

# פיתוח מודל אופרטיבי לתכנון מנת השקיה עונתית והערכת יעילות השימוש במים במטעי תפוח מסחריים

## Development of an operative model for planning annual irrigation level and water-use-efficiency evaluation in commercial apple orchards.

עמוס נאור – המכון לחקר הגולן  
שאול נשיץ – המכון לחקר הגולן  
אליעזר גולדשמידט – הפקולטה לחקלאות, רחובות

מרץ 2007

אדר תשנ"ז

### תקציר

בעית המחקר – יש צורך להתאים את מנת ההשקיה העונתית לרמת היבול על מנת לייעל את השימוש במים. מטרת המחקר לבחון אפשרות ישום המודל האופרטיבי להערכת מנת ההשקיה העונתית במטעים מסחריים של תפוח; לשנות את המודל כך שהמשתנה הבלתי תלוי יהיה מנת המים לתחזוקת העץ. חומרים ושיטות – נערכו שני ניסויים זהים בגליל (חוות מתיתיהו) ובגולן (אורטל). בניסויים יצרנו (בדיעבד) טווח רחב של מנות מים לתחזוקת העץ. נמדד פוטנציאל המים בגזע בצהרים והיבול מכל עץ נשקל ומוין לגודל בנפרד.

תוצאות – התקבלה השפעה ברורה של ההשקיה ועומס היבול על התפלגות גודל הפרי – קטן עם ירידת מנת ההשקיה ועם עליית עומס היבול. נמצא מתאם טוב בין מצב המים בעץ לגודל הפרי והמתאם היה זהה בשני הניסויים. התגלו קשיים הנובעים מדליפת מים בטיפול ההשקיה הגבוהה ומחוסר יכולת לחלץ את מנת המים ליצור טון חומר יבש של פרי.

הבעיות שנתרו לפתרון – 1. הערכת צריכת המים ליצור טון חומר יבש של פרי – יבוצע ניסוי עציצים מבוקר; 2. הערכת צריכת המים בפועל – תבוצע מדידת טרנספירציה בשיטת Granier. תבוצע מדידה של חדירת קרינה לנוף בניסויי 2006 ו-2007 על מנת להעריך צריכת המים בפועל בניסויי 2006, דבר שיאפשר שימוש בנתוני 2006. בעונת 2007 נבצע ניסוי אחד בהיקף גדול שיכלול 4 טיפולי השקיה (1, 2, 3.5 ו-7 מ"מ/יום) ובכל טיפול יהיו חמישה עומסי יבול (25, 50, 150, 400 וכ-1100). בחירת הטיפולים נעשתה על מנת: 1. לקבל מספיק נקודות באזור מקסימום גודל פרי; לקבל אחידות בכל עומס (בעונה הנוכחית העומס הגבוה היה ללא דילול והיה וריאבילי). דילול מדויק עד 400 פירות לעץ יפתור בעיה זו.

**מבוא** – משק המים השפירים בארץ נמצא במצב קשה שכן כמות המים נתונה ומוגבלת והצריכה הביתית עולה בשל גידול האוכלוסייה, ישראלית ופלשתינית כאחד, וכן בשל עליה מתמדת ברמת החיים. במקביל, יש עליה בכמות מי הקולחים המהווים תחליף חלקי למים שפירים ובשל כך נמצאת חקלאות ישראל בתהליך מואץ של מעבר להשקיה בקולחים. בחלק מהאזורים לא תהיה מגבלת הספקת קולחים שכן הכמות גדולה והשימוש החוזר בחקלאות מצמצם בעיה אקולוגית קשה. הרוב המכריע של המטעים הנשירים מרוכז בצפון הארץ. כמות מי הקולחים בצפון הארץ מוגבלת בשל צפיפות האוכלוסייה וברור שלא יובאו מי קולחים לאגן ההיקוות של הכנרת. אם כן, גם בעתיד תתבסס השקית המטעים בצפון הארץ בעיקר על מים שפירים ולפיכך צפוי ענף הנשירים בצפון להיות במגבלת מים תמידית, דבר המדגיש את הצורך בהעלאת יעילות השימוש במים (הכנסה לנחלה ליחידת מים).

הקצאות המים למטעים ירדו ב-35% ובניגוד לעבר, לא תתאפשר חריגה מהקצאת המים. במצב זה גמישות היצע המים שואפת לאפס ועל כן גודל השטח המעובד לנחלה יושפע מיעילות השימוש במים. הגברת יעילות השימוש במים תקטין את מימדי העקירה הנובעים מהקיצוץ החריף בהקצאת המים. בנוסף, מחיר המים לחקלאות עולה ויעמוד בעתיד הקרוב על 1.6 ש"ח/מ<sup>3</sup>. אם כן, אנו נכנסים לתקופה בה גמישות היצע המים תהיה נמוכה ועלותם גבוהה. כך הופכים המים למשאב בחסר בעלות גבוהה, דבר שיגביר את המוטיבציה של החקלאים להגדיל את יעילות השימוש במים.

צריכת המים של עצים נשירים מושפעת ממספר רב של גורמים: גודל הנוף המשתנה לאורך העונה ומשפיע על מידת קליטת הקרינה – מושפע מהזן, הכנה ושיטת העיצוב; רמת היבול המשפיעה ישירות על מוליכות הפיוניות ועל כן גם על הטרנספירציה; עומס היבול המגדיר את יכולת הנוף לתמוך בדרישת הפרי למוטמעים; פוטנציאל גודל הפרי המשתנה בין עונות בהשפעת משטר הטמפרטורות בשלב חלוקת התאים – יגרום לשינויים בסף פוטנציאל המים לבקרת השקיה; יעילות ההשקיה המושפעת באופן משולב ממנת ההשקיה ותדירותה, ספיקת המפזרים ופריסתם, התכונות ההידרוליות של הקרקע; שינויים בדרישות האטמוספירה למים יגרמו להשתנות צריכת המים מיום ליום. המלצות ההשקיה מתבססות על ניסויים שבוצעו בדרך כלל על צרוף של זן יחיד, כנה יחידה, שיטת עיצוב אחידה ורמת יבול ממוצעת. העדר יכולת להעריך בצורה כמותית את השפעת הגורמים השונים על צריכת המים ומנת ההשקיה משאיר את החקלאי באי ודאות לגבי מנת ההשקיה; לפיכך, התאמת מנת ההשקיה לכל חלקה נעשית בצורה אמפירית ואינטואיטיבית דבר הגורם לבזבז מים, שכן בשל אי הודאות החקלאי משקה במקדם ביטחון היכול להגיע לעשרות אחוזים.

יש צורך בפיתוח כלים שיאפשרו לחקלאי להתמודד עם אי הודאות כך שניתן יהיה להקטין את מקדמי הביטחון הנהוגים בהשקיית מטעים מסחריים. במחקר המוצע אנו מבקשים לפתח מודל אופרטיבי שבאמצעותו ניתן יהיה להעריך את השפעת רמת היבול על צריכת המים ולהעריך את יעילות השימוש במים במטעים מסחריים. המדובר בכלי עזר משלימים לבקרת ההשקיה היומיומית במהלך העונה שבאמצעותם ניתן יהיה להגדיר את מנת ההשקיה העונתית המשתנה מעונה לעונה. כמו כן ניתן יהיה לאתר חלקות בהן יעילות השימוש במים נמוכה, לנתח את הגורמים ולהתאים את המימשק האגרנטני לתיקון המצב.

במחקר הנוכחי נבחן ונשפר מודל אופרטיבי לקביעת מנת ההשקיה העונתית בהשפעת רמת היבול ( Naschitz and Naor, 2005). על פי המודל המים הנצרכים ע"י העץ משמשים ליצירת מוטמעים המתחלקים בין שני מרכיבים, היבול ושאר חלקי העץ – שימור שלד עץ ונוף המאפשרים נשיאת יבול מקסימלית באופן יציב לאורך שנים. בניגוד למודל הקודם תיבחן השפעת מנת המים לתחזוקת העץ על גודל הפרי. מנת המים לתחזוקת העץ שווה למנת המים עד הקטיף פחות יבול החומר היבש בפרי מוכפל במנת המים ליצירת טון חומר יבש.

**חומרים ושיטות** – נערכו שני ניסויים זהים, בגליל (חוות מתיתיהו) ובגולן (אורטל) בתפוח בוגר מהזן זהוב. ע"י צרוף של מנות מים ועומסי יכול ניצר בניסויים טווח רחב של מנות מים לתחזוקת העץ. טווח רחב זה אמור לספק נתונים שמהם נחלץ את הפרמטרים של המודל האופרטיבי – מנת מים ליצירת טון יכול ופרמטרים של הפונקציה המתארת את השפעת מנת המים לתחזוקת העץ על משקל הפרי.

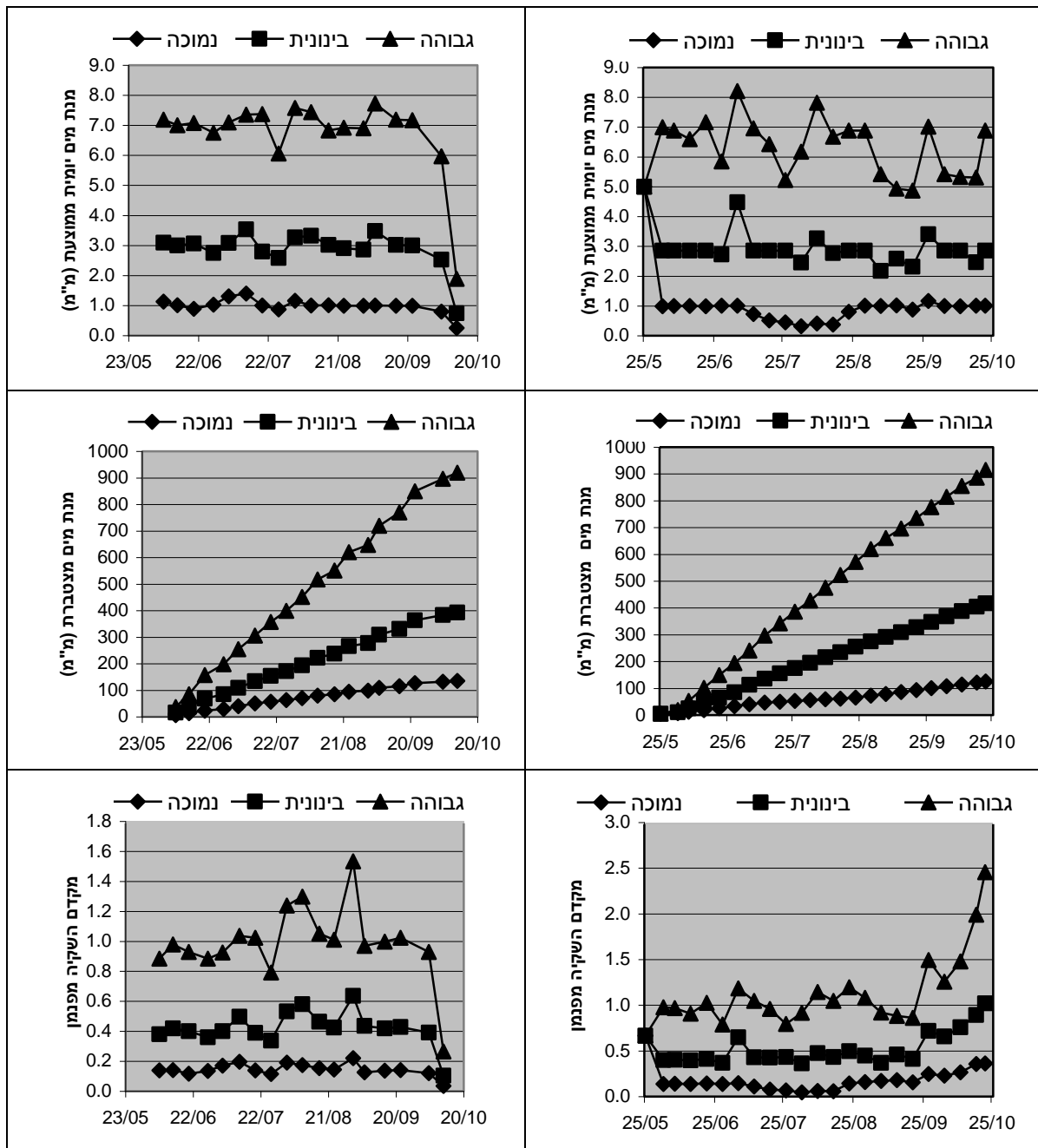
ההשקיה התחילה לאחר שלב חלוקת התאים על מנת למנוע מצב של השפעת השקיה/עומס יכול על חלוקת התאים ופוטנציאל גודל הפרי. בכל ניסוי ניתנו שלוש מנות מים (בערך 1, 3, ו-7 מ"מ/יום). בכל טיפול נעשה דילול סלקטיבי שיצר שלוש רמות יכול (בערך 2, 6 וכ-12 טון/דונם) – הדילול בוצע בסוף שלב חלוקת התאים (40 יום משיא פריחה). לכל צרוף של השקיה X עומס היו שישה עצים (סה"כ 54 עצים). נערכו בדיקות רטיבות קרקע בתחילת הניסוי ובקטיף. נערכו בדיקות פוטנציאל מים בגזע בצהריים לאורך העונה. היכול מכל עץ נקטף ומוין לגודל בנפרד. כך עמדו לרשותנו נתוני מנת המים המצטברת, הבדלים בתכולת המים בפרופיל הקרקע מהאביב לקטיף, יכול כללי, התפלגות גודל פרי ומשקל פרי ממוצע.

**תוצאות** - מנות המים ניתנו כמתוכנן (איור 1) ומנת המים המצטברת לעונה הייתה כ-100, 400 ו-900 מ"מ בטיפולי ההשקיה הנמוכה, הבינונית והגבוהה, בהתאמה. מנת המים עד הקטיף הייתה 101, 285 ו-665 מ"מ באורטל או 80, 292 ו-661 מ"מ בחוות מתיתיהו בטיפולי ההשקיה הנמוכה, הבינונית והגבוהה, בהתאמה. מקדמי ההשקיה בפועל היו גבוהים יותר באורטל בהשוואה לחוות מתיתיהו (איור 1) עקב הבדלים בהתאדות. התקבלו הבדלים גדולים בין הטיפולים בפוטנציאל המים בגזע בצהריים בין טיפולי ההשקיה (איור 2) כאשר באורטל היה מצב המים טוב יותר מזה שבאורטל. במצב של 2.5MPa- הפיוניות סגורות לגמרי. עומס הפרי השפיע על פוטנציאל המים בגזע כאשר ההשפעה גדלה עם הירידה במנת ההשקיה (לא מוצג). ההשפעה הייתה גדולה יותר בחוות מתיתיהו.

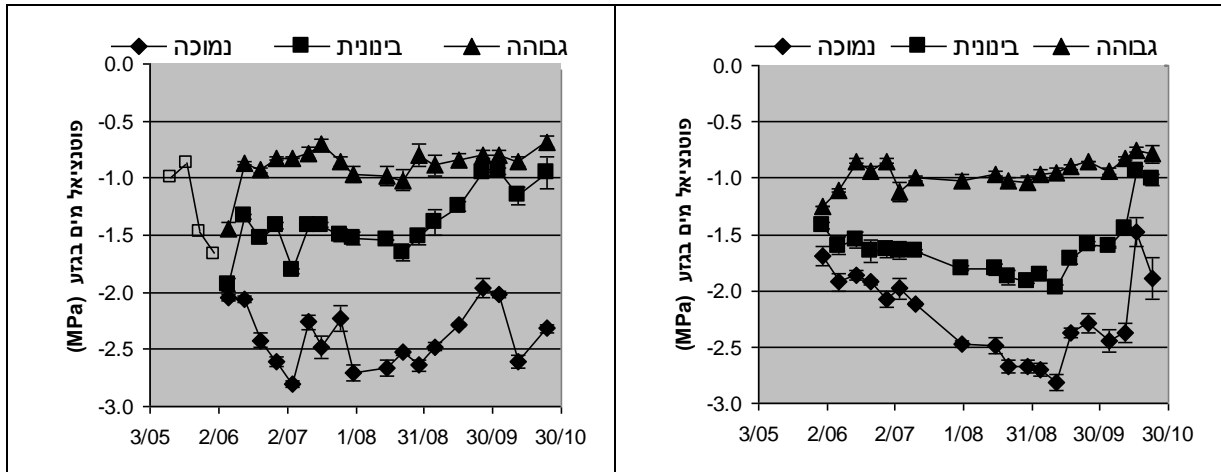
התפלגות גודל הפרי נעה לכיוון פירות קטנים יותר עם הירידה במנת ההשקיה ועם עליית עומס היכול בשני הניסויים (איור 3,4). באורטל לא היה הבדל בהתפלגות בין העומס הנמוך והבינוני בשני טיפולי ההשקיה הגבוהים (איור 3) בעוד שהבדל קל היה במתיתיהו (איור 4).

נמצא מתאם טוב בין פוטנציאל המים בגזע בשיא הקיץ לבין גודל הפרי, הן לגבי משקל פרי ממוצע (תגובה לינארית) והן לגבי אחוז הפרי הגדול מ-70 מ"מ (תגובה סיגמואידית) (איור 5). תגובת גודל הפרי לפוטנציאל המים בגזע הייתה זהה בשני העומסים הנמוכים (איור 5). תגובת גודל הפרי לפוטנציאל המים בגזע הייתה דומה בשני הניסויים (איור 6) למרות המרחק, ההבדלים בהתאדות הבדלים בכנה ובמירווחי הנטיעה.

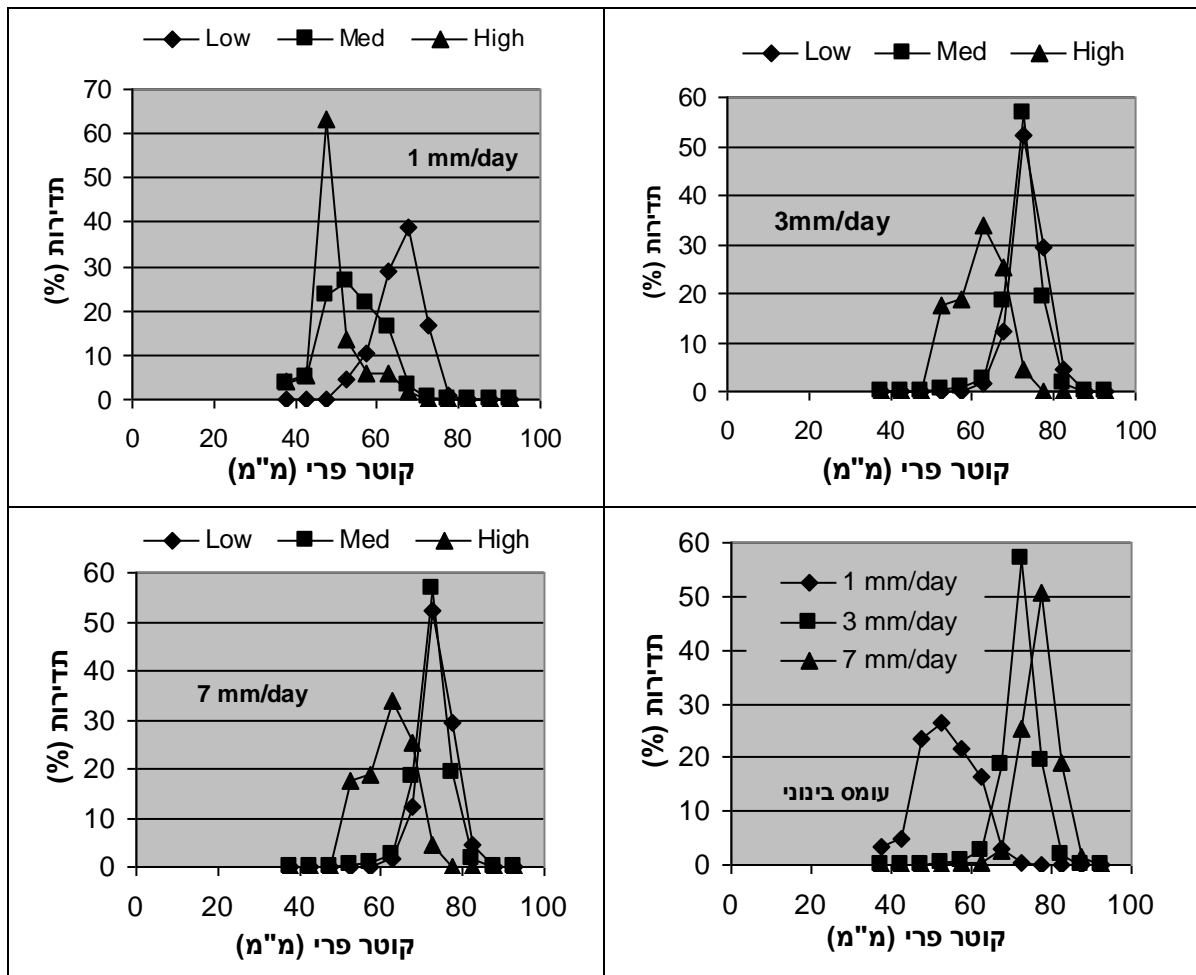
השוונות בין העצים לא אפשרה לחלץ את מנת המים לייצור טון יכול ועל כן חושבה מנת המים לתחזוקת העץ תוך שימוש בערך מקובל בספרות (230 ק"ג מים ל-ק"ג חומר יבש בפרי). עקום התגובה של משקל הפרי למנת המים לתחזוקת העץ באורטל מראה שעומס היכול הגבוה בטיפול ההשקיה הגבוהה חורג מהעקום הכללי (איור 7). הסיבה לכך היא שההשקיה הגבוהה היא מעבר לצריכת העץ (הפרמטר הרלבנטי). השתמשנו בנתוני צריכת מים בפועל שנמדדה בתנאי העדר עקה בעצי זהוב בוגרים באותו מטע בניסוי קודם (4.5 מ"מ/יום) כמנת המים היומית בטיפול ההשקיה הגבוהה באורטל (איור 8). מצב דומה התקבל בחוות מתיתיהו ונראה שגם טיפול ההשקיה הבינונית בעומס הגבוה חורג מהעקום, כנראה בשל הקרקע הרדודה והאבנית. צריכת המים המחושבת מנתוני פולס חום בחוות מתיתיהו ללא עקה הייתה 5 מ"מ/יום עקב מירווח הנטיעה השונה.



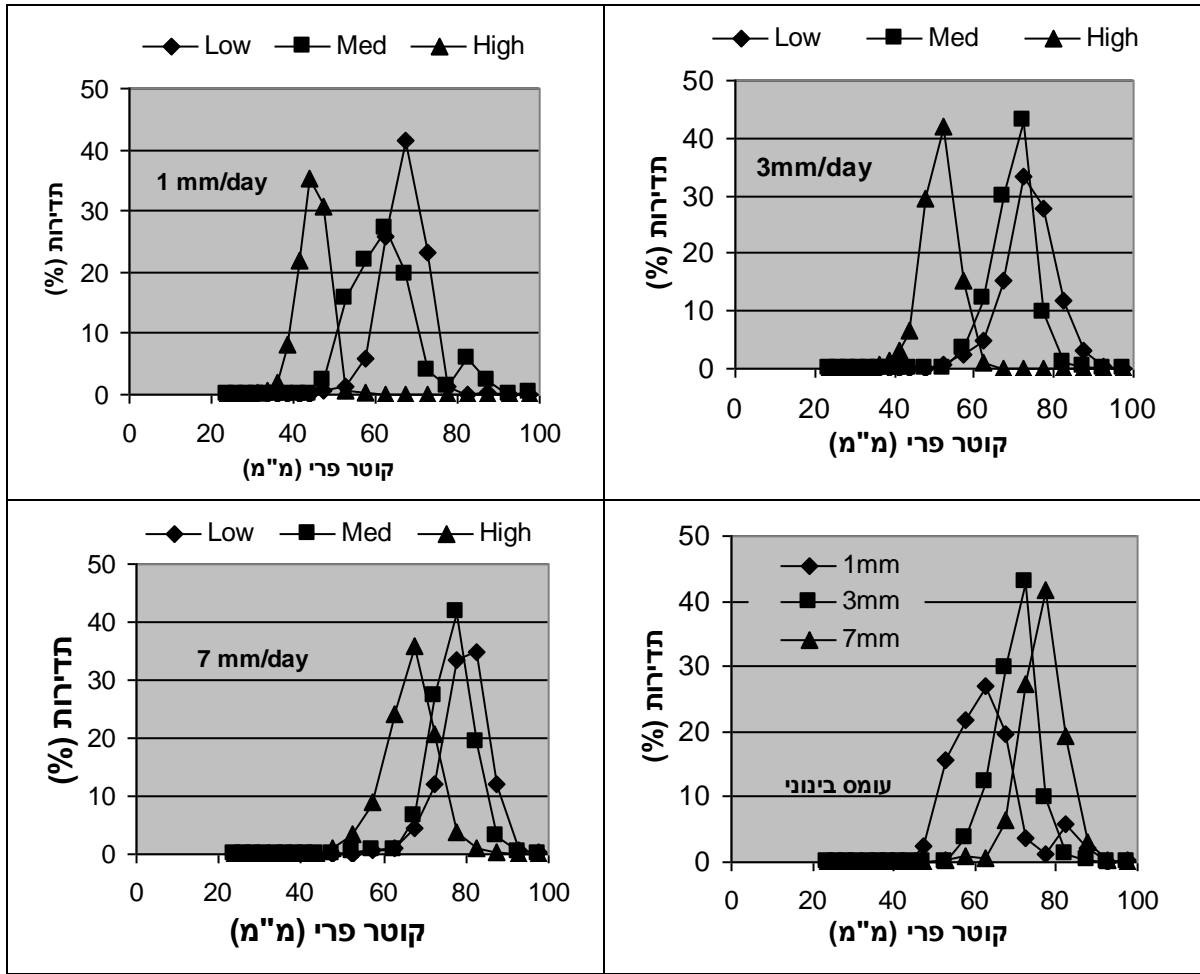
איור 1: מנת המים היומית, המצטברת ומקדם השקיה בטיפולי השקיה השונים באורטל (שמאלי) ובחוות מתיתיהו (ימני).



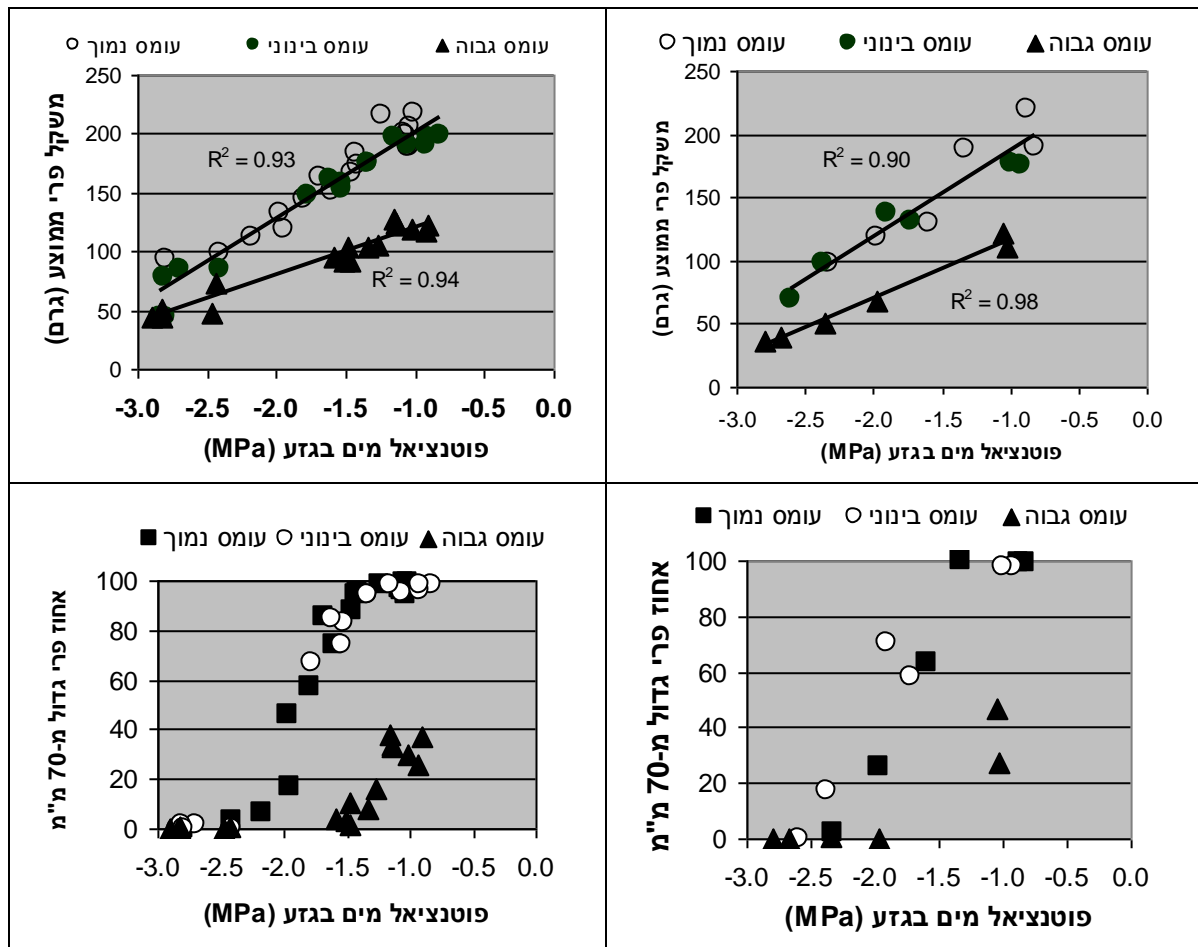
איור 2: פוטנציאל המים בגזע בצהריים בעומס היבול הבינוני בטיפולי השקיה השונים באורטל (שמאלי) ובחות מתיתיהו (ימני).



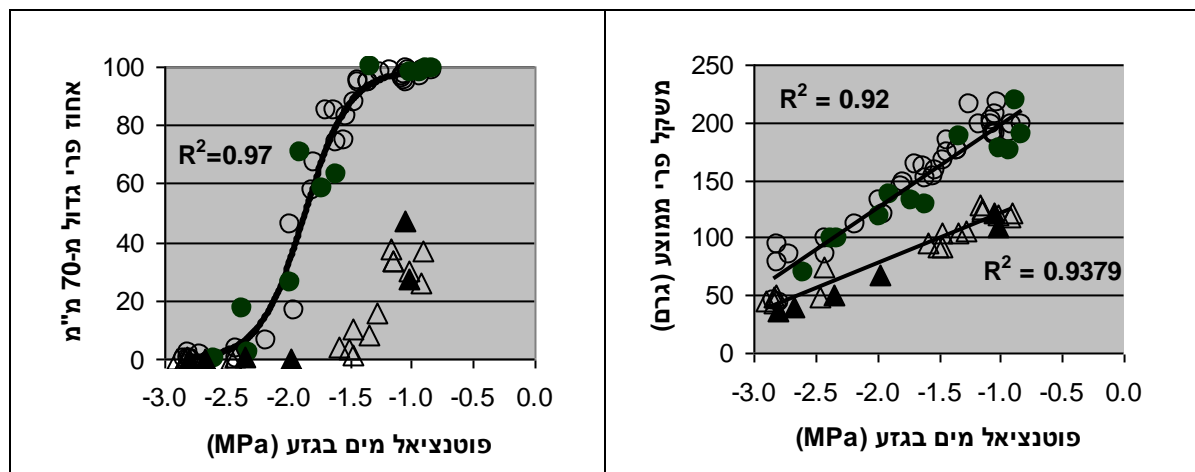
איור 3: התפלגות גודל הפרי (אחוז פירות בכל גודל) בטיפולי השקיה והעומסים השונים באורטל.



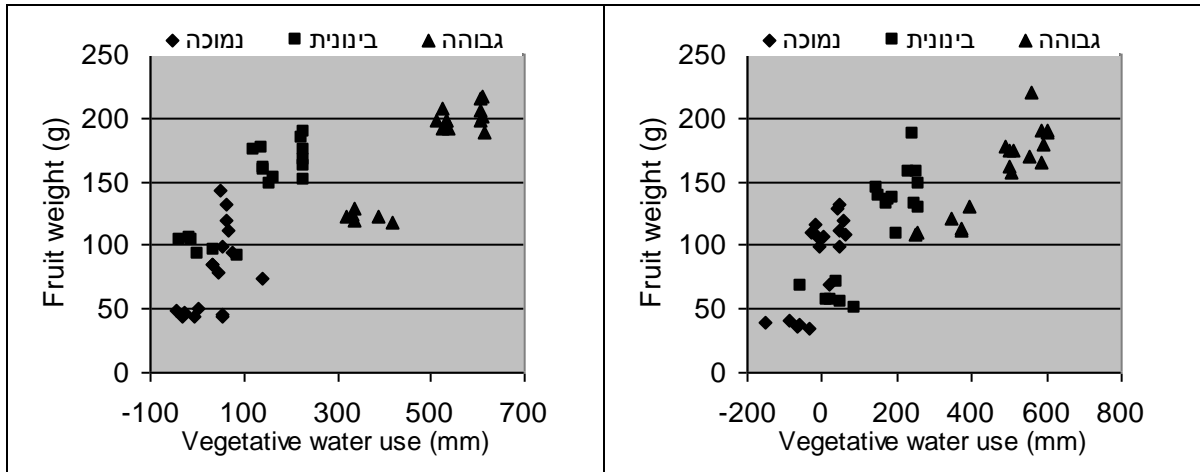
איור 4: התפלגות גודל הפרי (אחוז פירות בכל גודל) בטיפולי ההשקיה והעומסים השונים בחוות מתיתיהו.



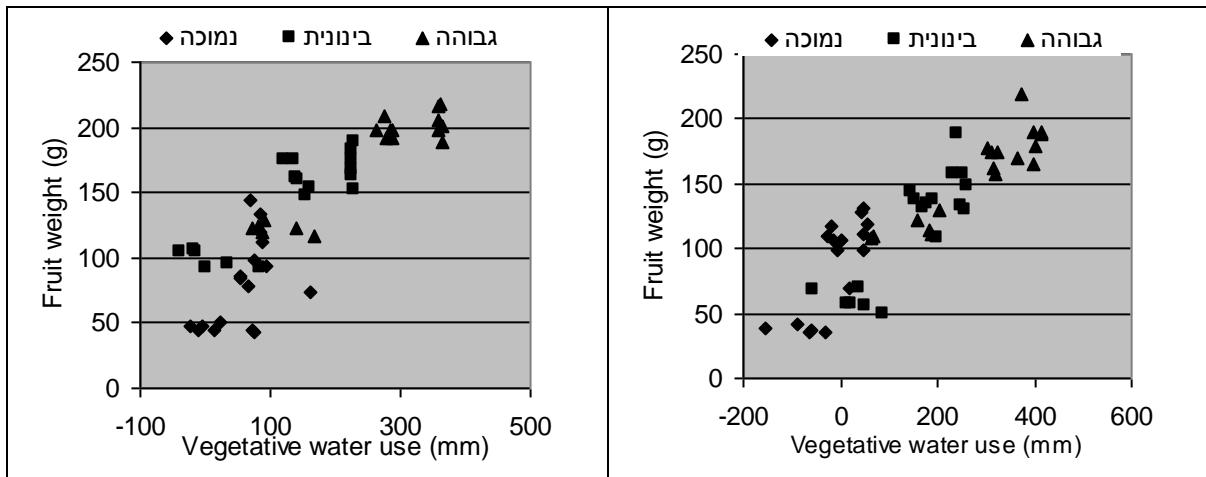
איור 5: השפעת פוטנציאל המים בגזע בצהריים בשיא הקיץ על משקל הפרי הממוצע ואחוז הפרי הגדול מ-70 מ"מ בשלושת עומסי היבול – עיגול פתוח (עמוס נמוך), עיגול סגור (עומס בינוני), משולש מלא (עומס גבוה) באורטל (שמאלי) ובחוות מתיתיהו (ימני).



איור 6: השפעת פוטנציאל המים בגזע בצהריים בשיא הקיץ על משקל הפרי הממוצע ואחוז הפרי הגדול מ-70 מ"מ בשלושת עומסי היבול – עיגול פתוח (עמוס נמוך ובינוני באורטל), עיגול סגור (עומס נמוך ובינוני בחוות מתיתיהו), משולש ריק (עומס גבוה באורטל), משולש מלא (עומס גבוה בחוות מתיתיהו).



**איור 7: השפעת מנת המים לתחזוקת העץ על משקל הפרי הממוצע באורטל (שמאלי) ובחות מתיתיהו (ימני). בחישוב הינחנו שמנת ההשקיה שווה לצריכת המים.**



**איור 8: השפעת מנת המים לתחזוקת העץ על משקל הפרי הממוצע באורטל (שמאלי) ובחות מתיתיהו (ימני). השתמשנו בצריכת המים של תפוח זהוב בוגר מנתוני פולס חום כצריכת המים בטיפול ההשקיה הגבוהה.**

**דיון** – עקב השונות הגדולה בנתונים וצורת העקום לא הצלחנו לחלץ את מנת המים ליצור טון חומר יבש בפרי. כיוון שלא מדובר במודל מכניסטי קשה להתאים עקום המתאר בצורה מדויקת את דגם התנהגות גודל הפרי בהשפעת מנת המים לתחזוקת העץ. לפיכך, בעונה הקרובה נחלץ את הפרמטר הנ״ל בניסוי עציצים בו תהינה מנות מים בטווח רחב ועומסי יבול בטווח רחב. בניסוי העציצים צריכת המים תתקבל ע״י שקילה. בסוף הניסוי תבוצע שקילה של אברי העץ השונים – נוף, פרי ושרשים ויחושב אחוז החומר היבש. מנתונים אלו ניתן יהיה לחשב את מנת המים לייצור טון חומר יבש של פרי. על מנת להעריך את צריכת המים בפועל בטיפולים השונים בניסוי השדה נתקין מערכות למדידת טרנספירציה (Granier) ולצורך זה נצרף למחקר את שבתאי כהן ממנהל המחקר החקלאי. בנוסף, נבצע מדידה של גודל הנוף במטעים שמניסוי 2006 ובמטע של הניסוי ב-2007 על מנת להעריך את צריכת המים בניסויי 2006 – כך נוכל להשתמש בנתוני 2006. כיוון שטיפולי ההשקיה



והעומס משפיעים על אחוז החומר היבש נבצע מדידה של אחוז החומר היבש בפרי (בעונת 2006 השתמשנו בנתוני אחוז החומר היבש מניסוי 2005).

בעונת 2007 נבצע ניסוי אחד בהיקף גדול שיכלול 4 טיפולי השקיה (1, 2, 3.5 ו-7 מ"מ/יום) ובכל טיפול יהיו חמישה עומסי יבול (25, 50, 150, 400 וכ-1100 ללא דילול). בחירת הטיפולים נעשתה על מנת:

1. לקבל מספיק נקודות באזור מקסימום מנת מים לתחזוקת העץ ופריסה אחידה של נקודות לאורך כל טווח מנות המים לתחזוקת העץ; 2. לקבל אחידות בכל עומס (בעונה הנוכחית העומס הגבוה היה ללא דילול והיה וריאבילי). דילול מדויק עד 400 פירות לעץ יפתור בעיה זו.

## שאלות מנחות

1. מטרות המחקר לתקופת הדו"ח – לבחון אפשרות ישום המודל האפרטיבי להערכת מנת ההשקיה העונתית במטעים מסחריים של תפוח; לשנות את המודל כך שהמשתנה הבלתי תלוי יהיה מנת המים לתחזוקת העץ.
2. עיקרי הניסויים והתוצאות – נערכו שני ניסויים זהים בגליל (חוות מתיתיהו) ובגולן (אורטל). בניסויים יצרנו (בדיעבד) טווח רחב של מנות מים לתחזוקת העץ. נמצא מתאם טוב בין מצב המים בעץ לגודל הפרי והמתאם היה זהה בשני הניסויים. התגלו קשיים הנובעים מדליפת מים בטיפול ההשקיה הגבוהה ומחוסר יכולת לחלץ את מנת המים ליצור טון חומר יבש של פרי.
3. המסקנות המדעיות – קשה להסיק מסקנות מדעיות בשלב זה.
4. הבעיות שנותרו לפתרון – 1. הערכת צריכת המים ליצור טון חומר יבש של פרי – יבוצע ניסוי עציצים מבוקר; 2. הערכת צריכת המים בפועל – תבוצע מדידת טרנספירציה בשיטת Granier. תבוצע מדידה של חדירת קרינה לנוף בניסויי 2006 ו-2007 על מנת להעריך צריכת המים בפועל בניסויי 2006, דבר שיאפשר שימוש בנתוני 2006.
5. הפצת הידע – טרם נעשתה הפצה של הידע.
6. פרסום הדו"ח – לא מוגבל.