

712

2002-2004

תקופת המחקר :

306-0401-04

קוד מחקר :

**Subject:** FACTORS INFLUENCING DIFFERENCES IN  
WATER USE EFFICIENCY OF APPLE ROOTSTOCKS

**Principal investigator:** COHEN SHABTAI

**Cooperative investigator:** AMOS NAOR, Grava Avraham

**Institute:** Agricultural Research Organization (A.R.O)

**שם המחקר :** בחינת הגורמים המשפיעים על  
הבדלים ביעילות השימוש במים בכנות תפוחי עץ

**חוקר ראשי :** שבתאי כהן

**חוקרים שותפים :** עמוס נאור, אברהם גרוה

**מוסד :** מינהל המחקר החקלאי, ת.ד. 6 בית דגן  
50250

### תקציר

המחקר התמקד באבחון יעילות השימוש במים בבחינת כנות וכן בכלים לבחינה יסודית של כנות בהן קיים פוטנציאל ליעילות גבוהה של השימוש במים. נמצא בעבר שבתפוחי עץ על כנות חזקות ומננסות (חלשות) מדד שטח עלים דומה אך צריכת המים של הכנה החלשה נמוכה בעשרות אחוזים. תוצאות אלו מצביעות על הבדלים במוליכות הנוף לאדי מים. ניתוח תיאורטי של התוצאות בתחילת הפרויקט הראה שמוליכות הנוף נמוכה בכנה המננסת עקב מוליכות הידראולית נמוכה. התמקדנו בכנה החלשה M9 ובכנה החזקה MM106. מדדנו במספר ניסויים את המוליכות ההידראולית של כנות אלה יחד עם פרמטרים פיסיולוגיים הקשורים למוליכות. הפרדנו בין מוליכות קרקע-שורש, שורש-גזע וגזע-נוף. נמצא שמוליכות שורש-גזע קצת יותר נמוכה בכנה החלשה. בפרויקט מקביל נמצא שהבדל זה ממוקד באזור האיחוי בין כנה לרוכב. מדידת צריכת המים של העצים אימתה שהשימוש במים לעץ נמוך יותר ב-M9. ביטוי של צריכת מים על בסיס שטח (כמ"מ) הראה שבחוות דלוה הצריכה דומה אבל בחוות עין זיוון הצריכה נמוכה. מוליכות עלים, פוטנציאל מים והתפלגות גודל פרי בעצים שונים במשטר השקיה דומה לא היו שונים בין הכנות גם בשתי החוות (ניסויי שנה ב' וג'). לאור הממצאים נראה שלפחות באתר עין זיוון כנה M9 יותר יעילה ושניתן להשיג ממנו אותו יכול עם פחות צריכת מים. לא ברור מה גורם להבדל בין דלוה לעין זיוון. קביעת מוליכות הידראולית של העץ לפי מדידות זרימת מים בגזע ופוטנציאל מים בעלים הראה שהמוליכות של העץ ביחס לשטח חתך של הגזע חוזר על עצמו בשנים שונות ובאזורים שונים. ידיעת מוליכות זאת יכולה לשפר את אומדני צריכת מים של כנות שונות. דילול פרי לעומסים שונים ומיון פרות לאחר הקטיפ דורש מאמץ רב, אבל מאפשר מבחן רגיש של פרמטרי היבול. בנוסף, בנינו והפעלנו ציוד חדש למדידת מוליכות הידראולית של צמחים כרותים בלחץ גבוהה. הציוד הופעל בהצלחה בכנות צמחי מלון ובצמחי עגבנייה ונמצאו הבדלים בין שתי שיטות הרכבה.

### רשימת פרסומים :

1. Cohen, S. and A. Naor (2002). The effect of three rootstocks on water use, canopy conductance and hydraulic parameters of apple trees; and

predicting canopy from hydraulic conductance. *Plant Cell and Environment* 25(1):17-28.

2. Li, F., S. Cohen, A. Naor, K. Shaozong and A. Erez (2002). Studies of canopy structure and water use of apple trees on three rootstocks. *Agricultural Water Management* 55(1): 1-14
3. Cohen, S., Bennink, J. and M. Tyree. (2003) Air method measurements of apple vessel length distributions with improved apparatus and theory. *Journal of Experimental Botany*, 54(389):1889-1897
4. Cohen, S. (2003) Fourth International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops. Univ. of Calif., Davis. Sept 1-5, 2003. Paper entitled "Does rootstock dwarfing correlate with hydraulic conductance and/or xylem dysfunction?"
5. Naor, A., S. Cohen (2003). Response of apple tree stem diameter, midday stem water potential and transpiration rate to a drying and recovery cycle. *Hortscience* 38(4):547-551

דו"ח מסכם לחכנית מחקר מספר 04-0401-306

## בחינת הגורמים המשפיעים על הבדלים ביעילות השימוש במים בכנות תפוחי עץ

### Factors influencing differences in water use efficiency of apple rootstocks

מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות

ע"י

שבתאי כהן המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מינהל המחקר החקלאי  
עמוס נאור המכון לחקר הגולן, ת.ד. 97, קצרין 12900  
אברהם גרוה המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מינהל המחקר החקלאי

Shabtai Cohen, Institute of Soil, Water and Environmental Sciences, ARO, Volcani Center, P.O.B. 6, Bet Dagan 50250. Email: [vwshap@agri.gov.il](mailto:vwshap@agri.gov.il)

Amos Naor, Golan Research Inst., POB 97, Kazrin 12900.

[amosnaor@research.haifa.ac.il](mailto:amosnaor@research.haifa.ac.il)


Avraham Grava, Institute of Soil, Water and Environmental Sciences, ARO, Volcani Center

מאי, 2005

אייר, תשס"ה

הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים

הניסויים מהווים המלצות לחקלאים: לא

חתימת החוקר: 

#### תקציר:

המחקר התמקד באבחון יעילות השימוש במים בבחינת כנות וכן בכלים לבחינה יסודית של כנות בהן קיים פוטנציאל ליעילות גבוהה של השימוש במים. נמצא בעבר שבתפוחי עץ על כנות חזקות ומננסות (חלשות) מדד שטח עלים דומה אך צריכת המים של הכנה החלשה נמוכה בעשרות אחוזים. תוצאות אלו מצביעות על הבדלים במוליכות הנוף לאדי מים. ניתוח תיאורטי של התוצאות בתחילת הפרויקט הראה שמוליכות הנוף נמוכה בכנה המננסת עקב מוליכות הידראולית נמוכה. התמקדנו בכנה החלשה M9 ובכנה החזקה MM106. מדדנו במספר ניסויים את המוליכות ההידראולית של כנות אלה יחד עם פרמטרים פיסיולוגיים הקשורים למוליכות. הפרדנו בין מוליכות קרקע-שורש, שורש-גזע וגזע-נוף. נמצא שמוליכות שורש-גזע קצת יותר נמוכה בכנה החלשה. בפרויקט מקביל נמצא שהבדל זה ממוקד באזור האיחוי בין כנה לרוכב. מדידת צריכת המים של העצים אימתה שהשימוש במים לעץ נמוך יותר ב-M9. ביטוי של צריכת מים על בסיס שטח (כמ"מ) הראה שבחוות דלוה הצריכה דומה אבל בחוות עין זיוון הצריכה נמוכה. מוליכות עלים, פוטנציאל מים והתפלגות גודל פרי בעצים שונים במשטר השקיה דומה לא היו שונים בין הכנות גם בשתי החוות (ניסויי שנה ב' וג'). לאור הממצאים נראה שלפחות באתר עין זיוון כנה M9 יותר יעילה ושניתן להשיג ממנו אותו יכול עם פחות צריכת מים. לא ברור מה גורם להבדל בין דלוה לעין זיוון. קביעת מוליכות ההידראולית של העץ לפי מדידות זרימת מים בגזע ופוטנציאל מים בעלים הראה שהמוליכות של העץ ביחס לשטח חתך של הגזע חוזר על עצמו

בשנים שונות ובאזורים שונים. ידיעת מוליכות זאת יכולה לשפר את אומדני צריכת מים של כנות שונות. דילול פרי לעומסים שונים ומיון פרות לאחר הקטיפה דורש מאמץ רב, אבל מאפשר מבחן רגיש של פרמטרי היבול. בנוסף, בנינו והפעלנו ציוד חדש למדידת מוליכות הידראולית של צמחים כרותים בלחץ גבוהה. הציוד הופעל בהצלחה בכנות צמחי מלון ובצמחי עגבנייה ונמצאו הבדלים בין שתי שיטות הרכבה.

### מבוא הכולל רקע מדעי קצר ומטרות המחקר לתקופת הדו"ח

תפוחי עץ בגליל העליון ובגולן מושקים במים שפירים בגלל שהם יושבים על אקופרים רגישים. דבר זה מוסיף לחשיבות הכללית של החסכון במי השקיה. ואכן יש מגמה כללית לחפש דרכים לחסוך בהשקיה. בפרוייקט קודם (99-0279-306) בחנו את הקשר שבין גודל נוף וצריכת מים, כאשר גודלי הנוף בחלקות שונות השתנו בגלל הרכבה על כנות בחוזקים שונים. למרות שכנה אחת הורידה באופן ברור את גודל העצים הבודדים, בגלל צפיפות נטיעה שונה של החלקות מדד שטח העלים (כלומר שטח עלים לשטח קרקע) היה דומה לחלקות של הכנות החזקות. לעומת זאת, צריכת מים של החלקות (במ"מ) היתה נמוכה בכ-60% בחלקה עם העצים הנסיים. ההסבר היחיד לתופעה זאת הוא הבדל במוליכות הנוף לאדי מים, שהוא הביטוי ברמה של הנוף השלם למוליכות פיוניות והבדלים בגיאומטריה של הנוף (כאשר ההבדלים בגיאומטריה היו קטנים).

בניסויים אחרים על צריכת מים של עצי תפוח, השפעת הכנה על הצריכה ויעילות השימוש במים אינם מטופלים בד"כ. בחינת הכנות הנהוגה כיום אינה מטפלת בהשוואת יעילות השימוש במים בשל העדר מודעות לנושא ובשל העדר כלים לאבחון יעילות השימוש במים של כנות בכלל ותפוח ביניהן. מחקר זה טיפל בפיתוח כלים לאבחון של יעילות השימוש במים בבחינה יסודית של כנות בהן קיים פוטנציאל ליעילות גבוהה של השימוש במים.

### תאוריה ושיטות שפותחו בפרוייקט:

בתנאים שבהם האוויר צמוד לעלווה (Coupled) קשר מקורב בין דיות העלווה ( $E$ ) לבין גרעון אדי מים באוויר ( $VPD$ ) הינו

$$(1) \quad E = g_c VPD$$

כאשר  $g_c$  הוא המוליכות של הנוף ליחידת שטח. באותו זמן, זרימת המים בעץ נגרמת ע"י גרדיאנט לחץ (או פוטנציאל) המים שבצמח, כך ש

$$(2) \quad F = k(\Psi_s - \Psi_l)$$

כאשר  $F$  מבטא זרימת המים,  $k$  הוא מוליכות הידראולית של העץ ו- $\Psi_s$  ו- $\Psi_l$  הם פוטנציאל המים שבקרקע ובעלים. במצב של שיווי משקל  $F=E$ . בדרך כלל במשך מספר שעות בצוהריים זרימת המים בגזע משתנה רק במעט וניתן להגיד שבשעות אלו קיים שיווי המשקל הנ"ל. חיבור בין נוסחאות 1 ו-2 מוביל ל:

$$(3) \quad E = F = g_c VPD = k(\Psi_s - \Psi_l)$$

הנוסחא הנ"ל מעידה על הקשר שבין מוליכות הנוף לאדי מים לבין המוליכות ההידראולית. בהרבה מקרים (כולל עצי תפוח) יש קשר ליניארי בין ההתנגדות של הנוף למעבר אדי מים

$$(r_c = 1/g_c) \text{ לבין ה-} VPD, \text{ כך ש}$$

$$(4) \quad 1/g_c = r_c = a + b VPD$$

כאשר  $a$  ו- $b$  הם פרמטרים הנקבעים מרגרסה ליניארית. אם נציב את נוסחה 4 בנוסחה 3 נקבל:

(5)

$$\frac{a}{VPD} + b = \frac{1}{k(\Psi_s - \Psi_l)}$$

באמצע היום VPD גבוה ו- $a$  קטן יחסית. בתנאים אלה האיבר השמאלי של 5 זניח ונקבל:

(6)

$$b = \frac{1}{k(\Psi_s - \Psi_l)}$$

אם העץ שומר על פוטנציאל מים קבוע בעלים באמצע היום, שיפוע הקשר בין מוליכות הנוף לבין VPD הוא פרופורציונלי להתנגדות

ההידראולית של העץ ( $b \approx 1/k$ ).

המשמעות של פוטנציאל מים קבוע היא שהעץ מגביל את הפוטנציאל או את קצב זרימת המים בגזע לערכים קבועים כל יום. מצאנו בעצי תפוח בטיפול השקיה רגיל שפוטנציאל המים באמצע היום אינו משתנה בצורה משמעותית מיום ליום. ניתוח של נתונים מניסוי קודם (ראה איור 1) מראה בבירור את הקשר הליניארי בין

VPD למוליכות הנוף. ההבדלים

בשיפועים בין הכנות מצביעים על הבדלים במוליכות ההידראולית. במיוחד רואים

שלכנה המנסת M9 שיפוע גבוה המראה

על מוליכות הידראולית נמוכה (על בסיס שטח

קרקע). בהמשך העבודה מדדנו את המוליכות

ההידראולית של העצים האלה ע"י מדידות מקבילות

של פוטנציאל מים בעץ וזרימת מים בגזע במשך

היום (לפי נוסחא 2). כאמור, מוליכות ההידראולית

מוגדרת לפי היחס שבין זרימת מים בגזע להפרש

פוטנציאל בין קרקע לעלים. ע"י מדידת פוטנציאל

במקומות שונים בעץ ניתן לבדוד את המוליכות של

חלקים שונים של העץ (איור 2). לדוגמא, מדדנו

מוליכות שבין קרקע לשורש בעזרת חזירים מכוסים

בשקיות ניילון. אלה מגיעים לשיווי משקל עם הפוטנציאל בשורש. את פוטנציאל המים בקרקע

לוקחים כשווה לפוטנציאל בעלים לפני הזריחה.

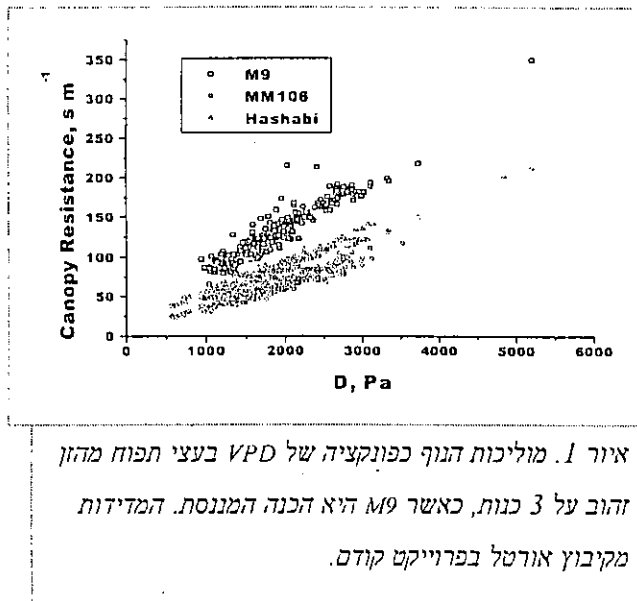
למוליכות ההידראולית משמעות יחסית כשמשווים שתי טיפולים וכדומה, אבל יש לו

משמעות אבסולוטית כאשר מבטאים אותו יחסית לשטח חתך הגזע (מוליכות ספציפית) או לשטח

העלים (מוליכות ספציפית לשטח עלים). הממד הראשון מבטא את כושר העצה להוביל מים

והמדד השני מבטא את היכולת של מערכת התובלה לספק מים לעלים. שני מדדים אלה ידועים

בספרות וערכיהם נעים סביב מספרים מסויימים (ראה Tyree, 1999). בעבר בעבודות בארץ לא



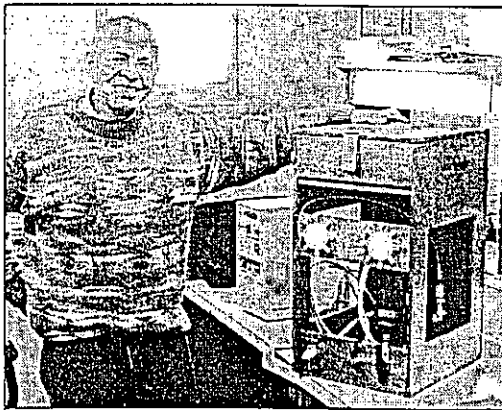
איור 1. מוליכות הנוף כפונקציה של VPD בעצי תפוח מהזן זהוב על 3 כנות, כאשר M9 היא הכנה המנסת. המדידות מקיבוץ אורטל בפרויקט קודם.



איור 2. ציור סכמטי של מדידת מוליכות של חלקים שונים של העץ כולל אזור אחיזי כנה-רוכב.

הושם דגש על ביטוי נכון של מוליכות הידראולית של צמחים. בעבודה זאת אנו מקפידים על הביטויים הנכונים.

אם נכרות את העץ ונלביש עליו מערכת המזרימה מים לתוכו בלחץ ידוע אזי היחס בין קצב הזרימה ללחץ נותן את המוליכות. זה הבסיס הרעיוני למערכת הלחץ High Pressure Flow Meter HPFM שנבנה בפרוייקט זה (איור 3). המערכת לא הופעלה על עצי תפוח בגלל בעיות בהתאמתן לזרימות מים גבוהות ובשימוש במחברי לחץ גדולים בגזעים הגדולים, אבל הוא שימש



איור 3. מערכת HPFM שנבנה במעבדה שלנו עבור פרוייקט זה.

לצמחים אחרים בתקופת הפרוייקט. כמו כן בפרוייקט מקביל במימון BARD המערכת הופעלה על עצי תפוח בחו"ל במעבדה ובשדה. אבל במדידות ההם, שנעשו על סדרת כנות מחוזקים שונים לא נמצא קשר ברור בין עוצמת הכנה למוליכות שלו (Cohen et al., 2003). כן נמצא מוליכות נמוכה באזור איחוי בין כנה לרוכב בכנה המנסת M9.

#### מהלך הפרוייקט:

סיכום סכמטי של האתרים שבו נעשו הניסויים בפרוייקט וכן סוגי המדידות שנעשו מובא בטבלה 1. הטבלה כוללת גם השנים 2000 ו-2001 שבהם נעשו מדידות מקדימות לפרוייקט ובנוסף המדידות שנעשו בארה"ב במסגרת פרוייקט במימון BARD של שנה אחת. מאגר הנתונים גדול ועוד לא ניתחנו את כל התוצאות.

טבלה 1. סיכום המדידות שנעשו באתרים השונים.

שנים	חוות דלווה (אורטל)			עין זיוון (קוביטרה)			ארה"ב (וורמונט)	
	2000	2001	2003	2002	2003	2004	2001	2002
זרימה בגזע	3 חודשים	מספר ימים	כ-20 יום	כחודשיים		כ-20 יום	כחודש	מספר ימים
C13		V		V			V	V
יבולים			V			V		
שטח עלים	6 עצים					6 עצים	12 עצים	12 עצים
מוליכות הידראולית	V			V		V	V	V
מוליכות עלים (פורומטר)						יומיים		מספר ימים
פוטנציאל מים	יום			יום		יומיים	מספר ימים	מספר ימים

טבלה 2. פרמטרים של העצים שנמדדו במטע בחוות עין זיוון ודלווה בקיצים 2002, 2003, ו-2004.  
שטח הגזע הינו שטח הרוכב שנמדד מעל לאזור ההרכבה. מדידות זרימת מים בגזע נעשו ביולי-אוגוסט.

MM106			M9			כנה
דלווה	עין זיוון		דלווה	עין זיוון		אתר
4x1.75 7 מ"מ	4x1.5 6 מ"מ		3.5x1.2 4.2 מ"מ	4x1.25 5 מ"מ		מרווחי נטיעה
2003	2004	2002	2003	2004	2002	שנה
8.2	8.1	6.6	6.7	5.9	5.0	Stem diameter, cm
5.3E-03	5.2E-03	3.4E-03	3.5E-03	2.8E-03	2.0E-03	Stem Area/tree m <sup>2</sup>
2.58±0.26	2.37±0.37	1.33±0.26	1.36±0.20	1.39±0.14	0.68±0.09	Sap-Flow/tree l/h (1300h)
0.37	0.40±0.06	0.22±0.04	0.32	0.29±0.03	0.14±0.02	Sap Flow mm/h (1300h)
7.6E-04	8.7E-04	5.7E-04	8.3E-04	5.5E-04	4.2E-04	Stem Area index
11.2	6.9	7.4	9.2	6.4	5.3	Leaf area/tree (m <sup>2</sup> )
1.6	1.2	1.2	2.2	1.3	1.1	LAI
0.23	0.34±0.05	0.18±0.04	0.15	0.22±0.02	0.13±0.02	Estimated Sap Flow per leaf area at 1300h (l m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> )
740	753		703	753		Irrigation (mm/dunam)

טבלה 2 ב. היחס שבין הפרמטרים של הכנה M9 לאלה של הכנה MM106 לפי הנתונים שבטבלה  
1א.

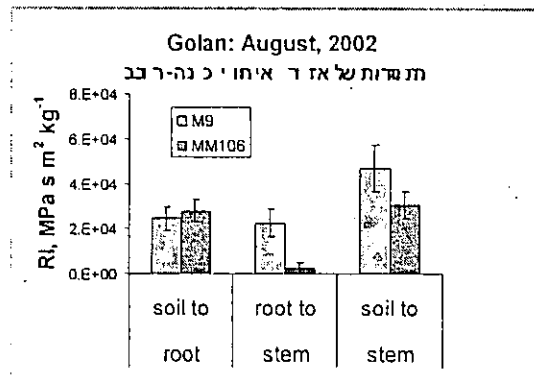
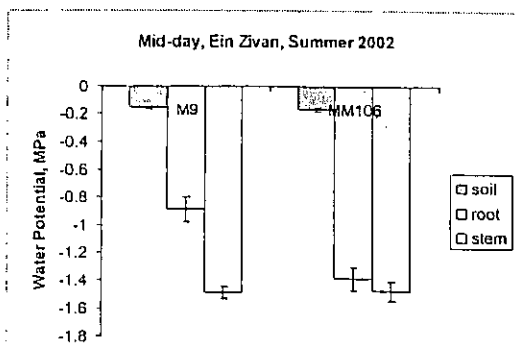
M9/MM106				כנה
ממוצע	דלווה	עין זיוון		אתר
0.76	0.6	0.83		מרווחי נטיעה
	2003	2004	2002	שנה
0.77	0.82	0.73	0.76	Stem diameter, cm
0.60	0.66	0.54	0.59	Stem Area/tree m <sup>2</sup>
0.54	0.53	0.59	0.51	Sap-Flow/tree l/h (1300h)
0.74	0.86	0.73	0.64	Sap Flow mm/h (1300h)
0.82	1.09	0.63	0.74	Stem Area index
0.82	0.82	0.93	0.72	Leaf area/tree (m <sup>2</sup> )
1.13	1.38	1.08	0.92	LAI
0.67	0.65	0.65	0.72	Estimated Sap Flow per leaf area at 1300h (l m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> )
0.98	0.95	1.00		Irrigation (mm/dunam)



### ניסויים לקביעת מוליכות הידראולית, מוליכות נוף ופרמטרים פיסיולוגיים:

ניסוי השדה של השנה הראשונה (2002) התבצע במטע קיבוץ עין זיוון שבגולן. הניסוי התרכז בחלקה מזן סמוטי על הכנות M9 ו-MM106 כבעבר. פרמטרים של החלקות מובאות בטבלה 2. בכל חלקה נבחרו 8 עצים שבהם התפתחו ענפונים ("חזירים") היוצאים ממערכת השורשים (הכנה). ענפים אלה לא הוסרו. בחלקות הותקנו מערכות פולס חום למדידת זרימת מים בגזעים ובכל העצים הותקנו חיישני פולס חום. בנוסף לזרימת מים בגזע נמדדו טמפרטורה ולחות אוויר. בתאריך 8.8.02 נמדדו פוטנציאל מים בעלים לפני הזריחה, ופוטנציאל מים באמצע היום בעלים שכוסו קודם בחלק העליון של הרכב, ועלים מה"חזירים". איור 2 מראה באופן סכמטי את הניסוי ומטרתו.

תוצאות הניסוי מובאות באיור 4. פוטנציאל מים בשורש ובגזע של הרכב לא היו שונים באופן מובהק בין סוגי העצים, אבל פוטנציאל מים בשורשים היה שונה בכ-0.5 MPa. התוצאות מצביעות על הבדל במוליכות הידראולית של הקטע שבין השורשים לגזע, וכאמור לעיל בהמשך התברר שהאזור הבעייתי הוא אזור האיחוי כנה-רכב. לפי תוצאות אלה הרי שצריכת המים הנמוכה של העצים הננסים קטן בגלל מוליכות נמוכה. גם נראה שההתנגדות הנוספת בכנה M9 תוביל למוליכות נוף קטנה ואולי לסגירת פיוניות וירידה בפוטנצינליזיה. לאומת זאת צריכת מים כללית תלויה בהתנגדות הכללית של העץ ובה התבדלים לא היו מובהקים. לכן היה חשוב לראות אם באמת צריכת מים ליחידת שטח שונה בין הכנות והאם מוליכות עלים שונה. במספר ניסויים (Naor, 1998) נמצא שיש קורלציה גבוהה בין פוטנציאל מים בגזע של העץ לבין מוליכות פיוניות. לפי הרעיון הזה, מכיוון שלא היו הבדלים בפוטנציאל מים בגזע לא צריכים להיות הבדלים

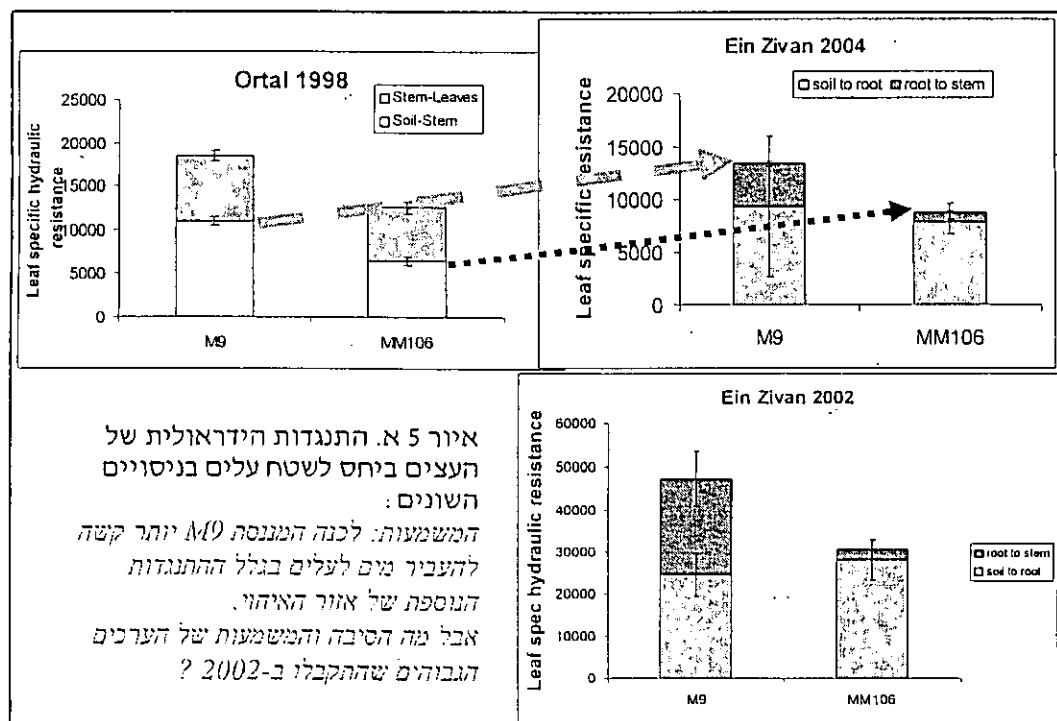
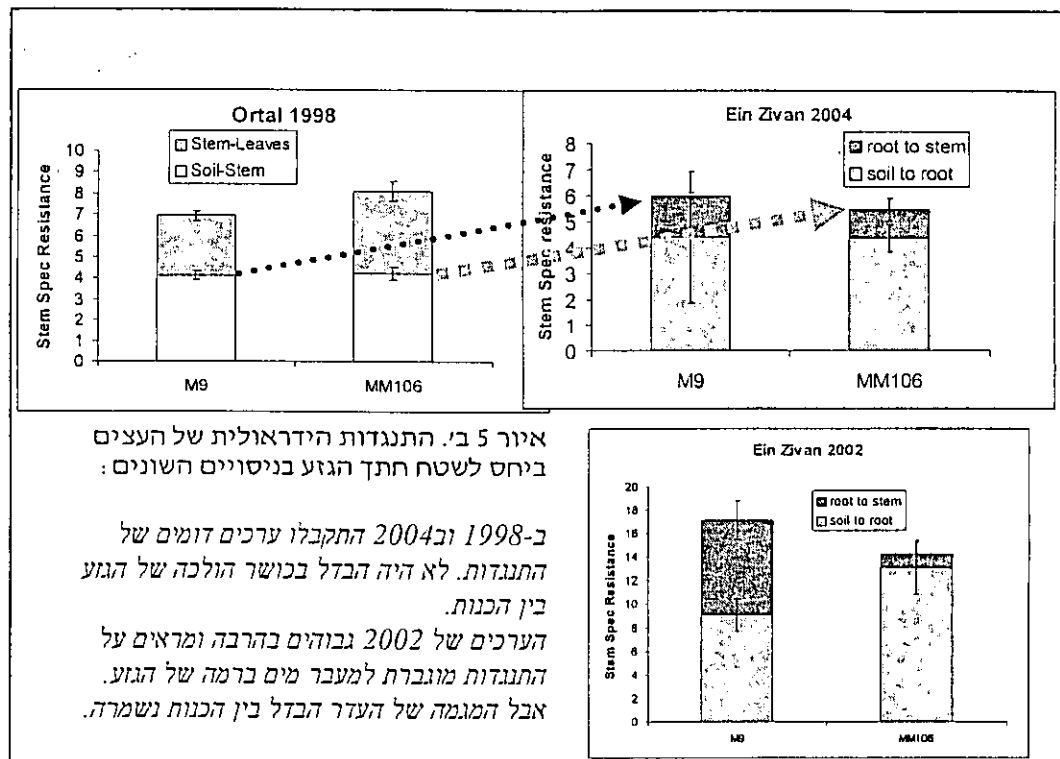


איור 4. פוטנציאל מים בעצים ובקרקע ב-8.8.02 (א) והתנגדות הידראולית למעבר מים בחלקים שונים של המערכת (ב).

במוליכות עלים. בעיה נוספת היתה אי התאמה מספרית עם המדידות שנעשו בפרויקט הקודם (ראה איור 5).

לניסויי שדה של השנה השנייה והשלישית הצבנו שתי מטרות: (1) מדידת מוליכות עלים לאדי מים במטע עין זיוון וחזרה על המדידות של מוליכות הידראולית של שורש-גזע. לפי התוצאות של שנה א' היה הגיוני שבכנה המננסת M9 תהיה מוליכות עלים נמוכה יותר. (2) השוואת יעילות השימוש במים בכנה מננסת לכנה חזקה. הדבר דרוש ע"מ לענות על השאלה המרכזית האם לכנות מננסות יש פוטנציאל ליעילות שימוש במים יותר גבוהה, או שהם רק

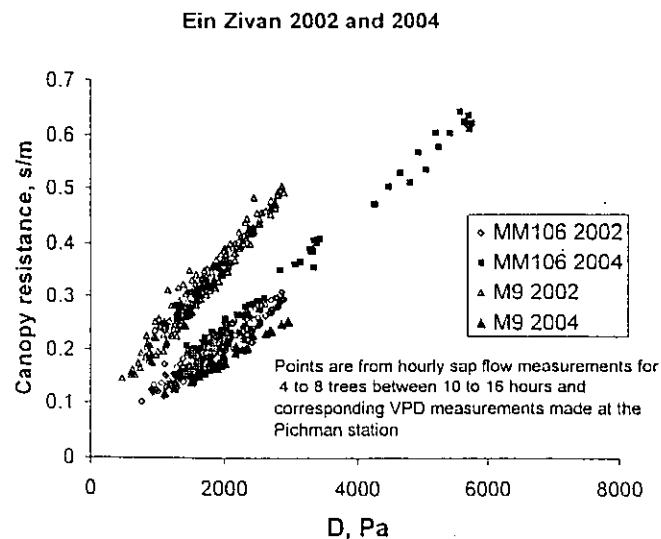
מקטינות את צריכת המים לעץ ונותנות אותו יכול ליחידת מים. תאור הניסוי למטרה 2 תמצא למטה.



לקראת קיץ 2003 נעשה בדיקה מקדימה בשטח ונמצא שבמטע עין זיוון היבולים קטנים. לכן שם נבדקה השאלה הספציפית לגבי מוליכות עלים, והניסיון לגבי יעילות השימוש במים מבחינת יבולים נעשה במטע אחר. השקיית שתי החלקות (M9 ו-MM106) היתה דומה (518 ו-524 מ"מ עונתי, בהתאמה), ובאוגוסט 82 מ"מ בשתי החלקות. השקייה זאת מהווה 80% מההשקייה הרגילה של תפוזי באזור זה, וההורדה היתה בגלל שהעצים קטנים יותר.

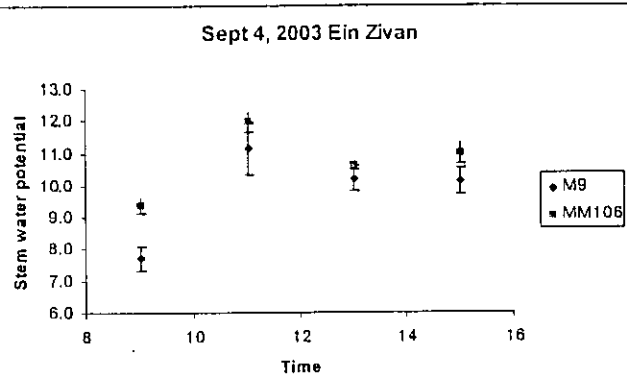
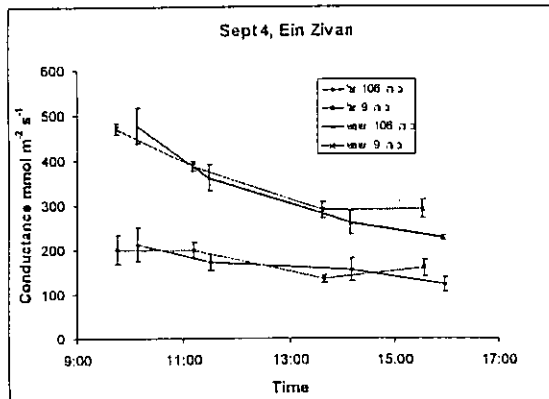
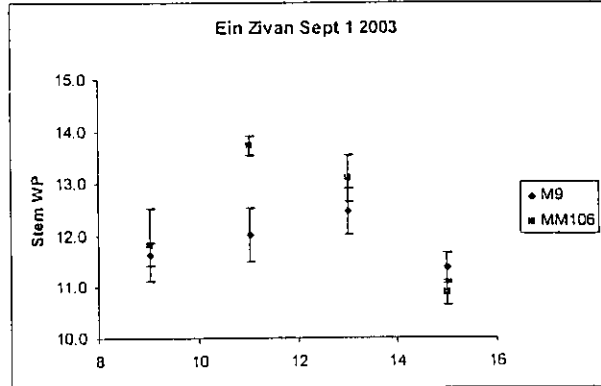
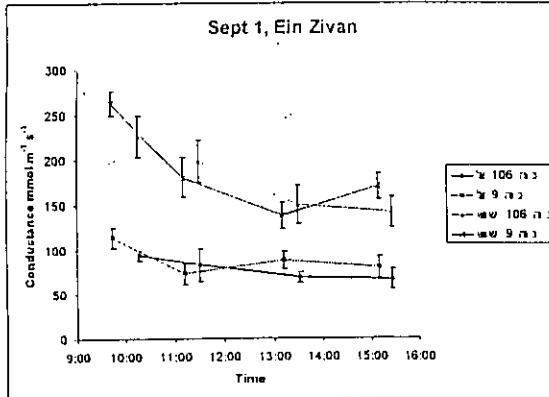
המדדות נעשו ב-1 ו-4 לספטמבר. נמדדו מוליכות פיוניות ופוטנציאל מים בגזע של העצים. בצהריים (איור 5) פוטנציאל מים שלילי היה בין 12 ל-14 באר ב-1.9 ובין 10 ל-12 באר ב-4.9, ומוליכות עלים מוארים 150-200 ו-300-400 מ"מול למ"מ לשניה בתאריכים אלה בהתאמה. תוצאות אלו, ומגמת הירידה במוליכות עלים במשך היום מראות על עקת מים מתונה בטיפולים בזמן המדידות, ובמיוחד ב-1.9. לגופו של עניין, לכנה MM106 היתה פוטנציאל מים שלילי יותר גבוהה, אך לא התקבלו הבדלים מובהקים במוליכות עלים בין הכנות. הניסוי מראה שהכנה MM106 מוריד את הפוטנציאל מים יותר מ-9 מ"מ בזמן שמוליכות עלים דומה בשניהם. בשנה השלישית (2004) חזרנו לשטח כאשר הגברנו את ההשקייה. במקרה זה לא נמצאו הבדלים מובהקים לא בפוטנציאל מים ולא במוליכות עלים (איור 7).

בעקבות הממצע שהפוטנציאל מים ומוליכות עלים בשתי הכנות לא היו שונות באופן מובהק החלטנו ב-2004 לחזור על המדידה של מוליכות הידראולית של הכנות בעין זיוון, כולל החלק שבין שורש לגזע. התוצאות מובאות באיורים 5 ו-7. יש לציין שהמוליכות ההידראולית שנמדד ב-2004 תאם מספרית במדויק את התוצאות שקיבלנו מניתוח תוצאות מאורטל 1998. אנו מניחים שהמוליכויות הנמוכות שנמדדו ב-2002 לא מאפיינים את המצב הרגיל. אבל ההבדל בין 9 מל-MM106 נשמר גם ב-2002. איור 6 מראה את הקשר שבין מוליכות הנוף לבין VPD. פה גייס אין התאמה בין תוצאות 2002 ו-2004 וההתנגדויות הכי נמוכות התקבלו דווקא ב-M9 ב-2004. בעתיד ננתח אם ההבדלים האלה מובהקים או לא.

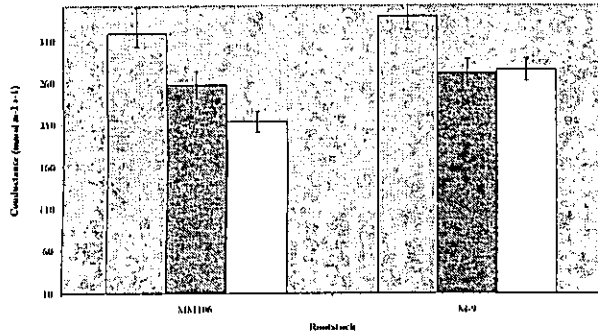


איור 6. מוליכות הנוף כפונקציה של VPD בעצי תפוז מהזן זהוב על שתי כנות, כאשר M9 היא הכנה המנסת. המדידות מחוות עין זיוון.

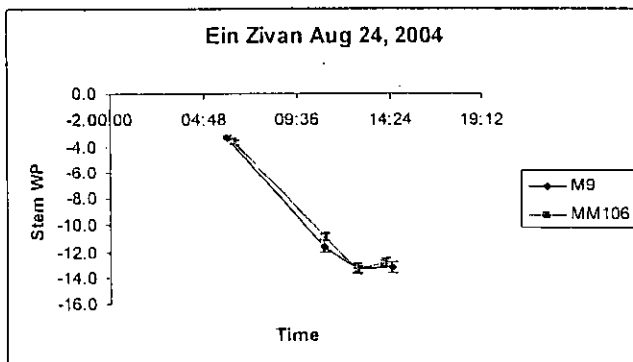
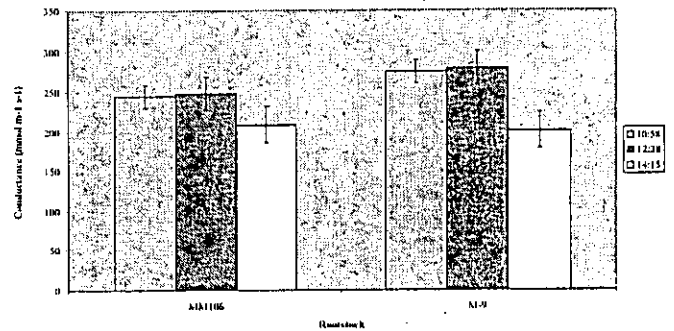
איור 7. מוליכות עלים ופוטנציאל מים בגזע (-באר) בעין זיוון ב-2003 ו-2004.



Ein Zivan Aug 24, 2004, Sunlit leaves



Ein Zivan Aug 24, 2004, Shaded leaves



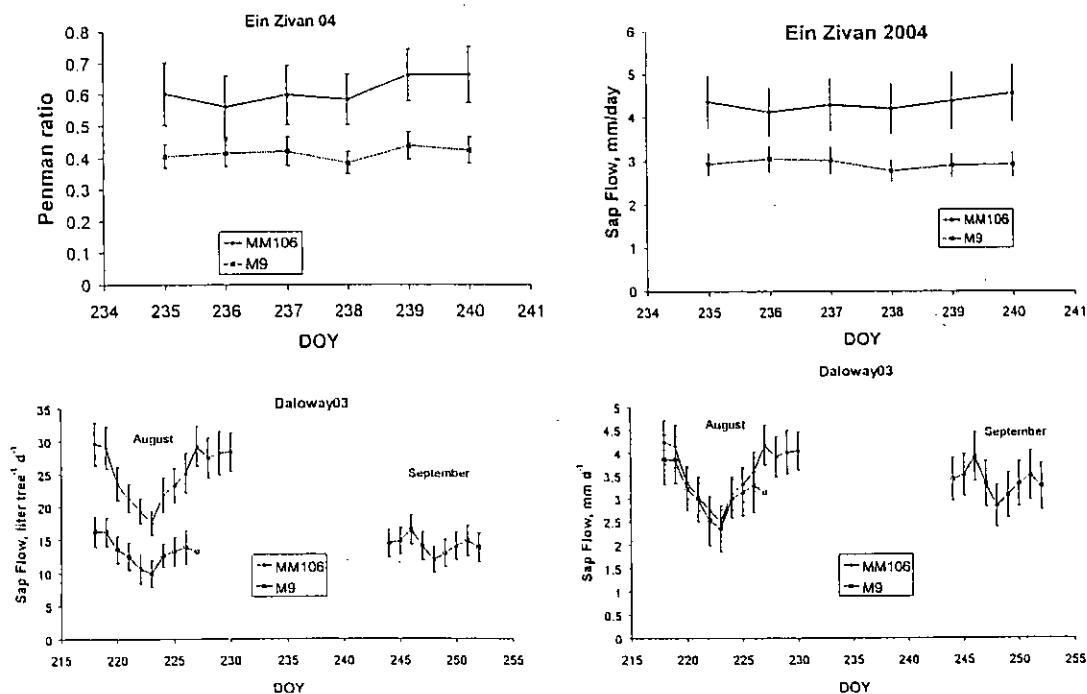
קביעת יעילות השימוש במים (לגבי יבולים) בשתי הכנות M9 ו-MM106 (ניסויי שנה ב' וג').

כמוזכר לעיל, הסתכלות מקדימה בשנה ב' (2003) הראתה שאין מספיק פירות במטע עין זיוון כדי לקבל מגוון רחב של מספר פרות לעץ, אבל במטע של קיבוץ אורטל בדלווה בחלקות MM106 ו-M9 היו מספיק פרות לניסוי. פרטמרים של דלווה נכונים לקיץ 2003 מובאים בטבלה 2. בתחילת עונת ההשקיה (יוני 2003) נמתחו קווי טפטפות מהחלקת MM106 לחלקת M9 עם אותו צפיפות טפטפות על מנת להשוות את ההשקיה בשתי החלקות. המנה העונתית היתה 740 ו-703 מ"מ עבור MM106 ו-M9 בהתאמה. בחודש אוגוסט וספטמבר ניתנו 5.8 מ"מ ליום השקיה. יעילות ההשקיה הנמוכה, 53% ו-62% (צריכה השקיה) עבור M9 ו-MM106 נובעת כנראה מהאופי המאוד סלעי של הקרקע המקומית.

בחודש אוגוסט נמדד צריכת מים של העצים בעזרת שתי מערכות למדידת זרימת מים בגזע. המערכת שבכנה M9 עבדה גם בספטמבר. התוצאות (איור 8) מראות שבתאריכים סביב ה-11 לאוגוסט היתה ירידה בצריכת מים של כשליש. הדבר קשור לתקלה בהשקיה של החלקה, כפי שנראה ברישומים של שעוני המים שהראו שהחלקה קבלה מעט מים בין ה-3 ל-18 לאוגוסט. בכל מקרה בממוצע הסך היומי של צריכת מים היתה 13.2 ו-14.1 ליטר ליום לעץ עבור M9 באוגוסט וספטמבר בהתאמה, ו-24.9 לי ליום עבור MM106. כאשר הערכים מנורמלים לפי מרחקי נטיעה (לפי שטח המטע), החלקות צרכו 3.6 ו-3.1 מ"מ בכנות MM106 ו-M9 באוגוסט, בהתאמה. ההבדל של כ-15% בצריכה לא מובהק עקב השונות שבין העצים בצריכת מים. לפי מספר העצים שנמדדו והשונות, טעות התקן במקרה זה הוא כ-0.4 מ"מ ליום.

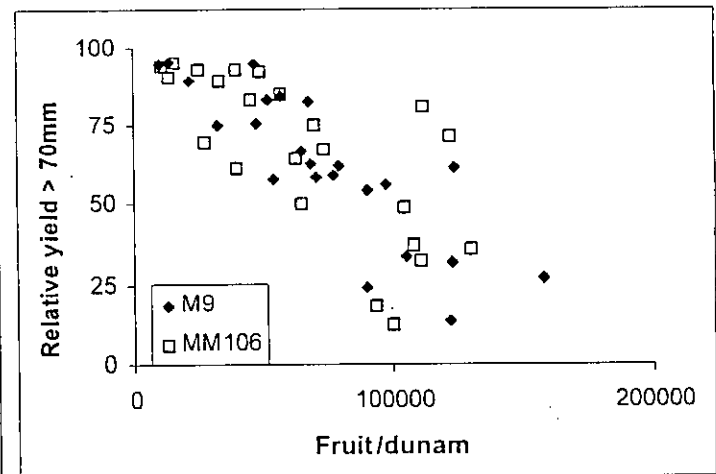
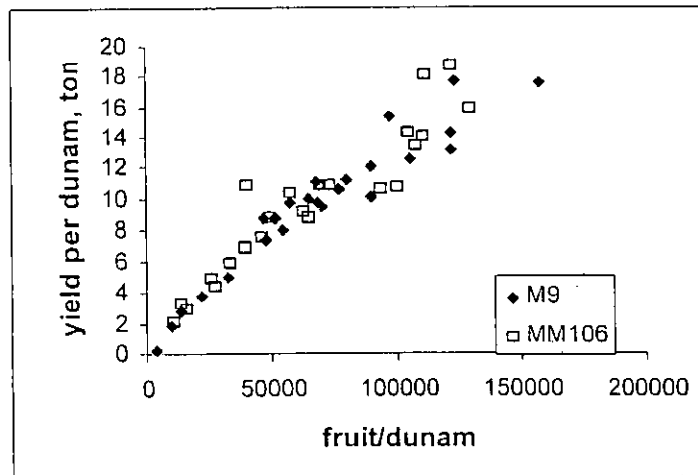
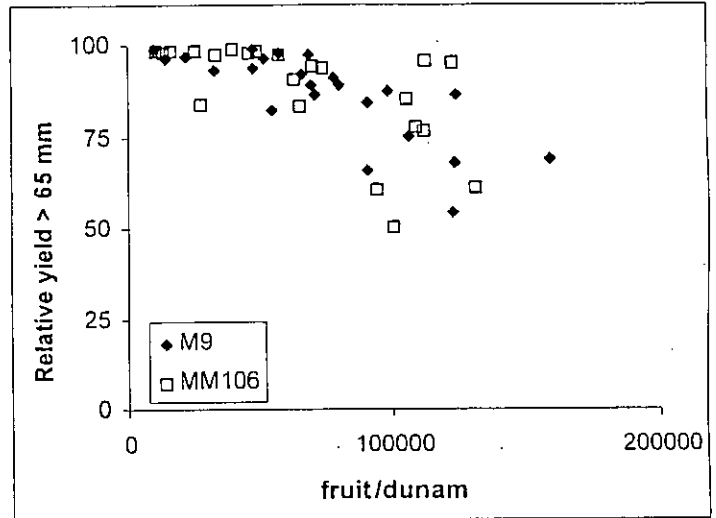
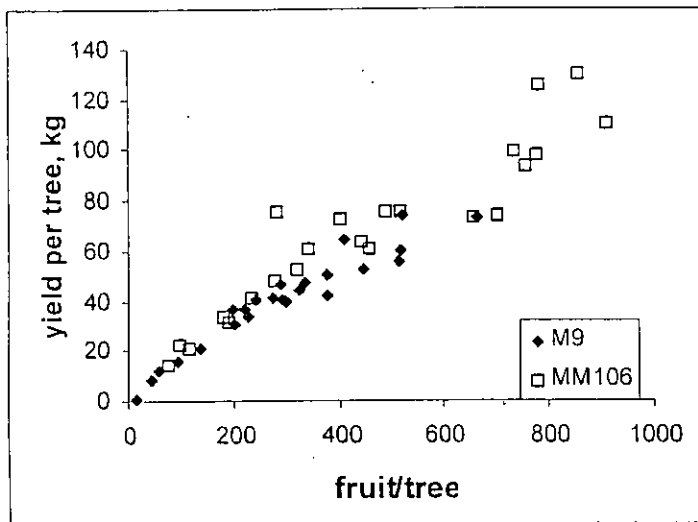
איור 8. זרימת מים וצריכת מים שנמדד בחוות דלווה ועין זיוון בקיץ 2003 וסוף אוגוסט 2004.

מובא סך יומי לעץ בליטר (שמאלי) ומ"מ לדונם לפי מרחקי הנטיעה (ימני).

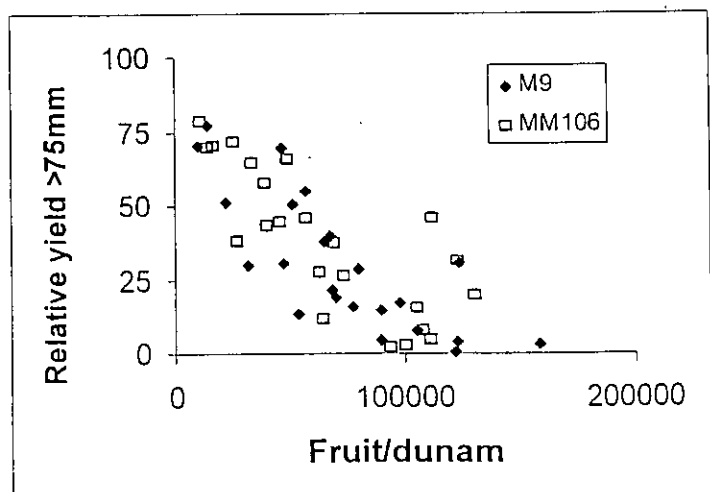


היבולים בשתי הכנות ב-2003 ו-2004 מובאות באיורים 9 ו-10. כמו במקרה של צריכת המים שנמדדה, העצים בכנה החזקה, MM106, נתנו יותר יבול, אבל כאשר מבטאים את היבול יחסית לשטח של כל עץ הרי לא היו הבדלים מובהקים בין הכנות. באותו מידה, אם נבטא את התוצאות יחסית לצריכת המים המדודה נקבל הבדלים של כ-10 עד 15% ביבול ליחידת מים, כאשר הכנה M9 הוא היעיל יותר. אבל הבדלים ברמה כזאת אינם מובהקים. לכן אנו מסיקים שבשלב הזה אין אנו יכולים להוכיח שההבדל בין הכנות ביעילות השימוש במים (לגבי יבול ליחידת מים) שונה באופן מובהק.

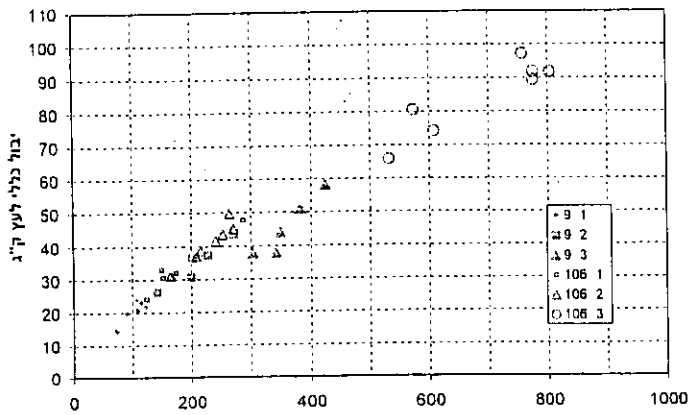
בשתי השנים וחלקות ובשתי הכנות ניתוח רגרסיה נותן יבול ממוצע של 10.4 טון לדונם עבור עומס פרי של 75000 פרות לדונם, בלי הבדל מובהק בין הכנות ושנים.



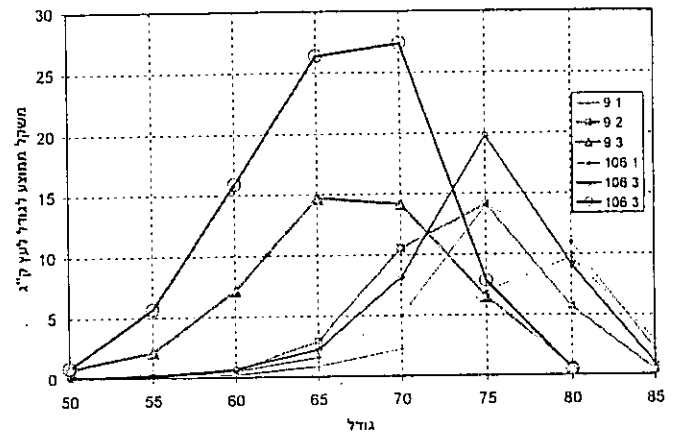
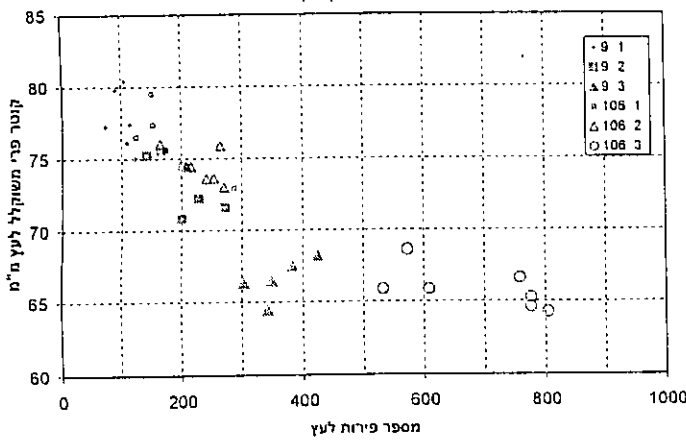
איור 9. יבול כללי ויחס בין מספר פרות ליבול יחסי של פרות מעל לגודלים 65, 70, ו-75 מ"מ בניסוי כנות בדלוה, קיץ 2003



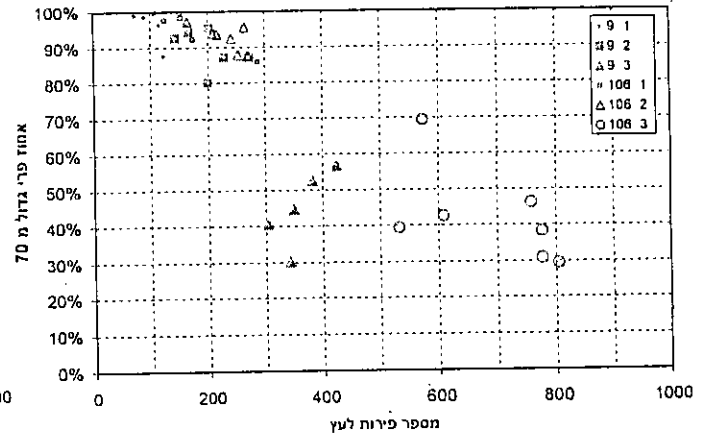
מודל כנות עין זיון 2004



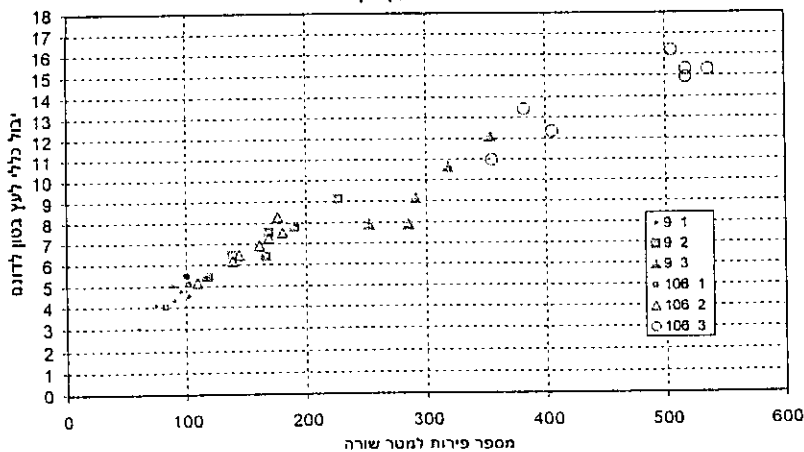
מודל כנות עין זיון 2004

מספר פירות לעץ  
מודל כנות עין זיון 2004

מודל כנות עין זיון 2004



מודל כנות עין זיון 2004

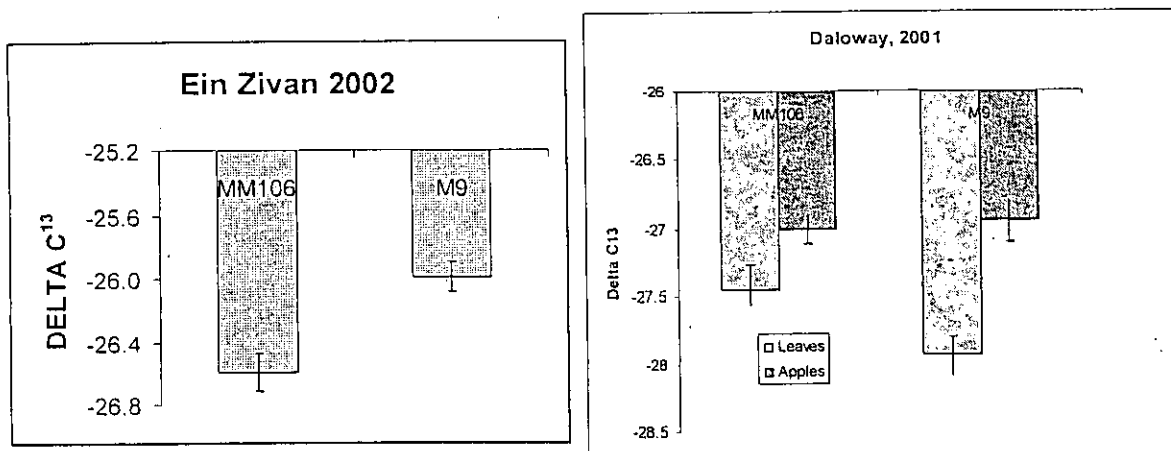


איור 10. יבול כללי, התפלגות  
גודל פרות, קוטר פרי משוקלל  
לעץ ואחוז פרי גדול מ-70 מ"מ  
בניסוי כנות בניסוי עין זיון,  
קיץ 2004



### מידות יחס פחמן כבד ( $\Delta C^{13}$ )

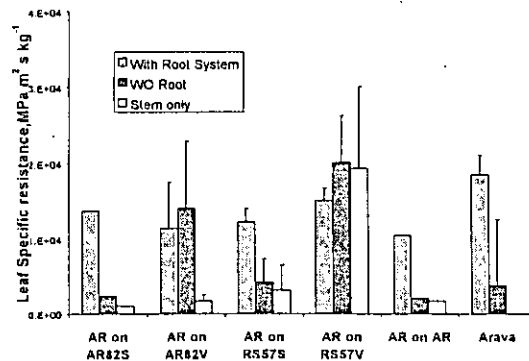
מדד אחר שמעיד על הבדלים במוליכות עלים לאדי מים הוא הכמות היחסי של פחמן כבד ( $C^{13}$ ) ברקמות מקבילות בעצים מטיפולים שונים. הריכוז הנייל משתנה לפי הריכוז של  $CO_2$  בתוך רקמת העלים בזמן הפוטוסינתזה. ריכוז  $C^{13}$  גבוהה כאשר ריכוז  $CO_2$  היה גבוהה בתוך העלה בזמן הפוטוסינתזה. ריכוז גבוהה מראה על מצב של פיוניות פתוחות. לדוגמא בניסויי הצללה אנו מוצאים הפרשים בריכוז זה שחוזרים על עצמם במינים שונים ובניסויים שונים, כמו בבננה (Israeli et al., 1996) ובהדרים (Cohen et al., 2002; Raveh et al., 2003). בניסויי הכנות נמדדו ריכוזים אלה פעמיים, פעם בעין זיוון ופעם בדלווה, והתוצאות מובאות באיור 11. החומר למדידות נלקח מהעצים בסוף העונה. נאספו עלים מאותו אזור של העץ ובאותו גיל. העצים והפרות יובשו וטוחנו. לאחר מכן הדוגמאות הועברו למכון וייצמן למדידה. הערכים שמתקבלים,  $\Delta C^{13}$  מבטעים את ההפרש בין ריכוזי האיזוטופים של פחמן. ערכים יותר גבוהים (פחות שליליים) מצביעים על יותר  $C^{13}$ . למרות שבשתי הניסויים נמצאו הבדלים מובהקים בפרמטר זה בין הכנות, הרי המגמה התהפכה מהבדיקה הראשונה לשנייה. מתוצאות אלה ברור שההבדלים בריכוז  $C^{13}$  לא נותנים תמונה חד משמעית במקרה לגבי ההבדל בין הכנות מכיוון שלא היה ברור למה המגמה התהפכה. מהסיבה הזאת לא המשכנו עם המדידות האלה.



איור 11. ריכוזי איזוטופ פחמן כבד  $C^{13}$  בעלים ופרות (ב-2001) בשתי הכנות. תאור החלקות והניסויים נמצא לעיל.

עוד בדיקה שתוכננה למחקר היתה מדידת מוליכות הידראולית של חלקים של מערכת הובלת המים בעזרת מכשיר שמזרים מים בלחץ גבוה לתוך רקמת הצמח לאחר שהרקמה נכרת מהצמח. המערכת, הנקראת High Pressure Flow Meter, נבנתה במשך השנה הראשונה של המחקר אצלנו, וכויל בהצלחה. מסיבות טכניות לא הצלחנו להפעיל את המכשיר עם המיכל הגדול (בנפח 4 ליטר) ועם מחברים גדולים בכדי לעבוד על עצים גדולים בשטח במטעי התפוח. לכן התעניינו באפשרויות למדוד מוליכות הידראולית של מינים אחרים שבהם יש עדויות לליקויים במעבר מים ובהרכבות של צמחים שבהם נוכל לראות אם לאזור איחוי בין כנה לרוכב יש עליה בהתנגדות וליקויים במעבר מים. מובאות (איור 12) תוצאות של מדידות של התנגדות הידראולית של צמחי

מלון המורכבים על כנות דלעת. הכנות האלה נחקרים בנווה יער במסגרת המאמצים למצוא דרכים לגדל בלי חיטוי מחיל ברומיד. החוצאות מראות שלאזור איחוי כנה-רוכב יש התנגדות גבוהה בהרכבה מסוג V יותר מאשר בהרכבה מסוג S. ההבדלים האחרים לא מובהקים.



איור 12. התנגדות הידראולית של מספר שילובי כנה-רוכב בצמחי מלון מזן ערבה מורכבים על כנות דלעת. מצויינים שני סוגי הרכבה: V ו-S.

## דין

בפרויקט זה פותחו שיטות למדוד מוליכות הידראולית של עצים וצמחים כאשר הם חיים ולאחר כריתתם. שיטות אלה אינן חדשות אבל השימוש בהן לא נרחב. השיטה הראשונה משתמשת במדידות זרימת מים בגזע ופוטנציאל מים בעלים עיימ לחשב את המוליכות. למרות שבארץ הייתה בעבר קבוצת מחקר פעילה בנושא זה (ראה לדוגמה Cohen et al., 1983; Moreschet et al., 1990) במחקרים קודמים לא הושווה המוליכות לשטח חתך הגזע או לשטח עלים, כך שלא ניתן היה להשוות את הערכים למדידות של קבוצות אחרות או לעמוד על המשמעות האבסולוטית שלהם כפי שהראינו בפיתוחים התיאורטיים המובאים לעיל. בנוסף, בעזרת הערכים המופיעים כאן ניתן לחשב את הדיות שינבע מפוטנציאל מים נתון, וכימות של המערכת ההידראולית של הצמח נהיה ברור. תכנון בפרויקט להתקדם הלאה עם הרעיון הזה ולבנות מודל המתאר את ההשפעה של התנגדויות השונות במערכת כנה-רוכב על מעבר גזים דרך העלים, כולל פוטנציאל. למרות שהדרך לחישובים ברורה, ההבדלים בין הכנות היו קטנות ולא ברורות, ולכן לא הלכנו בכיוון הזה.

בהעדר הבדלים ברורים במערכת ההידראולית החלטנו לקבוע בשיטה יותר ישירה אם יש יתרון לכנה המננסת. לכן מדדנו את ההתפלגויות של פרות לפי עומס פרי (איורים 9 ו-10). גם כאן לא נמצאו הבדלים בין הכנות, אבל השימוש בשיטה הזאת לא השאירה הרבה ספקות לגבי טענות אפשריות של יתרון לכנה אחת או השניה.

טבלה 2 ואיור 8 מראות שבעין זיוון צריכת המים של M9 נמוכה יותר מאשר MM106, גם על בסיס של שטח. בחוות דלווה לא היה הבדל מובהק בין הכנות בצריכת מים. בשתי החלקות תגובת היבול לעומס פרי הייתה זהה. לכן נראה שבעין זיוון יעילות השימוש במים מבחינת יבול יותר גבוהה. תמונה למה ההתנהגות היתה שונה בשתי החוות, ולכן אין להסיק מסקנות מהפרויקט לגבי יתרון של M9.

## מסקנות והשלכות

בשנים האחרונות פותחו התיאוריות והשיטות לתאר את המערכת ההידראולית של הצמח והמגבלות שלה. המחקר הנ"ל מציע אותנו קדימה בהגדרה ואפיון של המערכת

ההידראולית של מערכת צמחית מורכבת. בפרוייקט הזה נמצאו הבדלים בין שתי הכנות בעיקר באיזור האיחוי בין כנה לרוכב. אבל הבדלים בהתנגדות למעבר מים באזור האיחוי קטנים מאוד יחסית לסך ההתנגדויות למעבר מים במערכת כולו ולכן כנראה שהעצים האלה לא רגישים אליו. ייתכן שההשפעה של ההתנגדות על מרכיבים אחרים שעוברים בין כנה לרוכב יותר משמעותית. לכן, עבודה זאת לא מצביע על יתרון כללי של הכנה החלשה או החזקה.

לגבי השיטות שפותחו והמיומנויות שנרכשו, הם כבר הובילו לשיתופי פעולה עם קבוצות אחרות בארץ, הן בנושא הרכבות של גידולי שדה והן לגבי צמחים טרנס-גניים שבהם הוכנס גן המגביר מרכיבים של מערכת התובלה של הצמח.