

# השפעת רשתות צל על צריכת המים, איכות הפרי

## והמיקרואקלים במטעי תפוח

פברואר 2004

המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מינהל המחקר החקלאי	יוסף טנאי
מו"פ צפון, המכון לחקר הגולן	עמוס נאור
המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מינהל המחקר החקלאי	שבתאי כהן
תחנת נסיונות איזורית גילת, מינהל המחקר החקלאי	ערן רווה
המעבדה למחקר ופיתוח קירור ואיסוס פירות, קריית שמונה בע"מ.	רות בן אריה
מו"פ צפון	רפי שטרן
המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מינהל המחקר החקלאי	אברהם גרווה

### תקציר

המצב הקשה של משק המים הארצי מדגיש את הצורך בפיתוח דרכים להגדלת יעול השימוש במים. אחת השיטות האפשריות היא שימוש ברשתות צל. מטרת המחקר המוצע היא לבחון השפעת חיפוי מטע תפוח ברשתות צל על צריכת המים, פוטוסינתיזה, מיקרואקלים, פוריות לאורך זמן, יבול ואיכות פרי. בשנה הראשונה נפרשו במטע רשתות צל בארבעה אחוזי הצללה: 16%, 30%, 60% ובקורת לתקופה של כשלושה חודשים. בכל טיפול נמדדו צריכת המים בשיטת פולס החום, פוטוסינתיזה ומוליכות עלים ע"י פורומטר, יבול, איכות פרי, טמפרטורה ולחות. לא נמצא הבדל מובהק בצריכת המים אך נמדדה עליה קלה במוליכות העלים ובפוטוסינתיזה בשעות הצהריים ובקיבוע פד"ח יומי, תחת רשת של 16% צל. נמדדה ירידה משמעותית במכות השמש תחת הרשתות. תחת רשתות 16% ו-30% נמדדה עליה קלה ביבול הממוצע לעץ של פירות גדולים. ההשפעות לא היו מובהקות. התוצאות מראות על מגמה של הגדלת יעול השימוש במים בהצללה מתונה. הרשתות גרמו לעליית טמפרטורת אוויר המטע בלילה וירידתה ביום. ההשפעה של רשת גדולה על תכונות הרוח נחקרה ע"י מדידות במטע משמש-רימון בכפר הרי"ף (מרכז הארץ) המחופה רשת דו-שיפועית להגנה מפני ברד ולהצללה. נמדדו פרופיל הרוח, הטמפרטורה והלחות ונמצא כי הרשת החלישה את רמת הטורבולנציה של הרוח. תכונות קרינתיות של רשתות הצל השונות נמדדו במתקן מיוחד שנבנה לצורך זה בבית דגן.

## מבוא – רקע מדעי ומטרות המחקר לתקופת הדו"ח

מצב משק המים הארצי היגיע לשפל חסר תקדים שגרר קיצוץ משמעותי בהקצאות המים למטעים. היקף הקיצוץ עלול להביא להקטנת השטח הנטוע לנחלה שכן כמות המים שניתן לחסוך ע"י ייעול ההשקיה מוגבלת. כל חסכון במים ימנע חלק מעקירת המטעים והתרומה הכלכלית שלו לפיכך תהיה גבוהה.

הקטנת כמות הקרינה שתגיע לנוף עשויה להקטין הן את צריכת המים והן את נזקי הצריבה. הדרך הנפוצה להקטנת הקרינה ועומס החום הנובע ממנה היא השימוש ברשת צל שעשויה גם להגדיל את החלק של הקרינה המפוזרת החודרת דרכה כך שהקרינה המגיעה לעלים מוצללים לא תפחת. לרשת הצל השפעה על חדירת רוח לתוך הנוף ועל שטף החום והמסה מפני הנוף, פרמטרים שישפיעו אף הם על שטף הטרנספירציה תחת רשת צל. מצד שני, הורדה חריפה של עוצמת האור יכולה להקטין את קצב הפוטוסינתזה ולפגוע בשל כך בזמינות המוטמעים. כמו כן ירידה בעוצמת האור עלולה לפגוע בצבע הפרי וטעמו ובהתמיינות פקעי הפרי לעונה הבאה.

אם כן קיים סיכוי שכיסוי ברשת צל יגביר את יעילות השימוש במים (WUE) יקטין את נזקי מכות השמש וישפר את מופע הפרי. יחד עם זאת קימת סכנה שהצללת יתר תגרום לנזק ועל כן יש לבצע אופטימיזציה של תהליך הכיסוי על מנת להביא למקסימום את הורדת הטרנספירציה ללא גרימת נזק.

במחקר זה מוצע ללמוד את ההשפעה של רשתות צל בטווח רחב של אחוזי הצללה על צריכת המים, פוטוסינתזה, היבול, גודל הפרי, צבעו וטעמו. כן תחקר השפעת הרשתות על משטר הרוחות והמיקרואקלים ותבוצע בחינה של השפעת הרשתות על הפוריות לאורך זמן.

תכנית המחקר תתמקד בנושאים הבאים:

א. לימוד ההשפעה של חיפוי מטע תפוח ברשתות צל שונות על צריכת המים, הפוטוסינתזה, היבול ויעילות השימוש במים.

ב. לימוד השפעת רשת צל על המיקרואקלים ועל התכונות האווירודינמיות של שכבת הגבול.

ג. השפעת רשתות הצל על היבול ואיכות הפרי לאורך זמן.

## המטרות לשנה הראשונה היו:

- פריסת רשתות בארבעה אחוזי הצללה מעל מטע תפוח. לימוד השפעת אחוז הצללה על מאפיינים של המטע כגון: צריכת המים, קצב פוטוסינתזה, מוליכות עלים, יבול ומיקרואקלים. הערכת יעילות השימוש במים כתלות באחוז הצללה.
- מדידות פרופיל רוח, טמפרטורה ולחות מעל רשת גדולה. לימוד השפעת הרשת הגדולה על התכונות האווירודינמיות של שכבת הגבול. (ניסויים אלו תוכננו במקור להתבצע בשנה ב').
- מדידות של מאזן קרינתית של רשתות בעלות אחוזי הצללה שונים.

## פירוט הניסויים שבוצעו בשנה הראשונה והתוצאות

### א. השפעת רשתות צל על יבול, גודל ואיכות הפרי

חומרים ושיטות:

הניסוי מבוצע על תפוח זהוב בוגר על כנת חשבי. המטע נטוע בכיוון צפון דרום ומירווח הנטיעה 1.85 X 4.5 מ'. בניסוי ארבעה טיפולים הבוחנים רשתות באחוזי צל שונים (16%, 30%, ו-60% צל) בהשוואה לבקורת. כל חלקת ניסוי בנויה מארבע שורות צמודות בנות שישה עצים כל אחת

והמידדות נעשות על ארבעת העצים המרכזיים. בניסוי 6 חזרות למעט הביקורת עם 5 חזרות. הכיסוי נעשה בתחילת יולי.

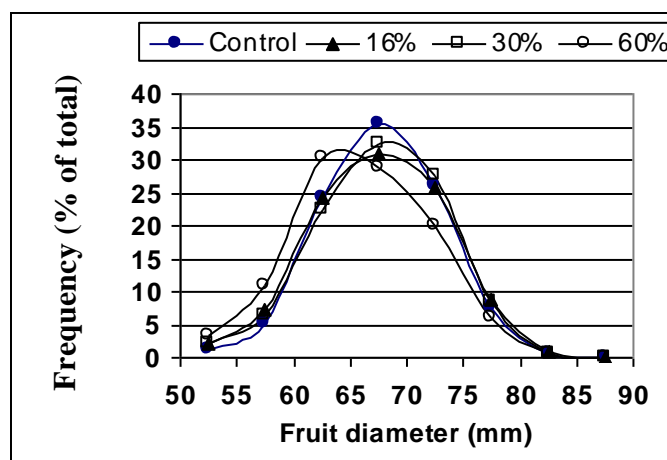
### תוצאות

היבול ומספר הפירות לעץ היו גבוהים מאד (טבלה 1) ללא הבדל בטיפולים. התפלגות גודל הפרי מצביעה על הקטנת הפרי ברשת עם 60% צל (טבלה 1; איור 1). אחוז הפרי שקוטרו מעל 70 מ"מ גבוה מעט (לא מובהק) בטיפולים של 16% ו- 30% צל בהשוואה לביקורת ולרשת 60%.

טבלה 1: היבול ומספר הפירות לעץ והתפלגות גודל הפרי בארבעת טיפולי הניסוי.

	Yield (t/dunam)	Fruit/tree	Fruit diameter (mm)							
			52.5	57.5	62.5	67.5	72.5	77.5	82.5	87.5
Control	10.3	683	1.1 b	5.3 b	24.1 b	35.5 a	26.0 a	7.5 a	0.5 a	0.06 a
16%	10.5	704	2.1 b	7.4 b	24.3 b	30.8 ab	25.9 a	8.7 a	0.9 a	0.06 a
30%	10.3	694	2.0 b	6.4 b	22.5 b	32.4 ab	27.7 a	8.4 a	0.6 a	0.03 a
60%	10.7	783	3.4 a	10.8 a	30.4 a	28.8 b	20.1 b	6.0 a	0.5 a	0.03 a

איור 1: התפלגות גודל הפרי בארבעת טיפולי הניסוי.



נראתה מגמה של קבלת פחות פירות ירוקים בביקורת (טבלה 2). אחוז הפרי הצהוב ירד עם עליית אחוז הצל אך הכמות המוחלטת היתה קטנה. כמות הפירות עם לחי אדומה היתה קטנה מאד אך יותר פירות כאלה היו בטיפול 60% צל. אחוז מכות השמש היה גבוה בביקורת בהשוואה לכל הרשתות והיתה הקטנה מסוימת ברשת 60% צל בהשוואה לשאר הרשתות.

טבלה 2: אחוז הפרי הירוק והצהוב, אחוז הפרי עם לחי אדומה ואחוז מכות השמש בארבעת הטיפולים.

	green	yellow	red chick	Sunburn
Control	75.3 a	0.4 a	0.02 b	10.1 a
16%	84.8 a	0.2 ab	0.04 ab	2.5 b
30%	83.1 a	0.2 b	0.02 b	2.1 b
60%	88.8 a	0 b	0.07 a	0.7 c

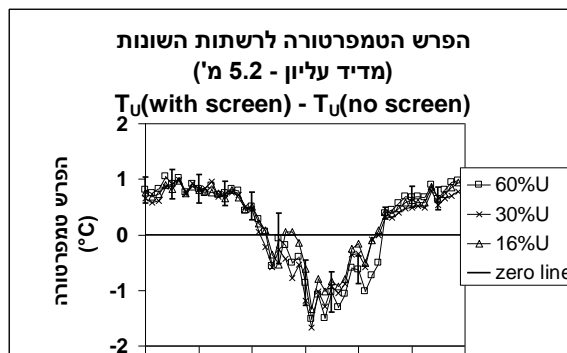
### ב. השפעת רשתות הצל על המיקרואקלים

שיטות השפעת רשתות הצל על המיקרואקלים נחקרה במטע מלכיה ע"י מדידת טמפרטורה ולחות של אוויר הנוף בכל טיפול הצללה. טמפרטורת יבש ולח נמדדה ע"י גששי תרמוקפל מסוג T שהותקנו בתוך קופסאות מאווררות המספקות הגנה מפני קרינה ישירה. דגימות טמפרטורה נלקחו במשך 5 הדקות האחרונות בכל חצי שעה, בקצב של 1 מדידה לשנייה ע"י אוגר נתונים מסוג CAMPBELL 23X. הטמפרטורה הממוצעת של 5 הדקות חושבה ונרשמה ע"י אוגר הנתונים. תחת טיפולי הצללה שנבחרו הוצבו 4 מדידים ושני מדידים נוספים הותקנו בביקורת – סה"כ 14 מדידים. בכל עץ המדידים הוצבו בשני גבהים: גבוה - 2.5 מ' ונמוך - 1.5 מ'. השוואה נערכה בין

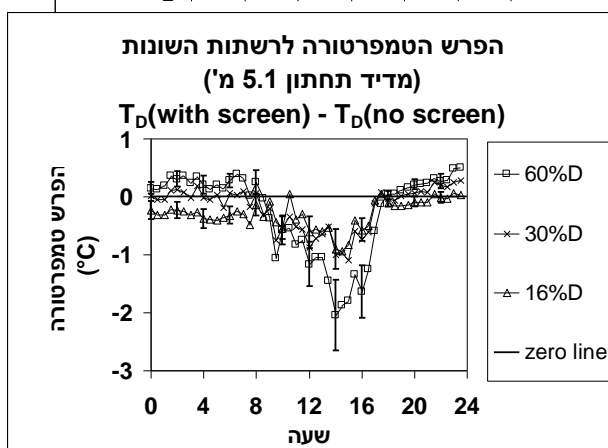
המהלך היומי של הטמפרטורה והלחות שנמדדו במשך 8 ימים עם רשת ושמונה ימים ללא רשת, מיד לאחר הסרת הרשתות, כאשר כל מדידה יוחסה למדידת הביקורת בגובה המתאים (מדיד נמוך או גבוה). השפעת הרשתות מוצגת ע"י ההפרש בין המהלך היומי הממוצע של 8 הימים עם הרשת (DOY 273-280) ו- 8 הימים בלי הרשת (DOY 285-292). הסרת הרשתות בוצעה בין הימים 281 ל-284.

**תוצאות** השפעת הרשתות על הפרש הטמפרטורה בחלק העליון והתחתון של העץ נראית באיורים 2 ו-3 בהתאמה. באיור 2 (אזור עליון) ניתן לראות השפעה ניכרת של הרשת על הטמפרטורה. בשעות הלילה, החל מ- 17:30 ועד 09:00 למחרת בבוקר טמפרטורת הנוף תחת הרשת היתה גבוהה מזו של אותו הנוף לאחר הסרת הרשת בשיעור מקסימלי של כ-  $1^{\circ}\text{C}$ , וזאת עקב כך שהרשת מנעה איבודי חום בקרינה לרקיע בשעות הלילה. בשעות היום, לעומת זאת, גרמה הרשת לירידה בטמפרטורה בשיעור מקסימלי של כ-  $1.7^{\circ}\text{C}$  וזאת עקב ההצללה והפחתת עומס החום על הנוף. לא ניתן להבחין בהשפעה מובהקת של אחוזי הצללה על הפרש הטמפרטורה.

באיור 3 (אזור תחתון) ניתן לראות כי השפעת הרשתות על הפרש הטמפרטורה במשך הלילה קטנה יחסית. זאת מאחר שהקירור הקרינתי של הנוף התחתון קטן יותר וכך גם השפעת הרשת על תהליך זה. מצד שני, במשך היום, הרשת הורידה את טמפרטורת אוויר הנוף בכ-  $2.0^{\circ}\text{C}$ . באזור הנוף התחתון (איור 3) ניתן להבחין בהבדל מובהק בין הרשתות, כאשר לרשת 60% השפעה גדולה יותר מרשת של 16%, הן בהעלאת הטמפרטורה בלילה והן בהורדת הטמפרטורה ביום.



**איור 2:** השפעת רשתות באחוזי הצללה שונים על טמפרטורת האוויר באזור העליון של הנוף. הקווים האנכיים מציינים רווח בר סמך של 95%.



**איור 3:** השפעת רשתות באחוזי הצללה שונים על טמפרטורת האוויר באזור העליון של הנוף. הקווים האנכיים מציינים רווח בר סמך של 95%.

לחות האוויר בוטאה כ- VPD, כלומר, גירעון לחץ האדים. הגדלת VPD מציינת אוויר יבש יותר, ומכאן נטיה להגדלת הטרנספירציה. התוצאות מראות (מפאת חוסר מקום האיורים אינם מוצגים) כי בשעות הלילה היתה עליה קלה (עד כ-  $50\text{Pa}$ ) בערך של VPD עקב פריסת הרשת,

ואילו בשעות היום הקטינו הרשתות את ה- VPD בשיעור של עד 300Pa. הקטנת VPD בשעות יום מרמזת על אפשרות של הקטנת הטרנספירציה.

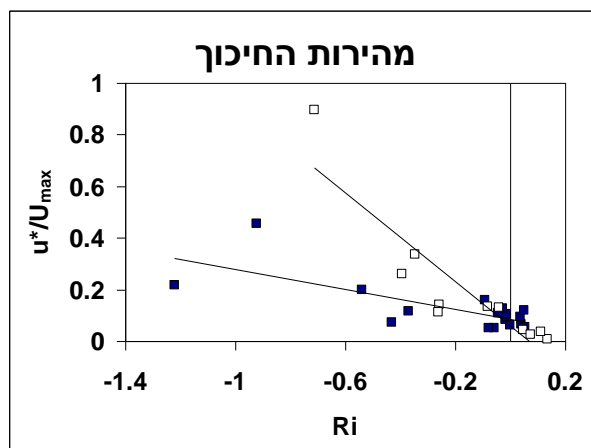
### ג. השפעת רשת גדולה על התכונות האווירודינמיות של הרוח

שיטות הניסוי בוצע במטע משמש – רימון באזור כפר הרי"ף. המטע המחופה היה במידות של 200x300 מטר (כ – 60 דונם) ונפרשה מעליו רשת קריסטל 17%, בתצורת גג דו-שיפועי להגנה מפני ברד ולהצללה. גובה קודקוד הרשת היה 4.1 מ' וגובה בסיס הרשת היה 2.7 מ' מעל פני הקרקע. הצלע הארוכה של האזור המרושת היתה באזימוט של 25°. מטרת ניסוי זה היתה חקירת ההשפעה של רשת גדולה על תכונות הרוח, כמו, מהירות החיכוך, אורך החספוס והעתקת מישור האפס. בעזרת פרמטרים אלו ניתן לחשב את ההתנגדות האווירודינמית המשפיעה על שטף האדים מן המטע.

הוצב תורן שכלל 5 מדי רוח כפות בגבהים של 4.95, 5.1, 5.35, 5.8 ו- 6.5 מ' ומד מהירות וכוון רוח בגובה של 7.2 מ' מעל פני הקרקע. ליד כל מד רוח מסוג כפות הוצב תא מאוורר שכלל מדי טמפרטורה יבש ולח מסוג תרמוקפל (T). התורן הוצב בפניה הדרום מזרחית של המטע וזאת כדי לאפשר אורך נשיבה גדול לרוח צפונית מעל לרשת, ולרוח דרומית מכיוון המטע הבלתי מחופה. כך התאפשר ללמוד על השפעת הרשת הגדולה באמצעות תורן יחיד.

עיבוד הנתונים כלל התאמה של פילוג מהירות הרוח המדוד לפילוג הלוגריתמי-לינארי, תוך התחשבות ביציבות של שכבת הגבול מעל לרשת. נערך ניתוח נפרד לשכבת גבול יציבה ולא יציבה.

תוצאות באיור 4 נראית מהירות החיכוך המחושבת כתלות במספר ריצ'רדסון,  $Ri$  אשר מייצג את היציבות האטמוספירית. ריצ'רדסון חיובי (שלילי) מייצג אטמוספירה יציבה (בלתי יציבה). ניתן לראות כי בערכים של  $Ri \approx 0$  (אטמוספירה נייטרלית), מהירות החיכוך קטנה יחסית ואין הבדל בולט בין הרוח מעל לרשת לבין הרוח מעל למטע החשוף. לעומת זאת, ככל שמספר ריצ'רדסון הופך יותר ויותר שלילי, כלומר האטמוספירה פחות יציבה, ערכי מהירות החיכוך גדלים מה שמראה על עליה ברמת הטורבולנציה. יתר על כן, ניתן להבחין בתחום של  $Ri < 0$  כי מהירות החיכוך מעל לרשת קטנה מזו שמעל מטע חשוף. ממצא זה מראה כי הרשת גורמת להקטנה ברמת הטורבולנציה בשכבת הגבול מעל למטע מה שיכול להוביל גם להקטנה בשטף אדי המים מהמטע.



איור 4  
מהירות החיכוך המנורמלת כתלות במספר ריצ'רדסון.  
סימון מלא – רוח מעל רשת;  
סימון ריק – רוח מעל מטע חשוף.

#### ד. מדידות של תכונות קרינתיות של רשתות שונות

המדידות התבצעו על גג בניין מעבדת המים שממול למכון למדעי הקרקע המים והסביבה בבית דגן. נבנה מתקן מיוחד עשוי שלד מתכת במידה 4X4 מ' עליו נפרשו הרשתות. מכשירי מדידה הוצבו מעל ומתחת לרשת למדידת קרינה. המדידות התבצעו ברציפות והחלפת רשתות התבצעה לפי התאריכים בטבלה:

תאריך התחלה	אחוז/מש	יצרן/סוג
10.8.03	30%	אלומינט
17.8.03	60%	אלומינט
25.8.03	060%	אלומינט
31.8.03	60%	פנינה
8.9.03	30%	אלומינט
17.9.03	30%	פנינה
22.9.03	15%	שקוף
8.10.03	9 מש	מטאור ברד
21.10.03	25 מש	מטאור

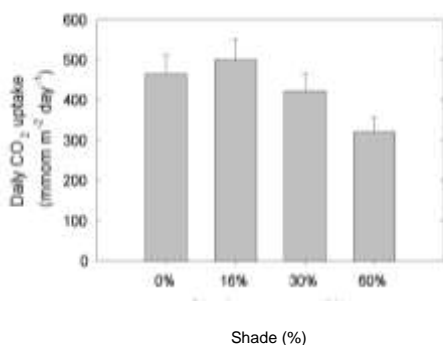
עיבוד הנתונים לא נערך עדיין.

#### ה. בחינת השפעת טיפולי הצללה על הפוטוסינתזה, מוליכות העלה וקיבוע פד"ח יומי בתפוח

**כללי:** עבודה זו נעשתה כחלק מתוכנית מחקר הבאה לבחון את יכולת שיפור יעילות ניצולת המים במטע תפוחים כתוצאה מחיפוי המטע ברשתות צל. עבודה זו התבססה על התוצאות שנתקבלו עבור עצי הדר, בהם נמצא כי חיפוי ברשתות אפשר לשפר את יעילות ניצולת המים של העצים. הבדיקה נערכה במטע תפוחים של קיבוץ מלכיה. טיפול ההשקיה והדישון במטע היה על פי המלצות האזור.

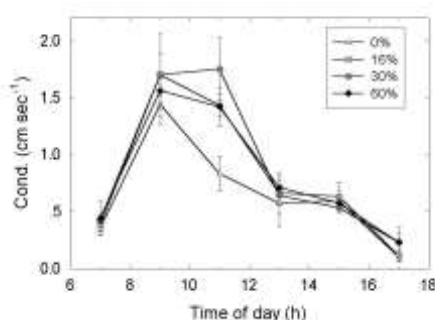
**מדידות:** בדיקות הפוטוסינתזה נערכו בעזרת מכשיר LICOR 6200. כל המדידות נעשו על עלי שמש בוגרים (עלים שפנו לכיוון השמש). כל הערכים המובאים הינם ממוצע  $\pm$  סטיית תקן של 8-12 מדידות לטיפול.

#### תוצאות:

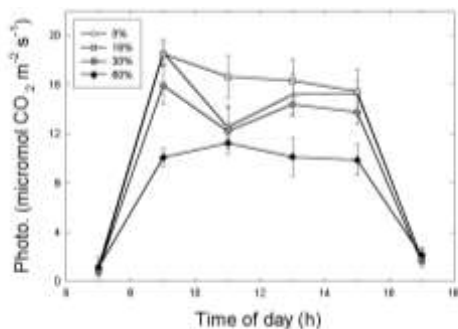


איור 5: השפעת ההצללה על סך קיבוע הפד"ח היומי

נמצא כי חשיפת העצים להצללה מתונה (16% צל) לא פגעה בקיבוע הפד"ח היומי ויתכן שאף יכולה להוביל להגברתו. יש לשער כי ככול שתנאי הגידול יהיו קיצוניים יותר (קרינה וטמפרטורה גבוהים) תרומתם היחסית של טיפולי ההצללה תעלה.



איור 6: השפעת ההצללה על מוליכות העלה בשעות (09:00 – 13:00) נצפתה עליה קלה במוליכות של העלים המוצללים בהשוואה לביקורת (השינוי מובהק בחלק מהמדידות).



**איור 7 : השפעת הצללה על עוצמת הפוטוסינתזה**  
 קצבי הפוטוסינתזה המרביים נמדדו בין השעות 9:00 ל-15:00. לאחר השעה 9:00 חלה ירידה בקצבי הפוטוסינתזה עבור רוב הטיפולים. ירידה זו שיקפה תנאי טמפרטורה ואו קרינה שהיו מחוץ לתחום האופטימאלי. עבור טיפולי ה-0% וה-16% צל, בהם העצים היו בתנאי רווית אור בין השעות 11:00 ל-15:00, ניתן ליחס ירידה זו לתנאי הטמפרטורה בלבד.

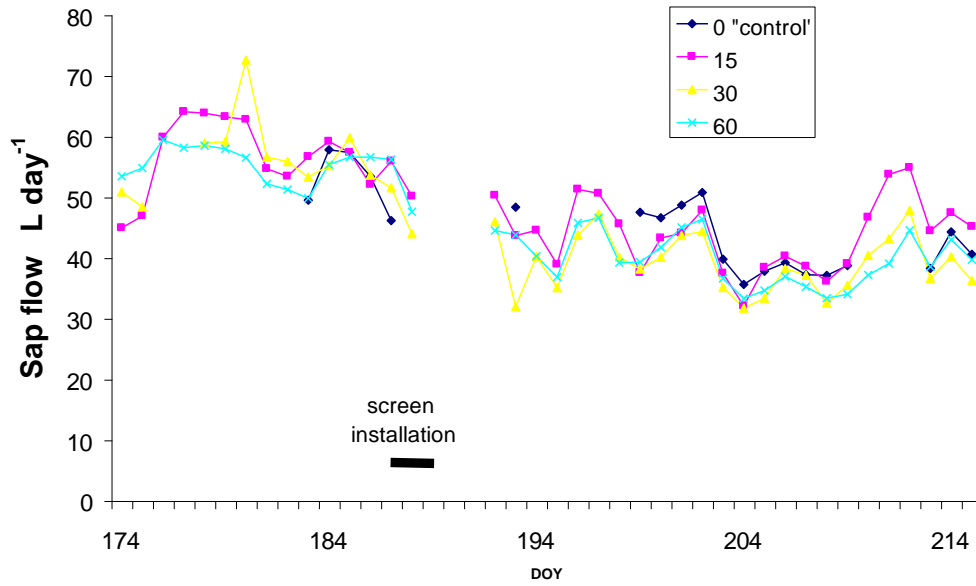
#### מסקנות בנושא זה :

השפעת הצללה על מוליכות העלה והפוטוסינתזה בעצי תפוח תלויה בתנאי הסביבה (קרינה וטמפרטורה). בימי הקיץ החמים המאופיינים בקרינה חזקה, הצללה מתונה יכולה להגביר את סך קיבוע הפד"ח בעלי השמש של העץ.

#### 1. צריכת מים של מטע תפוז מתחת לכיסוי רשת שונים

נמדדה צריכת מים של עצים בניסוי הצללה ברשתות שונות במלכיה בקיץ 2003. נמדדה זרימת מים בגזע בעזרת מערכות פולס חום מאמצע יוני עד תחילת אוגוסט. הרשתות הותקנו מעל לעצים בסביבות ה-7 ליוני, כלומר כשלושה שבועות אחרי התקנת המערכת. המערכת מדדה 15 עצים, כאשר במקור תוכנן למדוד 4 עצים בכל אחד מהטיפולים 16%, 30% ו-60% רשת וביקורת בלי רשת. בגלל שינוי בפריסת הרשתות נמדדו רק 2 עצים בביקורת ו-5 עצים בטיפול 16%. בגלל ההשתנות הרבה בצריכת מים מדודה בין עץ לעץ, נעשה נרמול של כל התוצאות היומיות לפי ממוצע צריכת מים של כל העצים לפני פרישת הרשתות (ימים 184-186, 3 עד 6 ליוני). התוצאות (איור 8) מראות, ראשית כל, את הירידה ההדרגתית בצריכת המים הכללית של העצים בעונה זאת, דבר שצפינו בעבר. במשך התקופה הראשונה לאחר כיסוי המטע, הצריכה הגבוהה היתה בביקורת, וירדה עם העליה באחוז הכיסוי כמצופה. לאחר 3 שבועות יש סימנים שצריכת מים בטיפולים המוצללים (16% ו-30%) התגברה ועלתה מעל לזה של הביקורת. אבל ייתכן שההבדלים האלה אינם מובהקים (עיבודים סטטיסטיים ייעשו בהמשך). בהמשך אנו ננתח את צריכת המים הרגעית באמצע היום, דבר שבעבר מצאנו שהוא יותר רגיש לרשתות. בנוסף, ננתח באופן אינטנסיבי את הנתונים מהימים הכי חמים ויבשים בתקופה שנמדדה על מנת לראות אם צריכת המים הגיבה אחרת בימים אלה מתחת לרשתות.

Malkiya 03, Normalized sap flow, normal to mean for DOY 184-186



איור 8 : צריכת המים של עצי תפוח תחת רשתות הצללה שונות, מנורמל לצריכה ממוצעת של כל העצים בימים 184-186, לפני פרישת הרשתות