

השפעת רשתות צל על צריכת המים, איכות הפרי

והמיקרוקלים במטעי תפוח - 2005

The effect of shade nets on water consumption, fruit quality and

microclimate in apple orchards

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 רוה
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 גרוה

מאי 2006

אייר תשס"ו

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 הייתה לבחון השפעת חיפוי מטע תפוח ברשתות צל על צריכת המים, פוטוסינתזה, מיקרואקלים, פוריות לאורך זמן, יבול ואיכות פרי. בכל אחת משלוש שנות המחקר נפרשו מעל מטע תפוח רשתות צל באחוזי הצללה: 16%, 30%, 60% ובקורת ללא רשת לתקופה של מספר חודשים. בכל טיפול נמדדו צריכת המים בשיטת פולס החום, פוטנציאל מים בגזע, פוטוסינתזה ומוליכות עלים ע"י פורומטר, יבול, איכות פרי, טמפרטורה, לחות ומהירות רוח. לא נמצא הבדל מובהק בצריכת המים בין הטיפולים. פוטנציאל המים בביקורת היה נמוך מזה שנמדד תחת רשתות הצל. נמדדה ירידה משמעותית במכות השמש תחת הרשתות. נמצאה השפעה שלילית של הרשתות 30%-ו-60% צל על היבול. נמצאה ירידה של הפוטוסינתזה עם הגדלת ההצללה מעל ל-30%. מדידות קרינה במטע הראו כי הרשתות גרמו להצללה מוגברת בשנה ב', כנראה עקב הצטברות אבק. בשנה ג' נפרשו רשתות חדשות שמנעו תופעה זו. מדידות מיקרואקלים הראו כי בלילה הרשתות גרמו לעליית הטמפרטורה וגרעון לחץ האדים של אוויר המטע וביום הן גרמו לירידתם ביחס לביקורת. נמצא כי עוצמת הרוח מתחת לרשת נמוכה מזו שבאזור הביקורת. נמדדו תכונות קרינתיות של רשתות הצל השונות ע"י מתקן מיוחד שנבנה לצורך זה בבית דגן.

מבוא – רקע מדעי ומטרות המחקר

הקטנת כמות הקרינה שתגיע לנוף עשויה להקטין הן את צריכת המים והן את נזקי צריבה של פרות (מכות שמש). 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.

לכן 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 נלמדה ההשפעה של רשתות צל בטווח רחב של אחוזי הצללה על צריכת המים, פוטוסינתזה, יבול, גודל הפרי ואיכותו. כן נחקרה השפעת הרשתות על משטר הרוחות והמיקרואקלים.

לפיכך, תכנית המחקר התמקדה בנושאים הבאים:

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

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

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

המטרות הספציפיות של המחקר היו:

- פריסת רשתות בארבעה אחוזי הצללה מעל מטע תפוח. לימוד השפעת אחוז ההצללה על מאפיינים של המטע כגון: צריכת המים, פוטנציאל המים בגזע, קצב פוטוסינתזה ויבול.
- מדידות פרופיל רוח, טמפרטורה ולחות מעל מטע גדול המחופה ברשת. לימוד השפעת הרשת הגדולה על התכונות האווירודינמיות של שכבת הגבול.
- אפיון השפעת רמת ההצללה על הטמפרטורה, הלחות ומהירות האוויר.
- אפיון תכונות קרינתיות של רשתות בעלות אחוזי הצללה שונים.

פירוט הניסויים שבוצעו והתוצאות

כללי: בפרויקט זה בוצעו מספר ניסויים במקביל בכמה אתרים. הניסוי המרכזי של חיפוי ברשתות בעלות אחוזי הצללה שונים בוצע במטע תפוח במלכיה. בוצעו מדידות אווירודינמיות במטע משמש-רימון שהיה מכוסה ברשת גדולה באזור כפר הרי"ף. כן בוצעו מדידות תכונות קרינתיות של רשתות בבית דגן.

הניסוי במלכיה בוצע על תפוח זהוב בוגר על כנת חשבי. המטע נטוע בכיוון צפון דרום ומירווח הנטיעה 1.85×4.5 מ'. בניסוי ארבעה טיפולים הבוחנים רשתות באחוזי צל שונים (16%, 30%, ו-60% צל) בהשוואה לבקורת ללא רשת. כל חלקת ניסוי בנויה מארבע שורות צמודות בנות שישה עצים כל אחת (ראה איור 1). מועדי פריסת הרשתות, הקטיף והסרת הרשתות בכל אחת משלוש השנים הם:

שנה	מועד פריסת הרשתות	מועד הקטיף	מועד הסרת הרשתות	משך פריסה (ימים)
ראשונה (2003)	7 יולי	18 ספטמבר	10 אוקטובר	96
שניה (2004)	2 מאי	23 אוגוסט	15 אוקטובר	167
שלישית (2005)	25 אפריל	30 אוגוסט	6 נובמבר	196

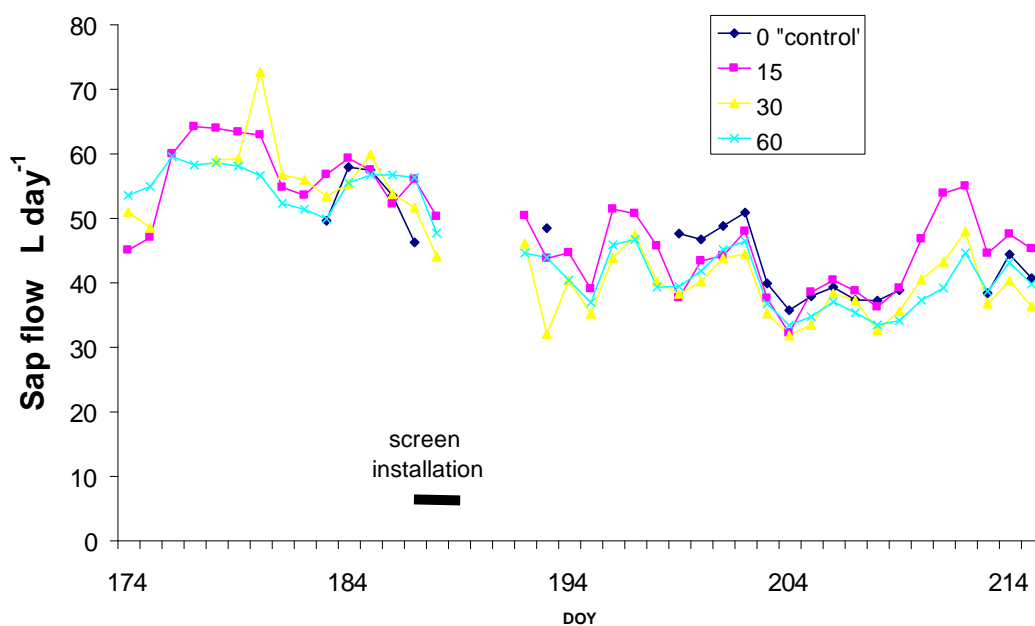
42 מ' ← →

		צפון			
			בקורת		
			30%		
			60%		
			בקורת		
			60%		
			60%		
			30%		
	מערב	בקורת	16%	מזרח	
		30%	בקורת		
		16%	16%		
		30%	30%		
		60%	בקורת		
		16%	60%		
			דרום		

איור 1: תאור סכימטי של פרישת רשתות הצל במטע הניסוי במלכיה. כל רשת הייתה במידות של 11 על 14 מ² וכיסתה 14 עצים. מדידות טמפרטורה נערכו באזור המערבי, בארבע החלקות המודגשות בקו מקווקו, ומדידות מהירות האוויר באזור המזרחי, בשתי החלקות המסומנות ביהלום מושחר. בין שני פסי הרשת נמצא פס מטע חשוף ברוחב 14 מ'. השרטוט אינו בקני"מ.

125 מ' ↑ ↓

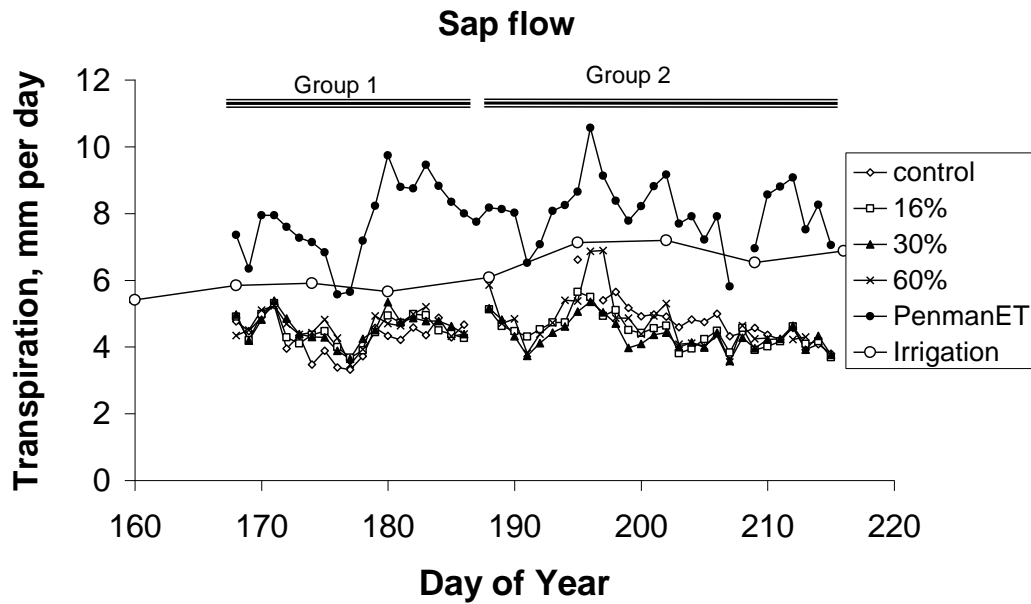
Malkiya 03, Normalized sap flow, normal to mean for DOY 184-186



איור 2: צריכת המים של עצי תפוח תחת רשתות הצללה שונות, מנורמל לצריכה ממוצעת של כל העצים בימים 184-186, לפני פרישת הרשתות (שנה א')

א. צריכת מים של מטע תפוח מתחת לכיסויי רשת שונים

צריכת המים של המטע נמדדה בשנתיים הראשונות של המחקר. בשנה הראשונה (בקיץ 2003) נמדדה זרימת מים בגזע בעזרת מערכות פולס חום מאמצע יוני (לפני פריסת הרשתות) עד תחילת אוגוסט. הרשתות הותקנו מעל לעצים ב-7 ליולי, 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 השונות 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, עד 3 עד 6 ליולי). התוצאות (איור 2) 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 ההבדלים האלה אינם מובהקים. בשנה השנייה (2004) נמדדה צריכת מים בגזע בעזרת מערכות פולס חום שהותקנו ב-32 עצים, 16 עצים שונים בכל תקופה, בשתי תקופות: האחת מיום 168 (16.6) עד 186 (4.7) והשנייה מיום 188 (6.7) עד 216 (3.8). בכל תקופה נמדדו 4 עצים בכל אחד מהטיפולים 16%, 30%, 60% וביקורת ללא רשת. מחוץ למטע הוצב תורן מטאורולוגי שמדד קרינה, טמפרטורה, לחות ומהירות וכוון רוח במשך כל תקופת הניסויים באתר.



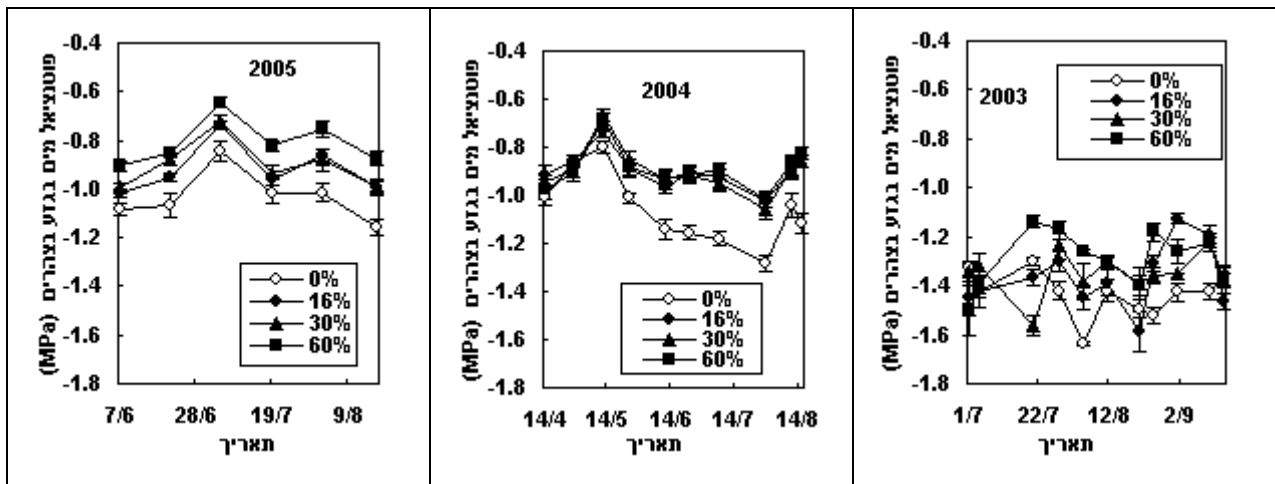
איור 3: זרימת מים בגזע כפי שנמדדה ב- 32 עצים (4 עצים בכל טיפול; שתי קבוצות של 16 עצים) ע"י שיטת פולס החום בשנה השנייה (2004). כן מוצגות מנת המים היומית במטע ומנת המים המחושבת לפי פנמן.

איור 3 מציג את הטרנספירציה היומית למשך שתי תקופות המדידה בשנה השנייה וכן את הטרנספירציה הפוטנציאלית המחושבת לפי משוואת פנמן-מונטית, שחושבה על סמך המדידות המטאורולוגיות. כמו כן מוצגת בגרף מנת המים היומית שניתנה בפועל למטע. ראשית ניתן לראות כי לא היה הבדל מובהק בין הטרנספירציה שנמדדה בטיפולים השונים וביקורת. למרות שהיתה עליה מתונה במנת המים היומית בין יוני (כ- 6 מ"מ ביום 174) ליוולי (כ- 7 מ"מ ביום 202), עלייה זו לא באה לידי ביטוי בזרימת המים בגזע ובצריכת המים המחושבת לפי פנמן - שנשארו פחות או יותר קבועות במשך כל תקופת המדידה.

לסיכום מדידות צריכת המים, לא נמצא הבדל מובהק בזרימת המים בגזע בין טיפולי ההצללה השונים וכן בין טיפולי ההצללה לביקורת. יתכן כי התקנת מספר רב יותר של מדידים בעצים רבים יותר היתה מאפשרת להקטין את שגיאת התקן ולקבל הבדלים מובהקים בין הטיפולים.

ב. פוטנציאל המים בגזע

בשנה הראשונה (מדידות התחילו ביולי 2003) פוטנציאל המים בגזע בביקורת היה נמוך (כלומר יותר שלילי) מזה שברשת 60% (איור 4). ב-2004 פוטנציאל המים בביקורת היה נמוך מכל הרשתות ובין הרשתות לא נמצא הבדל. בשנת 2005 פוטנציאל המים בביקורת היה נמוך מזה שברשתות 16%-ו-30% והערך הגבוה ביותר התקבל ברשת 60% צל. פוטנציאל המים בשנת 2003 היה נמוך מזה שבשנים 2004-ו-2005 כיוון שמנת המים ביולי בשנת 2003 הייתה נמוכה משמעותית.



איור 4 : פוטנציאל המים בגזע בצהרים בטיפולי הצל השונים בשנים 2003-2005.

ג. השפעת רשת גדולה על התכונות האווירודינמיות של הרוח

הניסוי בוצע בשנת המחקר הראשונה (2003), במטע משמש – רימון בכפר 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. המדידות בוצעו במטע זה ולא במטע התפוח במלכיה עקב מימדיו הגדולים של מטע זה שאיפשרו אורך נשיבה גדול של הרוח והגעה לשווי משקל עם הנוף והחיפוי.

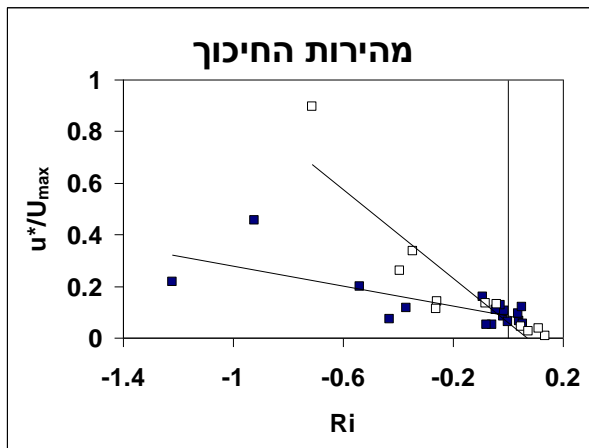
הוצב תורן שכלל 5 מדי רוח כפות בגבהים של 4.95, 5.1, 5.35, 5.8 ו – 6.5 מ' ומד מהירות וכוון רוח בגובה של 7.2 מ' מעל פני הקרקע. ליד כל מד רוח מסוג כפות הוצב תא מאוורר שכלל מדי טמפרטורה יבש ולח מסוג תרמוקפל (T). התורן הוצב בפניה הדרום מזרחית של המטע וזאת כדי לאפשר אורך נשיבה גדול לרוח צפונית מעל לרשת, ולרוח 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.

באיור 5 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 שנשבה מעל לרשת לבין הרוח שנשבה מעל למטע החשוף. לעומת זאת, ככל שמספר ריצ'רדסון הופך יותר ויותר שלילי, כלומר האטמוספירה פחות יציבה, ערכי מהירות החיכוך גדלים, כצפוי, מה שמראה על עליה ברמת הטורבולנציה. יתר על כן, ניתן להבחין בתחום של $Ri < 0$ כי מהירות החיכוך מעל לרשת (ריבועים מלאים) קטנה מזו שמעל למטע חשוף (ריבועים ריקים). ממצא זה מראה כי הרשת גורמת להקטנה ברמת הטורבולנציה בשכבת הגבול מעל למטע מה שיכול להוביל גם להקטנה בשטף אדי המים מהמטע.

איור 5

מהירות החיכוך המנורמלת כתלות במספר ריצרדסון מעל מטע מחופה ברשת דו-שיפועית. סימון מלא – רוח מעל רשת; סימון ריק – רוח מעל מטע חשוף.



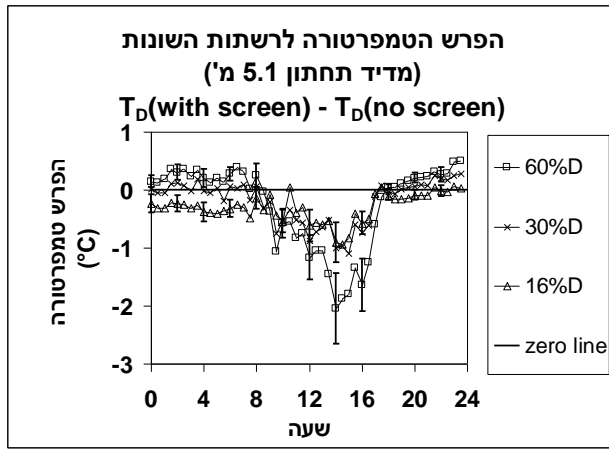
ד. השפעת רשתות הצל על הטמפרטורה והלחות

שיטת השפעת רשתות הצל על המיקרוקלים נחקרה במטע מלכיה ע"י מדידת טמפרטורה ולחות של אוויר הנוף בכל טיפול הצללה וביקורת. המדידות נערכו במשך השנתיים הראשונות של המחקר, כאשר בשנה הראשונה נערכה השוואה בין המהלך היומי של הטמפרטורה והלחות שנמדדו באותם עצים 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). בשנה השנייה נערכה השוואה בין הטיפולים השונים ובין הביקורת (ללא רשת). 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 כל טיפול (הצללה וביקורת) שנבחר הוצבו 4 מדידים - סה"כ 16 מדידים. בכל עץ המדידים הוצבו בשני גבהים: גבוה - 2.5 מ' ונמוך - 1.5 מ'. בשנה הראשונה נערכה השוואה בין הערכים שנמדדו באותם עצים עם רשת ובלי רשת. בשנה השנייה נערכה השוואה בין המהלך היומי של הטמפרטורה והלחות שנמדדו במשך 12 ימים, כאשר כל מדידה יוחסה למדידת הביקורת בגובה המתאים (מדיד נמוך או גבוה). השפעת הרשתות מוצגת ע"י חישוב המהלך היומי הממוצע (12 ימים) של הפרש הטמפרטורה בין המדידים תחת הטיפולים השונים ביחס לביקורת ללא רשת.

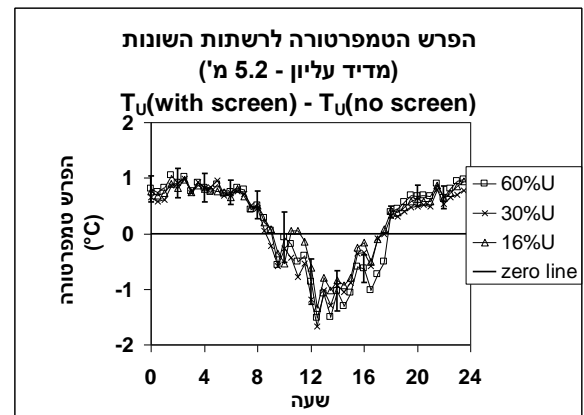
תוצאות שנה ראשונה השפעת הרשתות על הפרש הטמפרטורה בחלק העליון והתחתון של העץ, כפי שנמדדו בשנה הראשונה, נראית באיורים 6 ו-7 בהתאמה. באיור 6 (אזור עליון) ניתן לראות השפעה ניכרת של הרשת על הטמפרטורה. בשעות הלילה, החל מ- 17:30 ועד 09:00 למחרת בבוקר טמפרטורת הנוף תחת הרשת היתה גבוה מזו של אותו הנוף לאחר הסרת הרשת בשיעור מקסימלי של כ- 1°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°C וזאת עקב ההצללה והפחתת עומס החום על הנוף. לא ניתן להבחין בהשפעה מובהקת של אחוזי ההצללה על הפרש הטמפרטורה.

באיור 7 (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°C . באזור הנוף

התחתון (איור 7) ניתן להבחין בהבדל מובהק בין הרשתות, כאשר לרשת 60% השפעה גדולה יותר מרשת של 16%, הן בהעלאת הטמפרטורה בלילה והן בהורדת הטמפרטורה ביום.

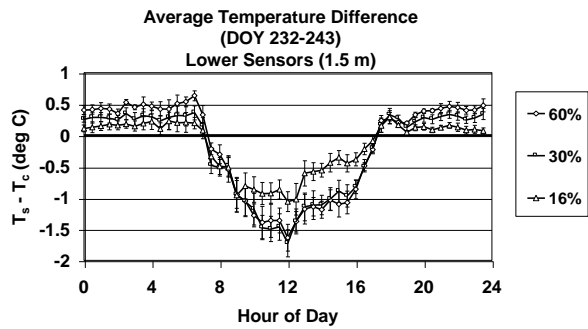


איור 7: השפעת רשתות באחוזי הצללה שונים על טמפרטורת האוויר באזור העליון של הנוף. הקווים האנכיים מציינים רווח בר סמך של 95%.

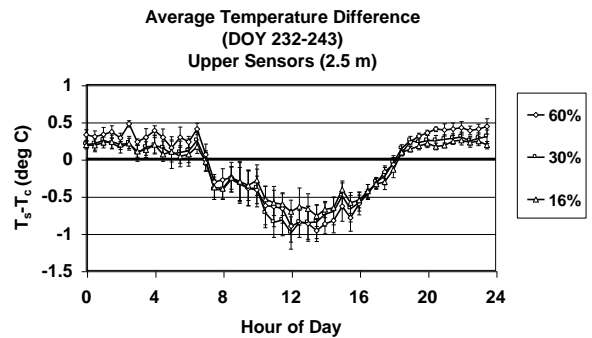


איור 6: השפעת רשתות באחוזי הצללה שונים על טמפרטורת האוויר באזור העליון של הנוף. הקווים האנכיים מציינים רווח בר סמך של 95%.

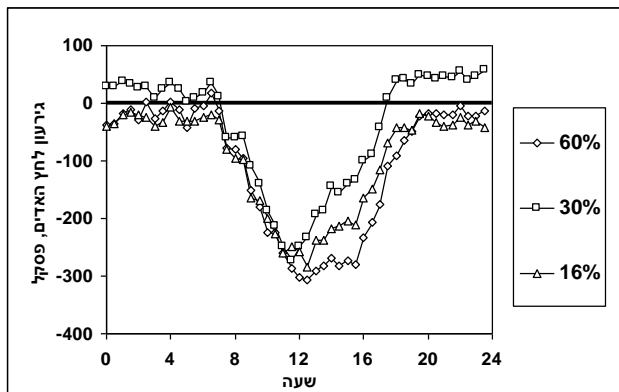
תוצאות שנה שנייה: השפעת הרשתות על הפרש הטמפרטורה בחלק העליון והתחתון של העץ נראית באיורים 8 ו-9 בהתאמה. באיור 8 (אזור עליון) ניתן לראות כי בשעות הלילה, החל מ- 18:30 ועד 07:00 למחרת בבוקר טמפרטורת הנוף תחת הרשת היתה גבוהה מזו של הביקורת בשיעור מקסימלי של כ- 0.5 °C, וזאת מכיוון שהרשת מנעה איבודי חום בקרינה לרקיע בשעות הלילה. בשעות היום, לעומת זאת, גרמה הרשת לירידה בטמפרטורה בשיעור מקסימלי של כ- 1 °C וזאת עקב ההצללה והפחתת עומס החום על הנוף. לא ניתן להבחין בהשפעה מובהקת של אחוזי הצללה על הפרש הטמפרטורה. באיור 9 (אזור תחתון) ניתן לראות כי השפעת הרשתות על הפרש הטמפרטורה במשך הלילה דומה לזו שבאזור העליון. מצד שני, במשך היום, הרשת הורידה את טמפרטורת אוויר הנוף בכ- 1.5 °C. באזור הנוף התחתון (איור 9) ניתן להבחין בשעות אחר הצהריים בהבדל מובהק בין הרשתות, כאשר לרשתות 60% ו- 30% השפעה גדולה יותר מרשת של 16%, כצפוי.



איור 9: השפעת רשתות באחוזי הצללה שונים על טמפרטורת האוויר באזור התחתון של הנוף. הקווים האנכיים מציינים רווח בר סמך של 95%.



איור 8: השפעת רשתות באחוזי הצללה שונים על טמפרטורת האוויר באזור העליון של הנוף. הקווים האנכיים מציינים רווח בר סמך של 95%.



איור 10: השפעת רשתות באחוזי הצללה שונים על גרעון לחץ האדים של האוויר בנוף. נראים ערכים ממוצעים של מדידים עליונים ותחתונים. לא נמצא הבדל מובהק בין התוצאות.

לחות האוויר בוטאה כ - VPD, כלומר, גירעון לחץ האדים. הגדלת VPD מציינת אוויר יבש יותר, ומכאן נטיה להגדלת הטרנספירציה. התוצאות מראות (איור 10) כי בשעות הלילה היתה עליה קלה (עד כ - 50Pa) בערך של VPD עקב פריסת רשת 60% צל אך לרשתות האחרות לא היתה כמעט השפעה בלילה. בשעות היום הקטינו כל הרשתות את ה - VPD בשיעור של עד 300Pa. הקטנת VPD בשעות יום מרמזת על אפשרות של הקטנת הטרנספירציה.

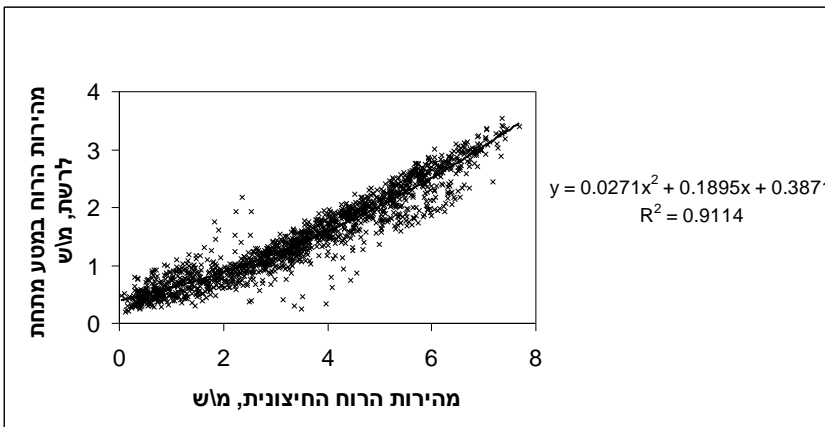
ה. השפעת רשתות הצל על הרוח במטע

הוצבו שני מדי רוח מסוג Cup Anemometer בגובה של 3.2 מ' מעל פני הקרקע, האחד באזור טיפול של 30% והשני באזור הביקורת. מהירות הרוח נמדדה כל שניה ונרשמו ממוצעים של 15 דקות. המדידות נערכו לאורך תקופה של 19 ימים. סך הכל נותחו 1566 מדידות של 15 דקות כ"א. נמצא כי ב 57% מהמדידות, הרוח בביקורת הייתה גבוהה מן הרוח תחת רשת הצל. תוצאה זו נמצאת בהתאמה למדידות שעשינו בעבר על הפחתת הרוח תחת רשתות צל מעל הדריס. מהירות הרוח הממוצעת של 1566 הממוצעים הרבע-שעתיים שנמדדו תחת רשת ה-30% צל היתה 1.5 מ'שניה לעומת מהירות רוח של 1.65 מ'שניה בחלקת הביקורת ללא רשת. ניתוח סטטיסטי (t-Test) הראה כי ירידה זאת של כ-9% במהירות הרוח תחת הרשת הייתה מובהקת (P=0.028). בעבודה קודמת (Tanny & Cohen, 2003) מצאנו ירידה של כ-40% במהירות הרוח בתוך הנוף שמתחת לרשת צל בודדת אופקית קטנה במטע הדריס, בהשוואה לחלקה רחוקה מהרשת ולא מחופה.

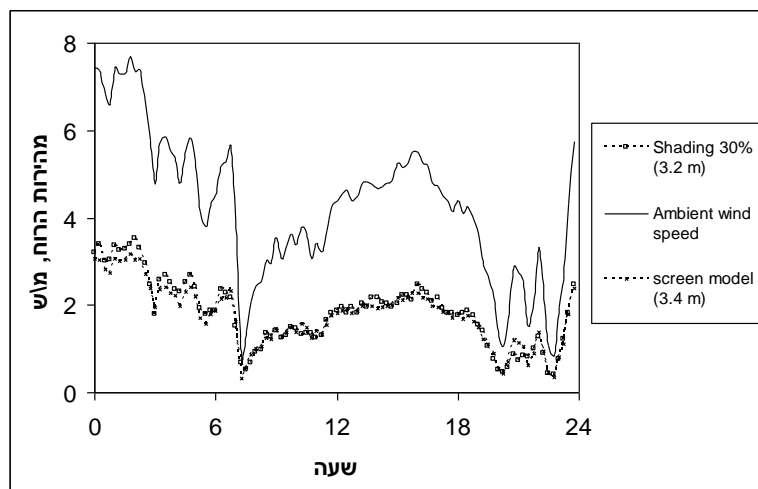
יש לציין כי מאחר והרשתות בניסוי הנוכחי הן גם קטנות יחסית ההבדל שנמצא אינו מייצג הבדל שהיה נמדד בין מטע גדול מחופה ברשת אחידה למטע גדול חשוף לגמרי. זאת מכיוון שבניסוי הנוכחי, אזור הביקורת (ללא רשת) היה בין החלקות המחופות, ולכן הוא הושפע מנוכחות האיזורים המחופים שבקירבתו ולהפך.

איור 11 מראה את הקשר בין הרוח החיצונית שנמדדה ע"י התורן בגובה 6 מ' לבין מהירות האוויר שנמדדה במטע, בגובה 3.2 מ', באזור של רשת 30% צל. ניתן לראות כי במרבית זמן המדידה הייתה התאמה טובה בין הרוח החיצונית לרוח במטע המחופה. גרף זה מראה כי ניתן לחזות בדיוק טוב את הרוח בתוך המטע המחופה (בגובה הנתון) על סמך מדידות מטאורולוגיות.

איור 12 מראה מהלך יומי טיפוסי (יום בשנה 199) של מהירות הרוח החיצונית, המהירות שנמדדה במטע באזור של רשת 30% צל בגובה 3.2 מ' והמהירות במטע המחושבת לפי המודל של פילוג רוח לוגריתמי מיושם עבור מטע מחופה. המהירות המחושבת לפי המודל הותאמה למהירות המדודה ע"י שיטת הריבועים הפחותים (לכל 1566 נתוני המדידה) וההתאמה הטובה ביותר התקבלה כאשר בנוסחת הפילוג הלוגריתמי (3) הוצב גובה מדיד (z) של 3.4 מ'. ההבדל הקטן בין גובה זה לבין גובה המדיד המעשי (3.2 מ') מראה כי ניתן ליישם בניסוי זה את מודל פילוג הרוח עבור מטע מחופה שהתקבל בניסוי הצללת הדריס שביצענו בעבר.



איור 11: מהירות הרוח בתוך המטע המחופה (אזור של רשת 30% צל) כתלות ברוח החיצונית שנמדדה ע"י התורן המטאורולוגי בגובה 6 מ'. הנוסחה מתארת את קו המגמה. האיור מציג 1566 נתונים.



איור 12: מהלך יומי (יום 199) של מהירות הרוח. קו

מלא – מהירות הרוח החיצונית שנמדדה ע"י התורן המטאורולוגי בגובה של 6 מ'; ריבועים – מהירות הרוח שנמדדה באזור הרשת במטע, בגובה 3.2 מ'; כוכביות – מהירות הרוח בגובה 3.4 מ' המחושבת לפי מודל של פילוג רוח לוגריתמי מעל מטע מחופה.

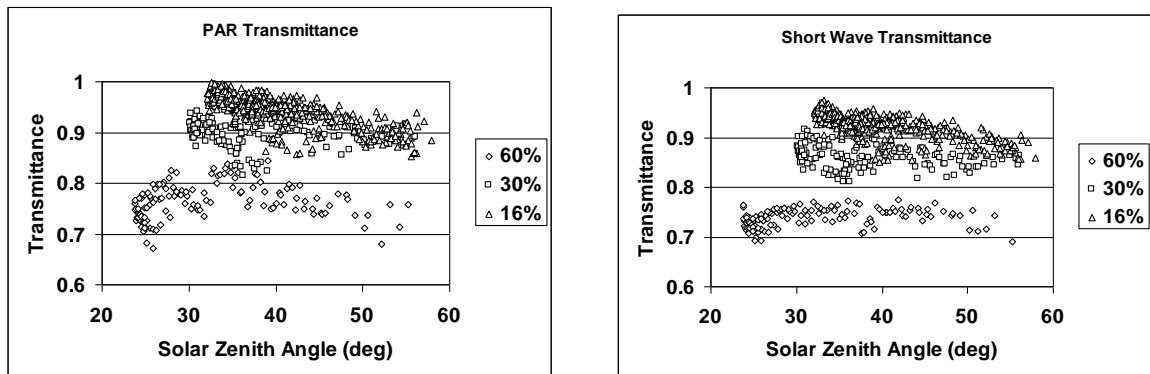
1. תכונות קרינתיות של רשתות שונות

המדידות התבצעו בשנת 2003 על גג בניין מעבדת המים 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 2 :

תאריך התחלה	אחוז/מש	יצרן/סוג
10.8.03	30%	אלומינט - פולישק
17.8.03	60%	אלומינט - פולישק
25.8.03	60%	אלומינט - פולישק
31.8.03	60%	פנינה - פולישק
8.9.03	30%	אלומינט - פולישק
17.9.03	30%	פנינה - פולישק
22.9.03	16%	שקוף - פולישק
8.10.03	9 מש	מטאור - ברד
21.10.03	25 מש	מטאור - 25 מש

טבלה 2 : מהלך פריסת הרשתות במדידות התכונות הקרינתיות של הרשתות.

מן המדידות נערכו חישובים של המעבירות של קרינה קצרת גל ושל קרינה פוטוסינתטית. איור 13 מציג את המעבירות לקרינה קצרת גל (ימין) וקרינה פוטוסינתטית (שמאל), כתלות בזווית הזניט. נראה כי המעבירות גדלה ככל שיוורד אחוז ההצללה, כצפוי. חוץ מאשר איפיון בסיסי של תנאי הניסוי, תוצאות אלה יכולות לשמש לניתוח תיאורטי של השפעות הרשתות על המטע, וייתכן והמדידות ישמשו לניתוחים נוספים של תכונות הרשתות.



איור 13 : מעבירות רשתות מסוג 16% שקוף, ו-30% ו-60% פנינה לקרינה קצרת גל (ימין) ולקרינה פוטוסינתטית (שמאל) כתלות בזווית הזניט של השמש.

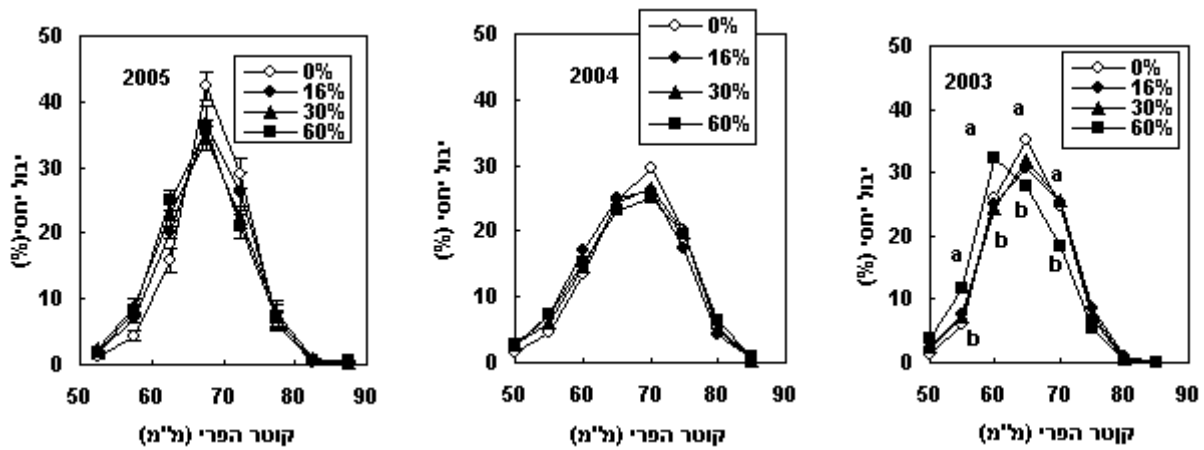
2. השפעת ההצללה על היבול ואיכות הפרי

היבול הכללי ב-2003 היה דומה בכל הטיפולים (טבלה 3). בשנים 2004 ו-2005 הייתה מגמה של יבול גבוה יותר בביקורת וברשת 16%.

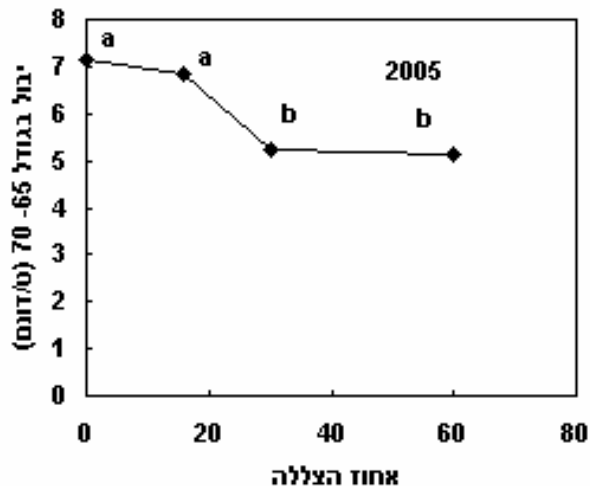
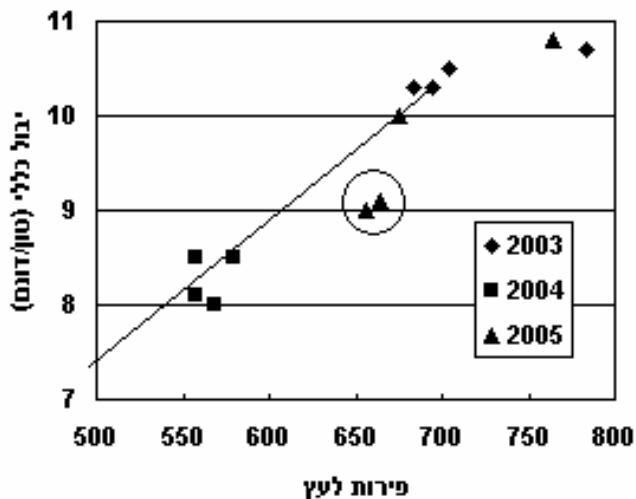
טבלה 3 : מספר הפירות לעץ והיבול הכללי בטיפולי הצל השונים בשנים 2003-2005.

2005		2004		2003		אחוז הצל
יבול כללי (טון/דונם)	פירות לעץ	יבול כללי (טון/דונם)	פירות לעץ	יבול כללי (טון/דונם)	פירות לעץ	
10.0	676	8.5	558	10.3	683	0%
10.8	764	8.5	580	10.5	704	16%
9.1	665	8.1	557	10.3	694	30%
9.0	656	8.0	568	10.7	783	60%

בשנת 2003 הפירות ברשת 60% היו קטנים מהביקורת (איור 14) אך הדבר יכול להיות קשור למספר הפירות לעץ. בשנת 2004 הייתה מגמה של יותר פרי בגודל 70 מ"מ בביקורת. בשנת 2005 היה יותר פרי בגודל 65-70 מ"מ בביקורת וברשת 16% צל בהשוואה לאחוזי הצל הגבוהים (איור 15). בטיפול 30% ו-60% צל ב-2005 היבול הכללי היה נמוך מעקום היבול כפונקציה של מספר הפירות (איור 16) דבר המצביע על השפעה שלילית של אחוזי הצל הגבוהים על גודל הפרי.



איור 14 : התפלגות גודל הפרי בטיפולי הצל השונים בשנים 2003-2005.

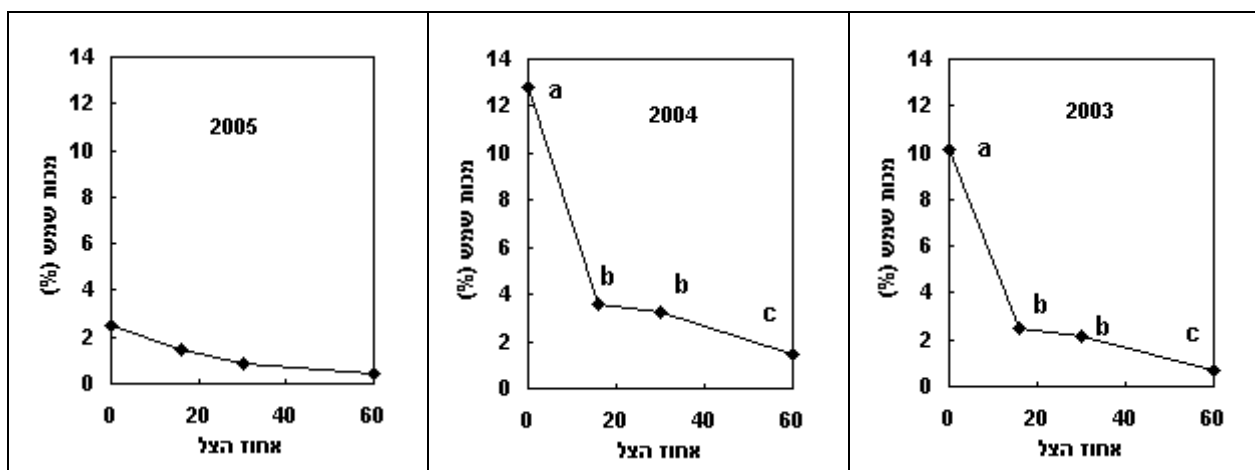


איור 16: היבול הכללי כפונקציה של מספר הפירות בטיפולים השונים כפונקציה של מספר הפירות לעץ. הקו התחיל בראשית הצירים. טיפולי 30% ו-60% צל ב-2005 מוקפים בעיגול.

איור 15: כמות היבול בגודל 65-70 מ"מ בשנת 2005 כפונקציה של אחוז הצל.

בשנת 2003 הייתה השפעה שלילית ל-60% צל ובשנת 2005 ל-30% ו-60%. הסיבה לחוסר הבדל בין הטיפולים בשנת 2004 קשורה אולי ליבול נמוך יחסית שגרם לכך שמיגבלת המוטמעים עקב ההצללה לא הייתה משמעותית. נראה שההשפעה השלילית של הצל המוגבר עולה עם השנים דבר הקשור להצטברות מחסורים במוטמעים.

אחוז מכות השמש ירד עם עליית אחוז הצל בשלוש השנים (איור 17) כאשר בשנת 2005 לא היו כמעט מכות שמש. עיקר הירידה במכות השמש הייתה בין הביקורת לרשת 16% צל ונראה שרשת זו פותרת באופן מעשי את בעיית מכות השמש.



איור 17: אחוז מכות השמש כפונקציה של אחוז הצל בשנים 2003-2005.

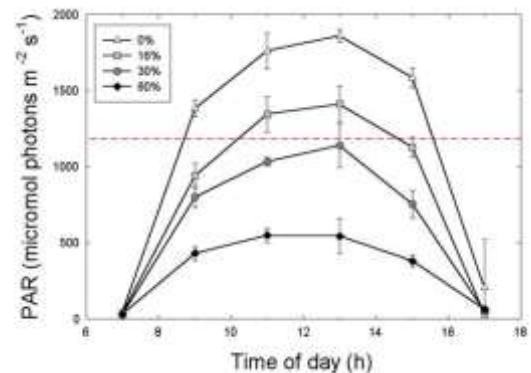
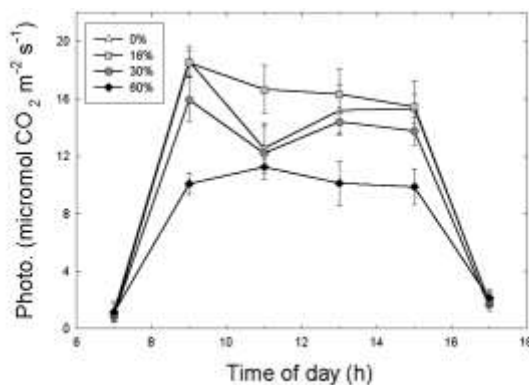
ח. בחינת השפעת טיפולי הצללה על הפוטוסינתזה, הטרינספירציה ויעילות ניצול המים בתפוח

על מנת להבין לעומקה את אופן תגובת העצים לרשתות (טיפול שהשפיעה הן על טמפרטורת העלה והן על עוצמת הקרינה הפוטוסינתטית המגיעה לעלה), נבחנה התלות של תהליכי הפוטוסינתזה בעוצמת הקרינה ובטמפרטורת העלה. בדיקות הפוטוסינתזה, והטרינספירציה נערכו בעזרת מכשירי LI-COR 1600, ו-LICOR 6400. כל המדידות נעשו על עלי שמש בוגרים (עלים שפנו לכיוון השמש). כל הערכים המובאים הינם ממוצע \pm סטיית תקן של 8-12 מדידות לטיפול. לגבי בדיקת התלות של תהליכי הפוטוסינתזה בעוצמת הקרינה ובטמפרטורת העלה, הנתונים נאספו מהשטח ומשתילים שגודלו בתא גידול מבוקר טמפרטורה, בהתאמה.

תוצאות:

השפעת הצללה על עוצמת הקרינה במטע:

ככלל, טיפולי הרשת הקטינו את עוצמת הקרינה הפוטוסינתטית במטע בכל טיפולי הצל (איור 18). עוצמת ההפחתה היתה תלויה בתכונות הרשת המקוריות (נתוני היצרן), ובכמות האבק שנצטברה על הרשת במהלך תקופת המחקר. כשהרשת היתה חדשה ונקייה אחוזי הצל שנמדדו עבור הטיפולים 0%, 16%, 30%, ו-60% צל עמדו בצהרי היום על: 0%, 19%, 38%, ו-63% צל בהתאמה. בשנה השלישית של המחקר אחוזי הצל שנמדדו בצהרי היום עמדו על 0%, 27%, 37%, ו-69% בהתאמה (בשנה השנייה בה לא שטפו את הרשת בתחילת העונה הערכים היו גבוהים אף יותר). מקור השוני הינו בבליה של הרשת ובאבק שנצטבר עליה. חשוב לציין כי על פי חישוב יומי ערכי הצללה של הרשתות השונות היו גבוהים אף יותר מהערכים הנמדדים בצהריים מאחר ובחלק משעות היום (בוקר וערב) קרינת השמש מגיעה בזווית כהה ביחס למישור הרשת. לדוגמא: כאשר המדידה נערכה על פני כל שעות האור, אחוזי הצללה בטיפולים השונים עמדו על 0%, 33%, 49%, ו-61% צל בהתאמה.

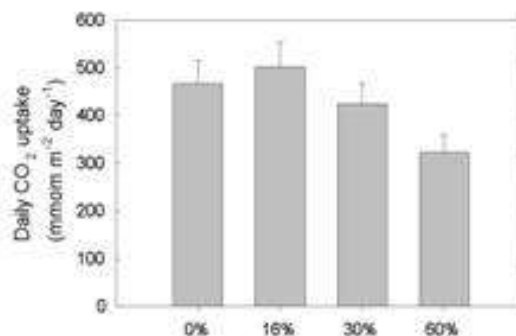
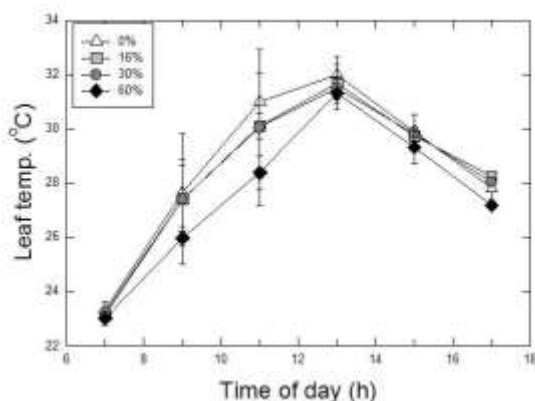


איור 19. השפעת הרשתות על קיבוע הפד"ח במהלך היממה. ניתן לראות כי לטיפול ה-"16%" ישנו יתרון במהלך שעות הצהריים. תוצאות עם מגמות זהות נתקבלו במהלך 2005. הערכים הינם ממוצע וסטיית תקן של 7-8 חזרות

איור 18. השפעת הרשתות על הקרינה הפוטוסינתטית במטע במהלך שעות היום (נתוני אוגוסט 2003). הקו המקוקו מציין את עוצמת הקרינה האופטימאלית לתפוחים.

השפעת הצללה על הפעילות הפוטוסינתטית של העצים:

במהלך השנתיים בהם רשתות הצל נשמרו נקיות (בשנה הראשונה של המחקר בהם הרשת היתה עדיין חדשה ובשנה השלישית בה שטפו את הרשת מאבק בתחילת העונה) היה יתרון לטיפול ה- "16%" צל. יתרון זה נבע מתוספת בקיבוע הפד"ח שהתרחשה בשעות הצהריים (שעות בהן הקרינה והטמפרטורה נמצאים בשיאם; איור 19). נוכחותה של רשת הצל אפשרה קבלת תוספת של 10% בפעילות היומית של הצמחים (איור 20).



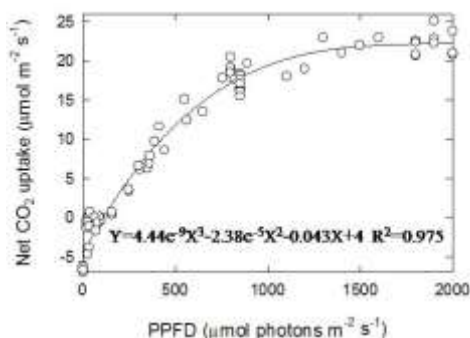
איור 20. השפעת ההצללה (ציר X) על סך קיבוע הפד"ח היומי (ציר Y) נתוני 2003. איור 21. השפעת ההצללה על טמפרטורת העלה במהלך היממה (נתוני 2004).

השפעת רשתות הצל על טמפרטורת העלים

שימוש ברשתות הצל השפיע גם על טמפרטורת העלים (איור 21). למרות שהיתה שונות רבה במדידה, בכל אחת ואחת משנות המחקר נמצא כי רשתות הצל אפשרו הורדת טמפרטורת העלווה.

תגובת התפוח לקרינה וטמפרטורה

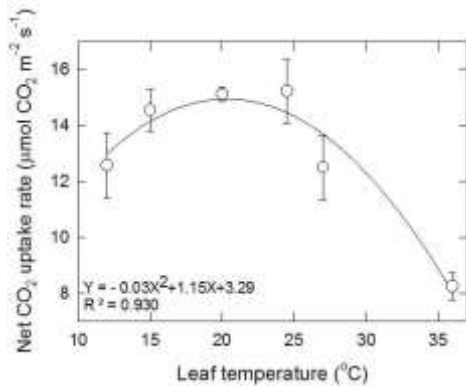
בניסיון להבין את התנאים בהם לרשתות ישנו יתרון בתפוח נלמדה תגובת הצמח לעוצמות קרינה וטמפרטורה. נמצא כי מבחינת עוצמת הקרינה, כל עוד רמת הקרינה המגיעה לעלה עומדת על 1250 מיקרומול פוטונים ויותר, העלה נמצא ברווית אור (איור 22). חשיפת הצמח לעוצמת קרינה נמוכה מערך זה (למשל עקב שימוש ברשתות צל אטומה) תהפוך את האור לגורם מגביל.



איור 22. השפעת הקרינה (ציר X) על רמת הפוטוסינתזה בעלה. בתחום שבין 0 ל-550 מיקרומול פוטונים למ"ר לשניה (התחום הלינארי), על כל עליה של 100 מיקרומול פוטונים למ"ר לשניה בעוצמת הקרינה ישנה עליה של 3.1 מיקרומול פד"ח למ"ר בקצב הפוטוסינתזה.

לגבי התגובה לטמפרטורה, נמצא כי כל עוד טמפרטורת

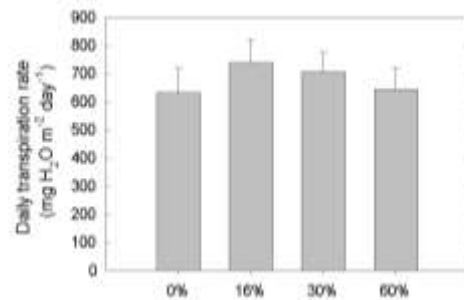
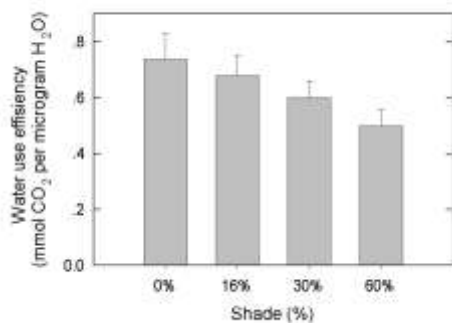
העלה נשמרת סביב ה-20 מעלות צלסיוס, מתקבלת פעילות הקיבוע המאקסימאלית. חריגה מתחום זה (למעלה או למטה) תוביל לירידה בקצב הפעילות הפוטוסינתטית של הצמח (איור 23).



איור 23. הקשר שבין טמפרטורת עלה וקיבוע הפד"ח בתפוח. הנתונים נתקבלו בעצים צעירים שגודלו בתא גידול מבוקר טמפרטורה שבגילת. הערכים המובאים הינם ממוצע וסטיית תקן של 5 חזרות.

השפעת ההצללה על סך הטרנספירציה היומי ויעילות ניצולת המים

מבחינת סך הטרנספירציה היומי במטע עולה כי טיפולי ההצללה לא הובילו להקטנת צריכת המים במטע אלא להגדלתם (איור 24). הדבר חזר על עצמו בכל השנים. לצורך חישוב השפעת הטיפולים על יעילות ניצולת המים של העצים, חולקו ערכי הקיבוע היומיים של הפוטוסינתזה בערכי הטרנספירציה היומיים. נמצא כי טיפולי ההצללה הובילו לירידה ביעילות ניצולת המים במטע (איור 25); לא מובהק בטיפול 16%. יחד עם זאת יש לציין כי למרות שמבחינה פיזיולוגית טיפולי ההצללה הובילו לירידה ביעילות ניצולת המים, יתכן שמבחינה חקלאית (כמות מים ליחידת יבול או הכנסה) המגמה תהיה שונה.



איור 25. השפעת ההצללה על יעילות ניצולת המים במטע. הנתונים הינם תוצר חלוקה של ערכי הפוטוסינתזה היומיים בערכי הטרנספירציה היומיים שנתקבלו בטיפולי הצל השונים (נתוני 2003; ממוצע וסטיית תקן של 7-8 חזרות).

איור 24. השפעת טיפולי ההצללה על הטרנספירציה ליחידת שטח עלה של העצים. הערכים המובאים הינם ממוצע וסטיית תקן של 7-8 חזרות.

לסיכום:

הפוטוסינתזה: השפעת הצללה על הפוטוסינתזה בעצי תפוח תלויה בתנאי הסביבה (קרינה וטמפרטורה). בימי הקיץ החמים המאופיינים בקרינה חזקה, הצללה מתונה (בה רמת הקרינה המגיע לעלווה נשמרת בתחום הרוויה לאור) יכולה להגביר את סך קיבוע הפד"ח בעלי העץ עקב הפחתת עומס

החום (הפחתת טמפרטורת העלווה). לאומת זאת, הצללה חזקה, שתוביל להפחתת עוצמת הקרינה המגיעה לעלים אל מתחת לנקודת הרוויה לאור, תוביל לפגיעה בתהליכי הפוטוסינתזה של העצים.

יעילות ניצולת המים (יעילות פיזיולוגית): על פי המדידות שנערכו עד כה עולה כי טיפולי ההצללה הכבדים מ-16% הקטינו את יעילות ניצולת המים של העצים. במקרה של הרשת הקלה, 16% ההבדל לא היה מובהק ונראה שכאשר הוא מעלה את הכושר הפוטוסינתטי תהיה עליה ביעילות השימוש במים.

איכות פרי: הצללה הורידה באופן דרמטי את אחוז מכות השמש (יותר מ-300% ב-2003 ו-2004, איור 17). בטיפולי עיצוב עץ מודרנים, הגורמים לחשיפה של אחוז גבוה של הפרי ולכן לאחוז גבוה של מכות שמש, העלאה זאת באיכות הפרי יכולה להיות בעלת משמעות כלכלית מכרעת לגבי הכדאיות הכלכלית של הצללה. לכן נראה שכדאי להתמקד ברשת הקלה (16% שקוף) בניסוי השקיה ע"מ לבחון אם ניתן להעלות את יעילות השימוש במים בנוסף לשיפור איכות הפרי.