the control treatment (pan evaporation coefficients) - 838mm. In the 2 treatments irrigated automatically at -10 kPa SMP threshold, and according to neutroprobe measurement, the average seasonal amount of used water was 10% less.

However, the average yields in all these 3 treatments were high and on a similar level: an annual average of 90 t/ha in GD and 46 t/ha in Jonathan. No significant differences in the vegetative growth of the trees, the size and quality of the fruit and the crop load were found between one treatment and another.

2) In the treatments irrigated automatically at -15 kPa, the average amount of water applied was 660mm, 21% less than the control treatment. The average yield was 77 t/ha for GD and 36 t/ha for Jonathan, a significant 20% less than the rest of the treatments. The reduction in yield was due to the smaller number of fruit per ha, rather than the average size. In size and quality the apples were much the same as in the rest of the treatments.

3) The results of the research show the feasibility of installing an automatic, computerized drip irrigation regime according to optimal SMP levels in the root zone, and thereby maintaining a high level of yields and reducing seasonal water use.

By using a lower SMP threshold level value, appreciably less water was used, with limited wetted soil volume. This restricted the root system resulting in smaller trees, allowing more trees per ha, better light penetration for fruit quality, reduced cost of orchard operations and an increase in fertility, without affecting fruit size.

4) The plant physiological measurements performed showed that trees bearing fruit and irrigated at the optimal SMP thresholds had wider opened stomata and a higher transpiration rate than trees without fruit or trees irrigated at a lower SMP threshold.