

**מחלת קיפול עלים בכרם- אפידמיולוגיה, מניעת תנועת
הווקטור (*planococcus ficus*) ויצירת מודל התפשטות
ראשוני בשיטות גיאוסטטיסטיות**

**עבודת גמר מוגשת לפקולטה למדעי החקלאות, המזון
ואיכות הסביבה של האוניברסיטה העברית בירושלים
לשם קבלת תואר "מוסמך למדעי החקלאות"**

תמר סוקולסקי

ניסן תשע"ג \מרץ 2013

רחובות

**מחלת קיפול עלים בכרם- אפידמיולוגיה, מניעת תנועת
הווקטור (*planococcus ficus*) ויצירת מודל התפשטות
ראשוני בשיטות גיאוסטטיסטיות**

**עבודת גמר מוגשת לפקולטה למדעי החקלאות, המזון
ואיכות הסביבה של האוניברסיטה העברית בירושלים
לשם קבלת תואר "מוסמך למדעי החקלאות"**

תמר סוקולסקי

ניסן תשע"ג \מרץ 2013

רחובות

עבודה זו נעשתה בהדרכתן של:

ד"ר יפית כהן, המכון להנדסה חקלאית, הקריה למחקר חקלאי מכון וולקני, בית דגן.

ד"ר רקפת שרון, המעבדה לאקולוגיית מזיקים, מו"פ צפון.

הבעת תודה

בראש ובראשונה אני מעוניינת להביע תודה לשלושת המנחות שלי הרשמיות ולא הרשמיות:
ד"ר תרצה זהבי משה"מ, ד"ר רקפת שרון ממו"פ צפון וד"ר יפית כהן- על סבלנות אין קץ, על כך
שחשפתן אותי לעולמכן ולימדתן אותי רבות מקצועית ואישית- אין ספק שזכיתי... **תודה**.

לאנשי חוות המטעים- ד"ר ליאורה שאלתיאל הרפז- שהביאה אותי לראשונה לחוות המטעים, ריקה
קדושים- שהודיעה לי כי הגיע זמני לעשות תואר שני, כרמית סופר ארד ומאור תומר- על אלפי קילופי
גזע מפרכים, סיפורים ארוכים ומעודדים, אריאל קופרברג- על הכל !!!, צ'ק נוריס, רונן ושרון- על
שעות ביניקולאר מפרכות, גלית רדל, שוש פלס ומנהל חוות המטעים, אריק וולך- על ארוחות הבוקר
בימי החורף ועל ההרגשה שחוות המטעים היא ללא ספק משפחה.

לאנשי המכון להנדסה חקלאית- נתיב, איתי, תימאה, וויקטור- על שאירחתם אותי באופן מושלם
בכל פעם שהגעתי ונעלמתי כרוח סערה.
לאיתן- המון תודה על הסבלנות להמשיך ולהסביר ועל עבודת המחשב המאומצת.

לנציג שה"מ והרבה יותר מזה- ערן הרכבי

לאנשי הביולוגיה המולקולארית- ד"ר מוניר מואסי, ד"ר גל ספיר וד"ר עומר קריין (מו"פ צפון)- על
העבודה המולקולארית והחיבור החשוב בין ממצאי השטח למעבדה.

לכורמים- דייגו (אלרום), שאדי (שיפון), בוראן (עין זיוון), עידו (מרום גולן), ישי (יונתן), אברהם (רמת
מגשימים), זכי (מלכיה), דוריס (יפתח), יוסי ורון (גשור), נחום (מירון), סילביו (חולדה).

תודה רבה שהכנסתם אותי ל**ביתכם**- הכרם ושיתפתם פעולה עם כל גחמות הניסוי ועורכותיו....

ליקבים- יקבי "רמת הגולן" ו"הרי גליל" (צדוק, נועה ופול), יקב דלתון (נחום), יקב תבור (מיכל), יקב
חולדה- תודה על שיתוף הפעולה המלא ועל התמיכה (זה בהחלט לא ברור מאליו).

לחברת "מכתשים"- רפי, ליאת, ניצן וגדי על נדיפיות "בלבול הזכרים" והעזרה הרבה.

למשפחתי היקרה ולחברי הקרובים- פשוט, תודה.

מחקר זה נערך בתמיכת המדען הראשי של משרד החקלאות, ומועצת גפן היין.

תקציר

מחלת קיפול העלים הינה אחת מהמחלות הוויראליות הנפוצות ביותר בגידול הגפן ברחבי העולם וקשורה לנוכחות הווירוס (GLRaV) grapevine leafroll- associated viruses ובעיקר GLRaV-3. בגפנים חולות נמצאה פגיעה בעוצמת הצימוח ובהתפתחות הגפן, ירידה ניכרת בקצב הצטברות הסוכר, תכולת הצבע וחומרי הארומה וכתוצאה מכך ירידה באיכות היין המיוצר. כיום מהווה מחלת קיפול העלים איום מרכזי על תעשיית יינות האיכות ברחבי העולם. אין בנמצא טיפול נגד הווירוס ועל-כן לא ניתן להבריא גפן חולה. גורם ראשוני בהפצת המחלה בכרמים ברחבי העולם הינו חומר ריבוי נגוע בוורוס. נמצא כי נגיעות שניוניות או התפשטות הנגיעות בכרם נובעת ממינים שונים של כנימות קמחיות (*Homoptera: Pseudococcidae*) וכנימות מגן רכות (*Homoptera: Coccidae*) אחדות אשר רוכשות ומעבירות את המחלה באופן חצי מתמיד. קמחית הגפן, *planococcus ficus* (Signoret), הנפוצה בכרמי ישראל, נחשבת כווקטור העיקרי של GLRaV-3. הממשק הנפוץ להתמודדות עם התפשטות המחלה בישראל הינו יישום חומרי הדברה סיסטמיים כנגד הכנימה. שיטת ההדברה הנוכחית מפחיתה את אוכלוסיית המזיק אולם אינה מספיקה כיוון שגם אוכלוסייה ברמה נמוכה עלולה לגרום להתפשטות המחלה. שיטות מרחביות-עיתיות הינן כלי יעיל בהבנת האפידמיולוגיה של מחלות צמחים ויכולות להוות בסיס לפיתוח ממשק התמודדות עמן. זוהו שלושה דגמי התפשטות מרחביים של מחלת קיפול העלים במרחב: (1) נגיעות אקראיות, (2) נגיעות המתפשטות מוקדית לגפנים סמוכות (3) נגיעות המתרכזות בדפנות הכרם. השתנות המחלה בזמן תוארה במחקרים קודמים כעקומת S. בשלבים הראשונים קצב ההתנגעות איטי, לאחר מכן ישנה עליה לינארית ולבסוף מגיע שלב הרוויה.

בישראל, חלק ניכר מהנטיעות בשנות ה-90 היה מחומר ריבוי נגוע. החל משנת 2009 הנטיעות של כרמים צעירים הינם מחומר מאובחן כנקי. השאלה היא האם וכיצד ניתן לשמור על כרמים אלו נקיים מהמחלה?

מטרת העבודה הנוכחית הייתה להתמודד בעזרת כלים מרחביים-עתיים עם שאלה זו משלושה היבטים שונים: (1) מקור וגורמים לחדירת המחלה אל הכרם (2) אפיון התפשטות המחלה בתוך הכרם. (3) הגדרת הקשר בין הדברת הקמחית להתפשטות המחלה בכרמים. התשובות שנתקבלו שולבו ליצירת תהליך ממוחשב המדמה הדברה המשתנה במרחב ובזמן. באמצעות הדמיה זו נבחנו דרכי ההתמודדות המתאימות במרחב ובזמן.

זיהוי המקור והגורמים לחדירת המחלה בכרמים צעירים התבצע בשישה כרמים שניטעו מחומר ריבוי שאובחן כנקי מווירוס. בכרמים אלו נבדקה תעופת זחלנים פאסיבית באמצעות לוחיות דבק אשר מוקמו בתוך ובשולי כל כרם. בכל הכרמים נלכדו זחלנים וניתן לקשר את מיקום הלכידה למשטר הרוחות ולקירבה לכרמים נגועים. בכל הכרמים הצעירים נמצאו קמחיות שהתבססו על הגפנים אך ברמות שונות וללא עקביות בין שנות המחקר. מיפוי של גפנים בעלות תסמיני מחלת קיפול העלים בכל שנת מחקרנותח באופן מרחבי כך שניתן דגש למיקום הנגיעות בהתייחס לסמיכות הכרם לסביבות שונות. נמצא כי אחוז הגפנים הנגועות הגבוה ביותר מצוי בדפנות הכרם הסמוכות לכרמים ותיקים. ממצאי פרק

זה אפשרו מעקב אחר תהליך החדירה הראשונית של המחלה לכרמים חדשים שבעקבותיה מתחילה התפשטות משנית של המחלה בתוך הכרם.

דינאמיקת התפשטות המחלה בתוך הכרם נבדקה בארבעה כרמים בוגרים ונגועים. בכרמים אלו תועד, במעקב רב שנתי, מיקומן של גפנים נגועות באמצעות סביבת העבודה של ArcGIS. הנתונים אשר נאספו שימשו כבסיס מידע לצורך מציאת דגם התפשטות המחלה במרחב ובזמן. **דגם ההתפשטות במרחב** אותר ע"י חישוב בכל שנת מעקב (t_0) של הסיכון להינגעות גפנים בריאות בשנה העוקבת (t_1). זאת כפונקציה של מיקומן יחסית לגפן נגועה ב t_0 . נמצא כי הגפנים בעלות סיכוי ההינגעות הגבוה ביותר הן הצמודות לגפן הנגועה. גפנים מקבילות לגפן הנגועה בשורה הסמוכה וגפנים במרחק גפן אחת באותה שורה נראות בסיכון מופחת אך ללא מובהקות סטטיסטית. סיכוי ההינגעות הנמוך ביותר במובהק הינו עבור שאר הגפנים בחלקת הכרם. מכאן שדגם הנגיעות המרכזי מצוי ברדיוס של כ 3 מטרים מגפנים נגועות, דגם מוקדי זה תואם את תנועת הווקטור- כנימה קמחית. **התפשטות המחלה בזמן** נבחנה על פי תוספת הנגיעות בשנים עוקבות (t_1-t_0) לאורך השנים. נמצאה השפעה של שיעור הנגיעות התחילית (נגיעות בשנה t_0) על שיעור ההדבקות החדשות. החל מנגיעות תחילית של 18% קצב התפשטות המחלה כפול מהקצב ברמות הנגיעות הנמוכות יותר. **מעבר לכך כל טווח נגיעות תחילית אופין בדגם שונה של השתנות הנגיעות במרחב**. נמצא כי בשיעור נגיעות נמוך המאפיין את השנים הראשונות לחדירת המחלה אל הכרם, תוספת הגפנים הנגועות מתאפיינת ברובה בדגם ההתפשטות אקראי. ניתן לייחס נגיעות זו לחדירה מכרמים סמוכים כפי שנמצא בעבודה זו בכרמים חדשים. כאשר שיעור הנגיעות בכרם הינו בינוני, דגם הנגיעות העיקרי הינו מוקדי. הגפנים אשר נמצאות בסיכון גבוה להינגעות הינן גפנים בריאות הממוקמות ברדיוס של שלושה מטרים מגפנים נגועות. במקביל להתפשטות המוקדית ממשיכה התפשטות אקראית הנובעת מסביבת הכרם. כאשר שיעור הנגיעות בחלקת הכרם גבוה, דגם המחלה שב להיות אקראי ולכלל הגפנים הבריאות בכרם סיכויי ההינגעות דומים. **הבנת דינמיקת ההתפשטות במרחב ובזמן מאפשרת התאמת טיפול משתנה במרחב ובזמן אשר יאט את התפשטות המחלה.** אך עד היום לא נבחנה כמותית השפעת הדברת הקמחית על התפשטות המחלה והאם ניתן באמצעותה לשמור על רמת נגיעות נמוכה לאורך זמן.

הערה [a1]: מתאים כמשפט לקראת סיכום התקציר. לא כאן

הערה [a2]: לא מתאים לתקציר

הגדרת הקשר בין הדברת הקמחית להתפשטות המחלה נלמדה בחלקות ניסוי בעלות שיעור נגיעות בינוני פיזור אחיד של המחלה במרחב. ובגודל חלקה אשר איפשר לאתר ולאפיין התפשטות במרחב. בחירת חלקות הניסוי בוצעה באמצעות ניתוח גיאוסטטיסטי לאיתור "מוקדים חמים" (Gi) אשר הושטו מחלקות הניסוי. בניסוי נבחנו טיפולי הדברה שונים כנגד הווקטור, קמחית הגפן (1) ניאוניקוטיןואיד, (2) ניאוניקוטיןואיד + זרחן אורגני + קילוף גזע ("דרסטי"), (3) בלבול זכרים ו (4) בלבול זכרים + קילוף גזע). בכל אחת מחלקות הטיפול נבדקה אוכלוסיית הקמחיות ומופו גפנים בעלות תסמיני מחלת קיפול העלים בכל שנת מחקר. נימצא כי בטיפולים בהם הדברת הקמחית הייתה יעילה יותר (בלבול רב שנתי)- התפשטות המחלה הייתה קטנה יותר. לימוד דינאמיקת התפשטות המחלה בעבודה זו אפשר להגדיר

ולכמת לאורך זמן אילו גפנים הן בעלות הסיכויים הגבוהים ביותר להינגעות במחלה. בנוסף, נמצא כי הדברת ווקטור יעילה אכן מצמצמת את התפשטות המחלה.

תהליך ממוחשב הבוחן את התועלת בהדברה משתנה במרחב ובזמן התבסס על המידע המרחבי אשר נאסף בכרמים בוגרים ונגועים ובוצע באמצעות תוכנת ArcGIS. במהלך ההדמיה נבחנו ההשלכות של עקירת גפנים או של "טיפול" בגפנים (שניהם וירטואלים). תחילה, נבדקה השפעה מדומה של טיפול רב שנתי (7 שנים) ומתמשך במהלכו "נעקרו" גפנים נגועות ובוצע "טיפול" באחוזי יעילות שונים בגפנים הסמוכות לגפן הנגועה. תוצאות תהליך זה מעידות כי במידה ובכל שנה הייתה מתבצעת עקירה בלבד של הגפנים בעלות התסמינים אחוז הנגיעות בכרם היה מופחת ב 22% אך בכרם היו נשארות 76% מהגפנים מהחלקה המקורית. טיפולי הדברה אשר התמקדו בגפנים הצמודות לעקורות הפחיתה באופן וירטואלי את אחוז הנגיעות בכרם וכתוצאה מכך גם צמצמה את שיעור הגפנים שנעקרו, וכל שטיפולי ההדברה היה יעיל יותר שיעור הגפנים שנעקרו היה נמוך יותר. בשלב השני בוצעה הדמית טיפולים להאטת קצב התפשטות המחלה לאורך שנתיים עוקבות בארבעה טווחי נגיעות תחילית. הדמיה זו התבססה על אחוזי יעילות שנתקבלו בניסויי ההדברה ונבחנו ההשלכות של כל אחד מהטיפולים הבאים ושילובם: 1. עקירת גפנים נגועות. 2. טיפול ממוקד בגפנים סמוכות לגפן נגועה, ביעילות הדומה לטיפול הדרסטי. 3. טיפול בכלל חלקת הכרם, ביעילות הדומה לטיפול "בלבול זכרים". השוואת תוצאות ההדמיה לנתוני המציאות מעידות כי בכל טווחי הנגיעות הפחיתה העקירה את שיעור הנגיעות בשנה העוקבת, אך עם זאת הבדלים אלו נמצאו מובהקים רק בטווחי הנגיעות הבינוניים. לעומת זאת, שילוב כל טיפולי ההדברה (ממוקדים ובכלל חלקת הכרם) עם עקירת הגפנים נגועות הפחית באופן מובהק את שיעור הנגיעות לעומת נתוני האמת בכל טווחי הנגיעות. ולעומת הטיפול של עקירה בלבד ברמות הנגיעות הבינוניות. ניתן לומר כי קיים צורך להתאים בין טיפול ההדברה לרמת הנגיעות בחלקת הכרם כך שאסטרטגיות ההדברה תהיה בהתאמה עם הדגם המרחבי המאפיין את רמת הנגיעות הקיימת.

לסיכום- חדירת המחלה אל הכרמים הצעירים והנקיים הינה בלתי נמנעת זו בשל הקרבה לכרמים ותיקים ונגועים המהווים מקור אילוח. אך עם זאת, ממצאי העבודה הנוכחית מראים כי לטיפול הדברה קפדניים נגד הקמחית תרומה משמעותית בהפחתת הנגיעות. ניתוח דפוסי ההתפשטות מראה שקצב ההינגעות איטי כל זמן ששיעור הגפנים החולות בכרם נמוך. שילוב של עקירה של גפנים נגועות כל זמן שהן בודדות עם טיפולי הדברה יעילים בשילוב עם טיפול ממוקד בסביבת הגפנים הנגועות יוכל לשמור על כרמים בריאים לאורך זמן.

תוכן עינינים

1.....	רשימת קיצורים	.1
2.....	מבוא	.2
2.....	מחלת קיפול העלים	2.1
4.....	מחולל המחלה- GLRaV-3	2.2
4.....	טקסונומיה	2.2.1
5.....	GLRaV-3	2.2.2
5.....	השלכות GLRaV-3 על הגפן- נזקי מחלת קיפול העלים בכרם יין	2.2.3
7.....	תנועת הווירוס בגפן	1.1.1
7.....	המערכת ווירוס- ווקטור	2.3
8.....	הווקטור, קמחית הגפן	2.3.1
10.....	העברת הווירוס ע"י קמחית הגפן	2.3.2
10.....	דרכי ההתמודדות עם מחלת קיפול העלים הנהוגות היום	2.4
10.....	דרכים להדברת הווקטור	2.4.1
12.....	דרכים למניעת חדירת המחלה	2.4.2
13.....	דרכים להאטת התפשטות המחלה	2.4.3
14.....	ניתוח תופעות במרחב ובזמן	2.5
14.....	שימוש בגיאוסטטיסטיקה לניתוח של מחלות המועברות ע"י מזיקים	2.5.1
16.....	ניתוח מרחבי של מחלת קיפול העלים	2.5.2
17.....	פערי הידע	2.6
19.....	שיטות וחומרים	.3
19.....	שיטות כלליות	3.1
19.....	קביעת גודל אוכלוסיית הקמחיות על הגפנים	3.1.1
19.....	ניטור נוכחות אוכלוסיית זכרים של הכנימה הקמחית	3.1.2
19.....	איתור ומיפוי גפנים נגועות בוירוס	3.1.3
20.....	יצירת מפות	3.1.4
20.....	זיהוי מקור וגורמים להופעת המחלה בכרמים צעירים	3.2
20.....	אתרי הניסוי	3.2.1
20.....	ניטור תעופת הזחלנים	3.2.2
21.....	ניטור אוכלוסיית הקמחיות על הגפן ותעופת זכרים	3.2.3
22.....	עיבוד נתונים וניתוח מרחבי של נגיעות כפונקציה של קירבה לכרמים	3.2.4
23.....	חקר הדינאמיקה של התפשטות המחלה בתוך הכרם	3.3
23.....	אתרי הניסוי	3.3.1
23.....	התפשטות מחלת קיפול העלים במרחב	3.3.2
24.....	התפשטות מחלת קיפול העלים בזמן	3.3.3

24.....	התפשטות מחלת קיפול העלים- השפעת הזמן על הדגמים המרחביים	3.3.4
25.....	הגדרת הקשר בין הדברת הקמחית להתפשטות המחלה בכרמים בוגרים	3.4
25.....	מבנה הניסויים	3.4.1
25.....	ניסוי לבחינת השפעת שיטות הדברה שונות על אוכלוסיית הכנימה הקמחית	3.4.2
25.....	ניסוי לבחינת השפעת שיטות הדברה שונות על התפשטות המחלה בכרמים בוגרים	3.4.3
26.....	ניטור אוכלוסיית קמחיות על הגפן ותעופת זכרים	3.4.4
26.....	קביעת קצב ודגם התפשטות מחלת קיפול העלים	3.4.5
	פיתוח הדמיה ראשונית לבחינת התועלת בהדברה ממוקדת של הקמחית על צמצום התפשטות המחלה	3.5
27.....	הדמיית טיפול הדברה רב שנתי ביעילות משתנה	3.5.1
28.....	הדמיית טיפולי הדברה כתלות בנגיעות התחילית ודגם הדברה	3.5.2
28.....	שיטות ניתוח סטטיסטי	3.6
30.....	תוצאות	4
30.....	זיהוי מקור וגורמים להופעת המחלה בכרמים צעירים	4.1
30.....	תעופת זחלנים בכרמים הצעירים	4.1.1
32.....	אוכלוסיית נקבות, זחלנים ושקי ביצים	4.1.2
33.....	התפשטות מחלת קיפול העלים בכרמים הצעירים	4.1.3
34.....	אוכלוסיית זכרים- בתוך ומחוץ לחלקות הניסוי	4.1.4
34.....	אוכלוסיית זכרים- בתוך חלקות הכרם	4.1.5
35.....	סיכום הממצאים בכרמים חדשים	4.1.6
36.....	אפיון דינאמיקת התפשטות המחלה בתוך הכרם	4.2
36.....	התפשטות מחלת קיפול העלים במרחב	4.2.1
37.....	התפשטות מחלת קיפול העלים בזמן	4.2.2
38.....	השתנות התפשטות מחלת קיפול העלים במרחב ובזמן	4.2.3
39.....	הגדרת הקשר בין הדברת הקמחית להתפשטות המחלה בכרמים בוגרים	4.3
40.....	השפעת שיטות הדברה שונות על אוכלוסיית הכנימה הקמחית	4.3.1
41.....	השפעת שיטות הדברה שונות על התפשטות מחלת קיפול העלים בכרמים בוגרים	4.3.2
45.....	סיכום הממצאים	4.3.3
46.....	התועלת בהדברה ממוקדת של קמחיות על צמצום התפשטות המחלה	4.4
46.....	הדמיית טיפול הדברה רב שנתי ביעילות משתנה	4.4.1
47.....	הדמיית טיפולי הדברה כתלות בנגיעות התחילית ודגם ההדברה	4.4.2
49.....	דיון	5
50.....	זיהוי מקור וגורמים להופעת המחלה בכרמים צעירים	5.1
52.....	דינאמיקת התפשטות המחלה בתוך הכרם	5.2
52.....	התפשטות המחלה במרחב בתוך הכרם	5.2.1
53.....	התפשטות המחלה בזמן בתוך הכרם	5.2.2

54	הקשר בין הדברת הקמחית להתפשטות המחלה בשיטות הדברה שונות בכרמים בוגרים	5.3
55	הקשר בין רמת התסמינים לנוכחות הווקטור	5.3.1
56	פיתוח הדמיה ראשונית לבחינת יעילות הדברה ממוקדת לצמצום התפשטות המחלה	5.4
57	סיכום ומסקנות	.6
59	רשימת ספרות	.7
67	נספחים	.8

1. רשימת קיצורים

מ"ג- מיליגרם, יחידת מידה של מסה (mg).

מיקרוגרם – יחידת מידה של מסה (μg).

ממ"ג- מערכת מידע גיאוגרפי

סמ"ק- סנטימטר מעוקב, יחידת נפח (cm^3).

רמג"ש- רמת מגשימים (יישוב).

Geographical Information System (GIS) ArcGIS, מערכת מידע גיאוגרפית.

Brix – יחידת מדידה לריכוז הסוכר בתמיסה מימית ($^{\circ}\text{Bx}$).

$^{\circ}\text{C}$ – מעלות צלזיוס, יחידה למדידת טמפרטורה.

Differential-Global Positioning System -D-GPS, מערכת ניווט דיפרנציאלית.

ET-GeoTools - סרגל כלים חיצוני המשמש ככלי תומך בסביבת ממ"ג.

Grape leafroll associated viruses -GLRaV-1-9, ווירוסי קיפול העלים (ממוספרים מ-1 -9).

Grape leafroll disease -GLD, מחלת קיפול העלים בכרם.

Net Present Value-NPV, ערך נוכחי מקי- הסך המהוון של סדרה של זרמי מזומנים עתידיים, הוצאות והכנסות.

Polymerase Chain Reaction -PCR, תגובת שרשרת של פולימארז.

t_0 -נקודת זמן ההתחלה.

t_1 - השנה העוקבת לנקודת זמן ההתחלה.

Vertical Shoot Position -VSP, שילוב שריגים אנכי.

2. מבוא

2.1 מחלת קיפול העלים

מחלת קיפול העלים (Grapevine leafroll disease) נחשבת לאחת המחלות הוויראליות המרכזיות והנפוצות ביותר בגידול הגפן. המחלה גורמת להפחתה בכמות הפרי ובאיכותו, לירידה ניכרת בקצב הצטברות הסוכר ובאיכות וצבע היין המיוצר (Over de Linden & Chamberlain, 1970). מחלה זו, מיוחסת למספר ווירוסים אשר בודדו מגפנים נגועות וקיבלו את השם Grapevine leafroll associated virus (GLRaV). מתוך ווירוסים אלו, GLRaV-3 ו-GLRaV-1 הם השכיחים ביותר בכרמים בארץ ובעולם. גורם ראשוני בהפצת המחלה בכרמים הינו חומר ריבוי נגוע בוורוס בעוד נגיעות שניונית נובעת ממינים שונים של כנימות המשמשות כווקטורים יעילים למחלה (Abou Ghanem-Sabanadzovic et al., 2010). כיום אין בנמצא טיפול נגד הווירוס ועל-כן גפנים נגועות אינן מבריאות והפכות למקור מידבק והתפשטות של המחלה.

השלכות כלכליות - קיימת ספרות רבה המפרטת את השפעת מחלת קיפול העלים על איכות הפרי ולעומת זאת ספרות מצומצמת המתייחסת להשלכותיה הכלכליות. הסבר אפשרי לתופעה זו נובע מכך שעוצמת נזקי המחלה משתנה בהתאם לגורמים רבים (זנים, מיקום גיאוגרפי, גיל הגפן הנגועה הממשק האגרוטכני ותנאי האקלים) המאפשרים מתן אומדן כלכלי לתרחישים נקודתיים ולא כלליים. בנוסף הנזק הכלכלי מותנה בדרישת השוק ליינות איכות ובפער בתשלום היקבים עבור איכויות שונות של יבול. מרבית המחקרים אשר עסקו בהערכות כלכליות ביססו את חישוביהם על מספר תרחישים אפשריים של אחוז הנגיעות במחלה בכרם לעומת ההכנסות הצפויות מכרם ללא נגיעות. דוגמא לכך הוא מחקר שנערך בכרמי "קברנה סוביניון" בדרום אפריקה (Freeborough, 2006). במחקר זה חושב פרק הזמן הדרוש להחזר ההשקעה של נטיעת 10 דונם כרם בתנאי נגיעות שונים וללא נגיעות כלל. בעבודתם נמצא כי כרם בעל רווחים מקסימליים של כמות ואיכות, ללא נגיעות, יגיע לשנת איזון בין הוצאות להכנסות לאחר 12 שנה ממועד הנטיעה, כמובן שככל שאחוז הנגיעות עולה הרווחים מהכרם יורדים באופן משמעותי ופרק הזמן הדרוש לרווחיותו עולה. על פי תנאי התחשיב הכלכלי במחקר זה, כרם בעל שיעור של 50% נגיעות לא יהיה ריווחי לעולם.

Atallah וחבריו (2012 b) חישובו במחקרם את ההשלכות הכלכליות של מחלת קיפול העלים בכרמי "קברנה פרנק" באזור ניו יורק, ארה"ב. לצורך אומדן הנזק נעשה חישוב סך ההוצאות וההכנסות העתידיים ("ערך נוכחי נקי", NPV - Net Present Value), לאורך 25 שנים ממועד הנטיעה באחוזי נגיעות שונים. ההשלכות הכלכליות של נגיעות במחלה נעו בין \$25,000 ל 10 דונם (עבור כרם בו הפחתת כמות היבול היא 30% וללא התייחסות לפגיעה באיכות היבול) לבין \$40,000 ל 10 דונם (עבור כרם בו ישנה פגיעה של 50% בכמות היבול וקנס של 10% עבור איכות פחותה).

המחקר העדכני ביותר שנמצא בסקירה זו הוא של קבוצת מחקר מגליציה, ספרד (Pesqueira et al., 2012). בעבודה זו נערך תחשיב כלכלי לנזקים הנגרמים בזן האיכות הלבן "אלברינו" כתוצאה מנגיעות ב-GLRaV3. במקרה זה נעשה שימוש בנתונים של שתי חלקות בעלות אחוז נגיעות חלקי (33%, 23%). בחלקות אלו, הווירוס לא פגע בכמות היבול אך דחה את ההבשלה וכתוצאה הגפנים הנגועות לא הגיעו לרמת הסוכר הנדרשת (23.4%). אובדן ההכנסה אשר חושב בכרמים אלו נע בין 20-26%. עורכי המחקר ציינו כי תנאי האקלים השוררים באזור לא מאפשרים את דחיית בציר הכרמים עד לעלייה נוספת ברמת הסוכר בשל חשש לגשם ולריקבונות.

בישראל לא נערך עד כה מחקר כלכלי מדעי באשר להשלכות מחלת קיפול העלים. עם זאת בבדיקה שנערכה ב"יקבי רמת הגולן" הוערך שיעור הפגיעה בהפסד של למעלה מ-700 ₪ לדונם לשנה. בישראל כ-20 אלף דונם כרמים המיועדים ליין איכותי, כך שסך הנזק מוערך בכ-14 מיליון ₪. בנוסף לכך, קיים נזק עקיף של אובדן שוק ליין איכות אשר אינו ניתן לכימות (שלמה צדוק, "יקבי רמת הגולן"- תקשורת אישית).

תסמינים- תסמיני מחלת קיפול העלים משתנים בין זנים אדומים ללבנים והם ברורים יותר בתקופת הסתיו. בזני יין אדומים, העלים מאדימים בעוד העורקים נותרים ירוקים ושולי העלים מתגלגלים מטה, מכאן נובע שם המחלה (איור 1 א). לעומת זאת, בזנים לבנים התסמינים מתבטאים בכלורוזה עדינה וקיפול קצוות העלים (Krake, 1993) (איור 1 ב). תסמינים אלו תוארו בגרמניה כבר בשנת 1936 ובתחילה יוחסו למספר גורמים כגון: פגיעה מכאנית, פטריית בוטריטיס ומחסור במינרלים (Scheu, 1936). אך עם זאת כבר אז הבחין החוקר כי תסמינים אלו עוברים בהרכבת גפן נגועה לגפן בריאה וכי כנות אמריקאיות אינן מראות את התסמינים המדוברים. במקביל לכך, Herschler (1936) מתאר תסמינים דומים המאפיינים מחסור זרחן בעלים על אף נוכחות מספקת של זרחן בקרקע. עם זאת, רק בשנת 1959 מופיע פרסום ראשון המבוסס על ממצאי מחקרים קודמים אשר מייחס את המחלה לוורוס קיפול העלים (Goheen et al., 1958).



איור 1- תסמיני מחלת קיפול העלים בזני יין אדומים. העלים מאדימים בעוד העורקים נותרים ירוקים או מצהיבים ושולי העלים מתקפלים כלפי מטה (צילום: תמר סוקולסקי).

2.2 מחולל המחלה- GLRaV-3

2.2.1 טקסונומיה

ווירוס קיפול העלים משתייך למשפחת *Closteroviridae*. משפחה זו כוללת וירוסים בעלי חלקיקים חוטיים באורך $1,250-2,200$ nm וחומצות גרעין מסוג רנ"א חד- גדילי חיובי בגודל של $15.5-19.3$ kb (Martelli et al., 2002). ניתן לסווג משפחה זו על פי מאפיינים מולקולריים וביולוגיים לשלושה סוגי וירוסים: *Closterovirus*, *Ampelovirus* ו-*Crinivirus*.

ווירוסים מסוג *Ampelovirus* נבדלים משאר משפחת *Closteroviridae* במספר תחומים: ביולוגית- הם מועברים על ידי כנימות קמחיות, מולקולארית- הם בעלי סדר הפוך של הגנים המקודדים לחלבוני המבנה (בניגוד ל *Closterovirus*) ובנוסף הם בעלי גנום המורכב מחלקיק אחד (monopartite) ושני העתקים של הפרוטאז העיקרי (בניגוד ל *Crinivirus*) (Martelli et al., 2002).

ווירוסים הקשורים למחלת קיפול העלים (GLRaV) מוספרו מ- 1 עד 9 לפי הסדר בו התגלו (Karasev, 2000). GLRaV-1, -3, -4, -5, -6, -8, -9. שויכו לסוג *Ampelovirus*, בעוד ש- GLRaV-2 שויך ל *Closterovirus* ו- GLRaV-7 טרם סווג (Martelli et al., 2002). ווירוסים אלו נבדלים סרולוגית זה מזה ופרט ל GLRaV-2 אינם מועברים מכנית.

2.2.2 GLRaV-3

מתוך תשעת הווירוסים GLRaV-3 הוא השכיח ביותר בכרמים בארץ ובעולם (ד"ר זהבי- תקשורת אישית; Martin et al., 2005; Cretazzo et al., 2010; Cabaleiro & Segura, 2006). חדירת הווירוס אל מרבית אזורי גידול הגפן בעולם התרחשה בעקבות הפצת חומר ריבוי נגוע (Sharma et al., 2011). אופן הריבוי הווגטיבי של הגפן, ההרכבה על כנות, שלא מבטאות תסמינים (Kovacs et al., 2001) והחיפוש המתמיד אחר זנים חדשים הביא לתפוצה רחבה ובינלאומית של מחלות ויראליות בגפן בכלל ומחלת קיפול העלים בפרט.

ההתפתחות המואצת במחקר המולקולרי של GLRaV-3 הביאה לגילויים של מספר גזעים של הווירוס ברחבי העולם (Jooste et al., 2010; Gouveia et al., 2011; Bester et al., 2012; Western Cape, דרום אפריקה. באזור זה, נמצאו ורוצפו גנטית 4 גזעים: קבוצה I (מיוצגת ע"י התבדוד 621), קבוצה II (מיוצגת ע"י התבדודים GP18, 623), קבוצה III (מיוצגת ע"י התבדוד 20 - PL) וקבוצה VI (מיוצגת ע"י התבדודים GH11, GH30) (Jooste et al., 2012). במחקרם של Jooste וחבריה (2011) נמצא כי ישנם תבדודים המצויים בשכיחות גבוהה יותר בהשוואה לאחרים ופיזורם המרחבי הוא מקובץ.

בישראל, נערך מחקר לאפיון גזעי GLRaV-3 במעבדתו של ד"ר מוואסי, מנהל המחקר החקלאי. התוצאות הראשוניות מצביעות כי בארץ נפוצים שני גזעים שונים של הווירוס - V1 ו V2, כאשר V1 הוא השכיח מבין השניים. קביעת הרצף השלם (כ- 18,000 בסיסים) של הגזע V1 מצאה כי הוא נבדל מהרצף של הגזעים המוכרים בעולם ב 7-10%. בנוסף, קבוצת מחקר זו לא מצאה קשר בין גזע הווירוס לבין זן הגפן (הרוכב), זן הכנה או מקור חומר ריבוי (ד"ר מוניר מוואסי, מנהל המחקר החקלאי- תקשורת אישית).

2.2.3 השלכות GLRaV-3 על הגפן- נזקי מחלת קיפול העלים בכרם יין

חדירת ווירוס אל המערכת הצמחית משפיעה במספר מישורים על הצמח הנגוע. פרט להופעת תסמינים, חלים בצמח שינויים רבים ולאלו השלכות גידוליות וכלכליות. עדויות ראשונות על שינוי בצימוח הגפן, כמות ואיכות היבול הובילו לחקר וגילוי מקור המחלה (Chamberlain, 1967; Goheen et al., 1958; Goheen et al., 1959; Scheu, 1936).

מבחינה פיזיולוגית נבחנו מספר מדדים מרכזיים כגון: שיעור פוטוסינתזה, שיעור דיות ותכולת כלורופיל. נמצא כי קיימת שונות גדולה בהשפעות המחלה בין זני גפן שונים, גיל הגפן הנגועה, תנאי הגידול, מחוללי המחלה (סוג הווירוס) והשפעה של נגיעות המשלבת מספר סוגי ווירוסים (Cabaleiro et al., 1999; Golino, 1993; Guidoni et al., 1997; Kliwer & Lider, 1976; Kovacs et al., 2001). תוצאות המחקרים נבדלו גם בין ניסוי מעבדה לניסוי שטח ובין מועדי הבדיקה (טרם ולאחר הבוחל). בניסוי מעבדה, גפנים מזן "קברנה סובינון" ו "מלווסיה" הנגועים ב GLRaV-3 הראו תכולת

כלורופיל וקרטנואידים נמוכה יותר מגפנים בריאות, בעוד שבגפנים מזן "אלברינו" לא נמצאו הבדלים במדדים אלו. לעומת זאת, בניסויי שטח רבים נמצא שיעור פוטוסינתזה נמוך באופן מובהק בגפנים נגועות לעומת בריאות בזני "אלברינו" ו "נבילוו" (Charles et al., 2006). Gutha וחבריו (2012) בחנו במחקרם את השפעת GLRaV-3 על פלורנסציה של כלורופיל ופוטוסינתזה בזן מרלו בשני מועדים, טרם הבוחל (במקרה זה גם לפני הופעת תסמינים) ולאחריו, אחרי הופעת התסמינים. הממצאים של המחקר הראו כי טרם הבוחל אין הבדלים במדדים אלו בין גפנים נגועות לבריאות, לעומת זאת לאחר הבוחל נמצאה הפחתה בשיעור שבין 11-25% ברמת הכלורופיל בגפנים נגועות.

השפעת הווירוס ניכרת גם ברמת הגרגר ובעקבותיו באיכות היין. בתחום זה צבירת סוכר ($Brix^{\circ}$), אנטוציאנינים וריכוז חומצה בגרגר הינם מדדים בעלי משמעות מרכזית. רמת צבירת הסוכר קובעת את פוטנציאל האלכוהול והמתיקות ואילו החומצה אחראית לאיזון הטעם של היין. יחס נכון בין רמת הסוכר לחומצה הינו גורם בעל חשיבות ראשונה במעלה ביצור יינות איכותיים בעלי טעמים מאוזנים. במאמר סקירה (Charles et al., 2006) נמצא כי במרבית המחקרים, צבירת הסוכר בפרי של גפנים נגועות בוורוס קיפול העלים נמוכה יותר בהשוואה לגפנים בריאות. בהתבסס על תוצאות מחקרים אלו, משערים כי נוכחות הווירוס מפחיתה את צבירת הסוכר בפרי ובכך מעכבת את הבשלת הפרי והתפתחות מלאה של צבע הגרגר. בזמן הבשלת הגרגר קיים קשר בין צבירת הסוכר לצבירת אנטוציאנינים בפרי (Mullins et al., 1992). לכן, אין זה מפתיע כי בגפנים הנגועות בוורוס נמצאה רמת אנטוציאנינים נמוכה בהשוואה לגפנים בריאות. Guidoni וחבריו (1997) ציינו במחקרם כי רמת האנטוציאנינים בגרגרים מגפנים נגועות לא הגיעה לרמתה בגפנים בריאות, זאת על אף שהגפנים הנגועות נבצרו כשבוע לאחר הגפנים הבריאות. ממצאים אלו קיבלו חיזוק בעבודתו של Vega וחבריו (2011). בעבודה זו, נבחנה השפעת הנגיעות בוורוס על דגם ביטוי הגנים בגרגר בעת ההבשלה. במחקרם נמצא כי בגפנים נגועות קיים שינוי בביטוי הגנים האחראים על הורמונים המעורבים בהובלת סוכר ולוקחים חלק בנתיב יצירת האנטוציאנינים בתהליך הבשלת הגרגר. הם הראו שלנוכחות הווירוס השפעה על האיזון בין מקור ומבלע, תנועת הסוכרים וכתוצאה מכך על תהליך יצירת האנטוציאנינים בצמח.

קיימת ספרות מצומצמת אשר בחנה את השפעת מחלת קיפול העלים על התוצר הסופי- יין. במחקרים בהם נבחנה רמת החומצה בתירוש שמקורו מגפנים בריאות וחולות נמצא ריכוז חומצה גבוה יותר בתירוש מגפנים נגועות כאשר טווח ההבדלים בריכוז נע בין 0.2-1.3 גרם/ ליטר (Charles et al., 2006). Mannini וחבריו (2012) בחנו את איכות היין המיוצר מענבים בריאים וחולים בזן "נבילוו" מבחינה אנולוגית, עוצמת צבע היין שמקורו מגפנים בריאות נמצא עמוק יותר, ממצא זה מעניין מכיוון שריכוז האנטוציאנינים בשני היינות היה דומה אך כנראה היה הבדל בפרופיל האנטוציאנינים ולא בריכוזם. במבחן טעימה, אשר נערך באמצעות קבוצת טועמים מנוסה, נראתה העדפה ליין שמקורו בגפנים בריאות והוא תואר כעשיר, פרחוני ומתובל יותר וסווג כבעל יותר גוף וטעם מתמשך. ממצאים

אלו תואמים מסקנות ממחקרים קודמים המעידים על פגיעה באיכות היין כתוצאה ממחלת קיפול העלים.

1.1.1 תנועת הווירוס בגפן

מערכת יחסי הגומלין בין הצמח לווירוס משתנה כתלות בגורמים רבים כגון: מין הצמח, תבדיד הווירוס ואוכלוסיית הווירוס (Tsai et al., 2012). במקרה של GLRaV-3, הווירוס נע מהשורשים והגזע אל הענפים והעלים באביב, עם תקופת הצימוח (Monis & Bestwick, 1996; Teliz et al., 1987). הווירוס מזוהה לראשונה בעלים הבסיסים, המבוגרים יותר ובהמשך העונה, לאחר הפריחה הוא נע אל שאר העלים, שם הוא מצוי ברמות נמוכות (Teliz et al., 1987). מחקר עדכני שנערך על ידי Tsai וחבריו (2012) עסק בכימות תנועת הווירוס לאורך השנה באמצעות בדיקת real-time RT-PCR. במחקר זה נראתה תנועה דומה של הווירוס ברקמות הצמח, אך בשל השימוש בכלי מחקר זה נמצאה גם ירידה באוכלוסיית הווירוס לקראת סוף השנה (ספטמבר). כותבי המחקר מציינים כי ישנם קווים מקבילים בתנועת הווירוס ותנועת הקמחיות בגפן לאורך השנה, דבר המקל על רכישת הווירוס באמצעות קמחיות והעברתו.

2.3 המערכת ווירוס- ווקטור

מרבית הווירוסים הצמחיים הינם ווירוסים הנישאים ע"י ווקטורים: פרוקי רגליים, נמטודות ופטירות מעבירים כ 76% מהווירוסים הצמחיים (Hogehout et al., 2008; Nault, 1997). בתוכם, הקבוצה המרכזית אשר מעבירה כ 55% ממחלות הצמח הוויראליות הינם חרקים מסדרת Hemiptera. הוגדרו **שלוש צורות ההעברה** של ווירוסים באמצעות חרקים: העברה חולפת (Non-persistent), העברה חצי מתמדת (Semi-persistent), והעברה מתמדת (Persistent). החלוקה נעשתה בהתאם לשלושה מאפיינים עיקריים: משך הזמן הנדרש לרכישת הווירוס על ידי החרק (Acquisition), משך זמן שהייה של הווירוס בגוף החרק (Retention) ומשך הזמן הנדרש להדבקת הצמח (Inoculation) (Hogehout et al., 2008). על פי רוב, ווירוס מסוג מסוים יועבר על ידי חרקים מאותה משפחה ובאותה דרך ההעברה. דבר המעיד על מערכת יחסית אבולוציונית ארוכת טווח בין ווירוסים לווקטורים (Nault, 1997).

מעוצב:סמן

משפחת הווירוסים *Closteroviridae* מועברת על ידי מגוון חרקים, חלק מהווירוסים במשפחה זו מועברים על ידי מספר חרקים בעוד שאחרים מועברים על ידי חרק אחד. וירוסים מהסוג *Ampelovirus* מתאפיינים בהעברה באמצעות כנימות קמחיות (*Pseudococcidae*) וכנימות רכות (*Coccidae*). שני הווירוסים הנחקרים ביותר, בשל השלכותיהם הכלכליות בסוג זה הינם PMWaVs (*Pineapple mealybug wilt-associated viruses*) ו- GLRaV-3 (Tsai et al., 2010).

קיימים מינים שונים של כנימות המוכרים כווקטורים של GLRaV-3 ברחבי העולם, מהם ארבע כנימות קמחיות מצויות בארץ: קמחית הגפן (*Planococcus ficus* Signoret), קמחית ההדר (*Planococcus citri* Risso), קמחית המורן (*Planococcus viburni* Obscure), קמחית ארוכת

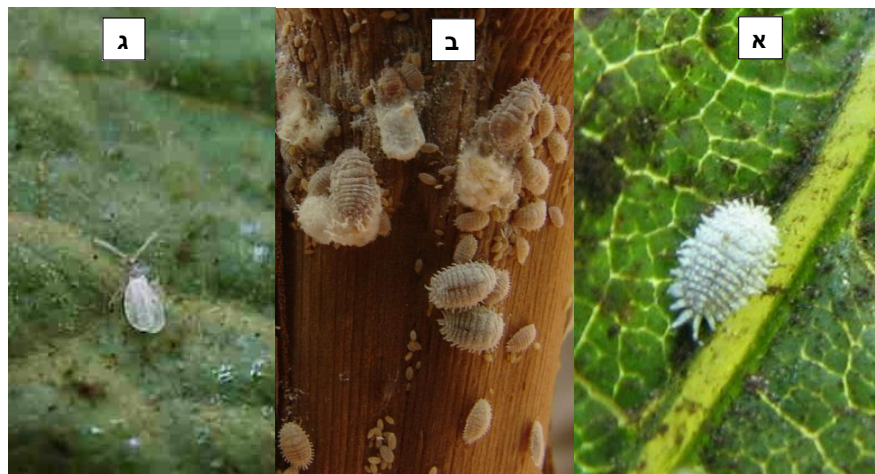
הזנב (Ben - Dov, 1994) (*Pseudococcus longispinus Targioni Tozzetti*) והכנימה הרכה - פוליונירית הגפן (*Pulvinaria vitis* L.) (Ben-Dov et al., 2000). מתוך מינים אלו הכנימה השלטת בכרמי ישראל היא קמחית הגפן *P. ficus* (ד"ר תרצה זהבי, שה"מ- תקשורת אישית).

2.3.1 הווקטור, קמחית הגפן

טקסונומיה- קמחית הגפן (*P. ficus*) סווגה ע"י Ben-Dov (1994) בסדרה Hemiptera, תת-סדרה Homoptera, על-משפחה Coccoidea, משפחה Pseudococcidae. קמחית זו, נפוצה במדינות רבות בעולם: איטליה, ספרד, צרפת, ישראל, מצרים, דרום אפריקה, צפון ודרום אמריקה (Sforza et al., 2005) ולאחרונה נמצאה גם בקליפורניה, ארצות הברית (Daane et al., 2006).

פונדקאים ונזק- הקמחית הינה חרק פוליפאגי ופרט להיותה מזיק מפתח בגפנים, נוכחותה תועדה גם בעשבונים ובגידולים חקלאיים כגון: תאנים, תפוחים, הדורים ופירות טרופיים (Walton & Pringle, 2004 a). הקמחית ניזונה מצינורות השיפה בכל חלקי הגפן: גזע, זרועות, עלים, ושושים וכן מהאשכולות. סוכר עודף מנוזלי השיפה מופרש כטל דבש ומשמש מצע להתפתחות פטריית פייחת (Sooty mold). נוכחות טל הדבש, פייחת ודרגות שונות של הקמחית מובילים לנזק ישיר בכמות ואיכות היבול בענבי יין ומאכל. יתרה מזאת, קמחית הגפן מהווה וקטור יעיל למחלות גפן שונות, בין מחלת קיפול העלים ולכן מהווה מזיק גם ברמת אוכלוסייה נמוכה (Daane et al., 2012; Engelbrecht & Kasdorf, 1990).

מחזור החיים - Kriegler (1954) היה ראשון לחקור את שלבי ההתפתחות של קמחית הגפן. במחקריו הוא מצא כי מחזור החיים בנקבת הקמחית מורכב מביצה, שלוש דרגות זחלנים, בוגרת ומטילה. הזכר לעומת זאת, יתפתח לטרומ גולם לאחר זחלן דרגה 2, מהגולם יגיח זכר מכונף ללא גפי פה אשר חי מספר ימים בלבד. הדרגות הצעירות בנקבת הקמחית דומות לדרגות הבוגרות בצורתן הכללית (Hemimetabolous) וניזונות גם הן מצינורות השיפה (איור 2). לאחר ההזדווגות הנקבה תטיל שק ביצים עשוי סיבי שעווה, שק זה יכול להכיל עד 700 ביצים (Sforza et al., 2005). Duso וחבריו (1985) מצאו כי טמפרטורת האופטימום להתפתחות קמחית הגפן הינה 23-27°C. השפעת הטמפרטורה מתבטאת בהבדלים במספר הדורות בשנה בין מדינות השונות. בדרום אפריקה דווח על 5-6 דורות בשנה. באיטליה על 3 דורות, 2 דורות ביוון ובישראל 4-6 דורות.



איור 2- (א) קמחית הגפן בוגרת על עלה גפן, (ב) דרגות שונות של קמחית הגפן על גזע גפן, (ג) זכר של קמחית הגפן על עלה גפן (צילום: ד"ר רקפת שרון).

דינאמיקת אוכלוסייה עונתית- הקמחית חורפת בעיקר תחת קליפת הגזע, זרועות הגפן ולעיתים תחת הקרקע על השורשים. בתקופת החורף קיימת האטה בקצב ההתפתחות אך לא נרשמת תרדמה מוחלטת (diapause). ולמעשה בימי החורף החמים יכולה הכנימה להשלים דור ראשון תחת קליפת הגזע. עם העלייה בטמפרטורות ותחילת הצימוח הצעיר באביב, ישנה עלייה בקצב התפתחות האוכלוסייה ובמקביל תועדה תנועה מקבילה של אוכלוסיית הכנימה ושל משאבי הגפן מהשורשים אל הסעיפים ואחר כך אל העלים. ברמות אוכלוסייה גבוהות נרשמת תנועה לעבר האשכולות הסמוכים לזרועות בעת הבשלת הגרגר. העלייה הגבוהה באוכלוסיית הכנימה בקיץ מלווה גם בירידה מהירה, אותה ניתן לייחס למספר גורמים כגון: עליה טבעית באוכלוסיית האויבים הטבעיים, מוות הנובע מטמפרטורות גבוהות והזדקנות רקמות הגפן (Daane et al., 2012).

תנועה- תנועת הקמחית הבוגרת מצומצמת יחסית. קמחית בוגרת אשר החלה בתהליך ההזנה אינה מאופיינת בתנועה עצמאית מרובה אך בניגוד לכנימות ממוגנות, היא אינה מאבדת את רגליה ויכולה לנוע. תרומה משמעותית להפצת הכנימות קשורה לנמלים. הנמלים, הניזונים מהפרשות טל הדבש, מניידות את הקמחיות ומגנות עליהן מפני אויבים טבעיים (Daane et al., 2012). בניגוד לקמחית הבוגרת, דרגות הזחלנים מתאפיינות בתנועה מרובה. בנוסף לתנועה אקטיבית, הטענה הרווחת היא כי דרגות הזחלנים נעות באמצעות רוחות, ציוד חקלאי ותנועת כוח אדם בסביבת הכרם (Charles et al., 2006). עדויות אשר יכולות לתמוך בטענה זו הוא מחקרם של Hommay וחבריו (2012). קבוצת מחקר זו בחנה תעופה פאסיבית של זחלנים (דרגה 2) של הכנימה (Bouché) *Parthenolecanium corni* באמצעות מלכודות דבק. במחקרם נמצא כי ניתן לייחס את לכידות הזחלנים למשטר הרוחות ולצפיפות אוכלוסיית הכנימות בחלקות סמוכות.

2.3.2 העברת הווירוס ע"י קמחית הגפן

העברת GLRaV-3 על ידי קמחית הגפן נחקרה על ידי Tsai וחבריו (2008). קבוצת מחקר זו מצאה שקמחית הגפן רוכשת את המחלה לאחר שהייה של כשעה על צמח נגוע ויעילות הרכישה עולה ומגיעה לשיא לאחר 24 שעות. מיד עם רכישת המחלה יכולה הכנימה להעביר את הווירוס. יעילות ההעברה גברה ככל שהכנימה הייתה זמן רב יותר על הגפן עד 24 שעות ולאחר מכן שיעור ההעברה לא השתנה. בנוסף, נמצא כי קמחיות בוגרות מאבדות את הווירוס ואת יכולת ההדבקה ארבעה ימים לאחר הרכישה וכי אין העברה של הווירוס מנקבה לצאצאים. ממצאים אלה חיזקו את הטענה כי העברת המחלה הינה חצי מתמדת ולא קיימת תקופה לטנטית בהעברת המחלה. בסקירה הספרותית אשר נערכה לצורך העבודה הנוכחית, נמצא מחקר אחד המביע הסתייגות ממנגנון ההעברה הידוע כיום וזוהי עבודתם של Cid וחבריו (2007). במחקר זה נמצאה נוכחות הווירוס בבלוטות הרוק, המעי וצינורות מלפגי של קמחית ההדר (*P. citri*). ממצאים אלו הובילו את עורכי המחקר להעלות את ההשערה החדשנית כי מנגנון ההעברה במקרה זה הינו העברה מתמדת- סרקולטיבית (circulative transmission), אך פרט למחקר זה טרם פורסמו עדויות נוספות התומכות בטענה זו.

היבט נוסף אשר נבחן במערכת הווקטור- ווירוס התייחס ליכולת ההעברה של דרגות שונות של הכנימה. נמצא כי זחלנים צעירים (דרגה 1 ו 2) מסוגלים להעביר את המחלה ביעילות גבוהה יותר מכנימות בוגרות (Tsai et al., 2008). Kruger ו- Douglas (2008) אפשרו הזנת רכישה של חמישה ימים והראו במחקרם כי 70 אחוז מהגפנים אשר אולחו עם זחלן אחד לגפן נדבקו בוירוס.

2.4 דרכי ההתמודדות עם מחלת קיפול העלים הנהוגות היום

2.4.1 דרכים להדברת הווקטור

קמחית הגפן מהווה מזיק מפתח בכרמי ישראל הן בשל הנזק הישיר הנגרם מהפרשת טל הדבש והיווצרות הפייחת והן בשל הנזק העקיף הנגרם בשל היותה ווקטור למחלת קיפול העלים. הדברת הקמחית מהווה אתגר גדול בשל מיקומה גם תחת קליפת הגזע ובשורשים. הימצאותה של לפחות חלק מהאוכלוסייה במיקומים אלו מקשה גם על תהליך הניטור וגם על פעולת חומרי ההדברה כנגד המזיק. בנוסף לכך, מכון שהכנימה מהווה ווקטור היא עלולה לגרום לנזק גם ברמת אוכלוסייה נמוכה מאד.

הדברה כימית- בכרמי יין ומאכל ברחבי העולם נהוג ממשק הדברה כימית באמצעות ריסוס זרחנים אורגנים (Chlorpyrifos, Diazinon, Dichlorvos). חומרים אלו בעלי שאריתיות נמוכה ולכן מאפשרים יישום בסמוך למועד הבציר. בישראל, נאסר לאחרונה השימוש בשני הזרחנים Diazinon, Dichlorvos ונראה כי גם Chlorpyrifos צפוי להיאסר בעתיד הקרוב.

מיקום הכנימות, תחת קליפת הגפן ובשורשים, ומעטה השעווה מקשה על הדברת הקמחיות באמצעים אלו (Berlinger, 1977). כתוצאה מכך במהלך השנים האחרונות מתבססת ההדברה על חומרים סיסטמיים (ניאוניקוטינואידים- Imidacloprid, Thaimethoxam). החדרת החומר באמצעות

השקיה אל מערכת השורשים אמורה להתמודד עם הקשיים שצוינו למעלה. קיימים דיווחים כי שימוש בחומרים סיסטמיים הוביל לירידה ברגישות הקמחיות לחומר ההדברה ולעלייה במינן חומר ההדברה הדרוש לקטילת הכנימות (Mansour et al., 2010b; Prabhaker et al., 1997). בנוסף, יעילות הדברה באמצעות הגמעה מושפעת מגורמים רבים כגון: סוג הקרקע, משטר השקיה ונפח שורשים ולכן סובלת מחוסר אחידות בתוך ובין חלקות הכרם (Byrne & Toscano, 2006; Mansour et al., 2010b).

לאחרונה נבחן חומר הדברה סיסטמי חדש המיושם בריסוס ("מובנטו" - Spirotetramat) ומבוסס על עיכוב ביוסינטזת ליפידים בחרק. נראה כי חומר זה עולה בקנה אחד עם עקרונות ההדברה המשולבת ואינו פוגע באוכלוסיית האויבים הטבעיים (Mansour et al., 2010a). זאת בניגוד למרבית אמצעי ההדברה הכימית שהוזכרו לעיל הפוגעים באוכלוסיית האויבים הטבעיים בכרם.

אמצעי נוסף להדברת כנימות קמחיות וציקדות בכרם הוא שימוש במוסתי גדילת חרקים (מג"חים) בעלי החומר הפעיל Buprofezin. התכשיר משבש את תהליך יצירת הכיטין, מפר את המאזן ההורמונלי בחרק ובכך מעכב את תהליך ההתנשלות בחרק. חומר ההדברה קוטל רק את שלבי הזחלן, אך כנימה בוגרת שבאה במגע עם החומר עשויה להטיל ביצים עקרות ("אפלורד", תווית המוצר "מכתשים" בע"מ).

אויבים טבעיים - חיפוש אחר אויבים טבעיים לקמחית הגפן הוביל למציאת מספר חיפושיות טורפות (*Anagyrus spp.*, *Nephus bineavatus*, *N. angustus* and *N. quadrivittatus*) ופרזיטואידים (*Coccidoxenoides perminutus*, *Leptomastix dactylopii*) (Berlinger, 1977). במחקרים אשר נערכו בדרום אפריקה אוכלוסיית החיפושיות הטורפות מגיעה לשיא בתחילת העונה ולאחר מכן מתחילה ירידה בגודלה. לעומת זאת, גודל אוכלוסיית הקמחיות נשאר קבוע על אף נוכחות הטורפים. חוסר התלות בין צפיפות הקמחיות לחיפושיות הטורפות הוביל לטענה כי אויבים אלו פחות יעילים לצרכי הדברה (Berlinger, 1977; Urban, 1985; Walton, 2003). מחקרים על אוכלוסיית הפרזיטואידים מצאו כי שיא האוכלוסייה מגיע בשלב מאוחר יותר של העונה. עיתוי זה מאפשר פגיעה משמעותית במושבות הקמחיות (Berlinger, 1977; Urban, 1985; Walton, 2003). תוצאות אלו מעידות כי לפרזיטואידים תפקיד משמעותי בהפחתת אוכלוסיית הקמחיות. בישראל, אוכלוסיית האויבים הטבעיים (בעיקר צרעות טפיליות ממינים שונים וזחלי מושיות) מגיעה לשיאה יחד עם שיא הופעת הקמחיות. וניתן לאתר אויבים טבעיים בעיקר בכרמים אורגניים אך גם בכרמים בהם מתקיימת הדברה קונבנציונאלית (שרון וחובריה, 2005). ממשק הדברה בכרמים אורגניים בישראל כולל פיזור צרעות אנגירוס (500-1000 פרטים לדונם) עם מציאת כנימות ראשונות ופיזור מושיות קריפטולמוס (500-1000 פרטים לדונם) במוקדי המזיק (ביו- בי בע"מ).

בלבול זכרים - במהלך השנים האחרונות מתקיים בחלק גדול מכרמי היין בישראל דרך קבע ממשק בלבול זכרים כנגד עש האשכול (*Lobesia botrana* Denis & Schif.). ממשק בלבול הזכרים הינו

ממשק ספציפי וידידותי והחשש מפני פיתוח עמידות לממשק זה קטנה. פרומון המין של קמחית הגפן מיוצר על ידי הנקבה הנייחת בכדי למשוך את הזכר המעופף. לאחר זיהוי הפרומון ע"י Hinkens וחבריו (2001) פותחו באופן מסחרי מלכודות לניטור קמחית הגפן (Walton et al., 2002; Millar et al., 2004 b). יעילות הלכידה הגבוהה במלכודות ועלות ייצור פרומון סינטטי זול ויציב הובילו לפיתוח ממשק בלבול זכרים בקמחית הגפן. יעילות בלבול זכרים בקמחית הגפן תלויה ברמה ההתחלתית של המזיק, בטווח הטמפרטורות בכרם ובפורמולציית הפרומון (Walton et al., 2006). בישראל נמצא כי יעילות בלבול הזכרים הולכת וגדלה בשנות יישום עוקבות ומתאימה ליישום בחלקות הגדולות מ- 5 דונם. (שרון וחבוריה, 2010). Walton וחבריו (2006) מצאו בחלקות כי "מבולבלות" ישנן יותר קמחיות מוטפלות ונראה כי הפרומון מסייע לפרזיט במציאת קמחית הגפן, זאת על ידי משיכת הפרזיטואיד מחלקות סמוכות והגברת עוצמת החיפוש אחר המזיק.

2.4.2 דרכים למניעת חדירת המחלה

הנזק שגורמים הווירוסים לתעשיית הענבים והיין ומאיך התפתחות המחקר, השתפרות הכלים הדיאגנוסטיים והבנת מנגוני התפוצה של מחלת קיפול העלים ברחבי העולם עודדו מדינות רבות לפעול ברמה הלאומית לצמצום התפשטות המחלה. במסגרת פרויקטים אלו, הושם דגש על אבחון חומר הריבוי בחלקות האם ובמשטלות המסחריות והגברת המודעות לנטיעת גפנים נקיות ובריאות ממקור מאושר. דוגמא לכך הוא פרויקט אשר נערך על ידי (South Australian Research SARDI and Development Institute) במסגרת פרויקט זה נבחנו למעלה מ 300 קלונים לנגיעות במחלות ויראליות. תהליך אבחון הקלונים כלל שימוש בבדיקות מעבדה (RT-PCR, ELISA) ומבחנים ביולוגים (גידול הצמח ובדיקת נוכחות תסמינים לאורך מספר שנים). קלונים אשר עמדו בדרישות משמשים תשתית לגרעיני ריבוי עבור אוספים מסחריים (Nicholas, 2006). פרויקטים מקבילים מתרחשים גם במדינות נוספות כגון: ארצות הברית (Golino, 2000) וניו זילנד (Charles et al., 2006).

בישראל, קיימת חקיקה האוסרת על נטיעת חומר ריבוי שאינו מאושר על ידי משרד החקלאות, דבר המאפשר בקרה גבוהה על התפשטות חומר ריבוי נגוע. בשנות ה-90 בשל גל נטיעות גדול התבצע בישראל יבוא מאסיבי של חומר ריבוי מאובחן מהחלקה של (Foundation Plant Services) FPS בדיוויס, קליפורניה. בשנת 1996 הקימו "יקבי רמת הגולן" חלקת ריבוי המבוססת על סלקציה מקומית, במסגרת הקמת החלקה התגלתה נגיעות בזנים סוביניון (100%), קברנה סוביניון (30%) ומרלו (40%). בשנת 2007 לאחר איתור נגיעות בשתילי גפן, התגלה כי חומר הריבוי בחוות "זרעם" נגוע גם כן (תרצה זהבי, "שה"מ"- תקשורת אישית). נוכח איתור הנגיעות בוירוס ומנגד הדרישה להגדלת הנטיעות הוחלט בשנת 2009 לייבא חומר ריבוי מצרפת במקביל לאיתור חלקות בכרמים בארץ אשר אובחנו כלא נגועים. אולם בשנת 2010, עקב נגיעות בחלק מהכרמים שבעבר נמצאו כנקיים, רוב חומר הריבוי אשר ניטע היה צרפתי. כיום, יש בישראל ארבע חלקות ריבוי. בכדי למנוע אילוח בחלקות אלו קיימת הקפדה חמורה של ממשק העבודה ובנוסף בכל שנה נערכת בדיקה

מולקולארית של 10% מהגפנים לאיתור הווירוס (אשכול, 2012). במקביל להקפדה על נטיעת חומר ריבוי נקי קיימת תכנית ב"יקבי רמת הגולן" בשיתוף המשקים השונים להחלפת כל הכרמים בעלי הנגיעות עד לשנת 2020 (נועה מעוז, "יקבי רמת הגולן"- תקשורת אישית).

2.4.3 דרכים להאטת התפשטות המחלה

על אף הממצאים הרבים לכך שמחלת קיפול העלים גורמת לנזק בכמות ובאיכות היבול, אמצעי ההתמודדות עם נוכחות גפנים נגועות במחלה בכרם הם מגוונים ואין פרוטוקול אחיד להתמודדות עם המחלה. בארצות הברית ובניו זילנד, ההמלצה הגידולית היא על עקירת גפנים בעלות תסמינים והחלפתן בגפנים נקיות אך לא נמצאו מחקרים המספקים מידע על יעילות שיטה זו (Charles et al., 2006; Martinson et al., 2008).

במחקר אשר נערך בדרום אפריקה מצא Pietersen (2004) כי עקירת גפנים נגועות לאורך מספר שנים מפחיתה באופן משמעותי את אחוז הנגיעות בכרם, זאת בהשוואה לחלקה מקבילה בה לא נערך כל טיפול. עם זאת, הוא מציין בעבודתו כי מרבית הנגיעות החדשה התרכזה בסמיכות לגפנים העקורות, לתופעה זאת מספר הסברים: 1. ייתכן וגפנים אלו היו נגועות טרם העקירה, אך לא הראו תסמינים בשל ריכוז ווירוס נמוך בגפן. 2. ייתכן והתרחש מעבר ווקטורים נושאי הווירוס מהגפן הנגועה לגפן הבריאה טרם עקירת הגפן. 3. ייתכן והעברת המחלה התרחשה לאחר העקירה על ידי מעבר ווקטורים שמקורם משורשי הגפן הנגועה ולא הוסרו ביסודיות. בשל ממצאים אלו ממליץ Pietersen (2004) בעבודתו, לא להסתפק בעקירת הגפן הנגועה אלא גם לנקוט אמצעי הדברה ממוקדים בסמיכות לגפן הנעקרת.

על אף ההמלצות לעקירת גפנים נגועות עדיין בוחרים חלק מהכורמים בעולם לא לפעול כנגד גפנים נגועות, זאת בשל מידע מצומצם על השלכות הכלכליות של עקירה אל מול השארת גפנים נגועות בכרם. המחקר המדעי אשר התמקד בסוגיה זו נעזר ביצירת מודלים וסימולציות ביו-כלכליות כדי לבחון את ההשלכות של מספר אסטרטגיות התמודדות עם המחלה. Nimmo-Bell (2006) ערכו השוואה כלכלית בין ארבע אסטרטגיות התמודדות בקיפול העלים בענבי "סוביניון בלאן" ו"מרלו" בניו זילנד. האסטרטגיות אשר נבחנו הן: עקירת כלל הכרם בשנה השישית לנטיעתו, עקירה שנתית של גפנים נגועות, עקירה שנתית של גפנים נגועות וגפנים סמוכות להן וחוסר פעולה. בעבודתם נמצא כי אסטרטגיית הפעולה המיטבית היא עקירת שנתית של גפנים נגועות. מחקר עדכני יותר אשר בחן בכלים דומים המלצות התמודדות הוא מחקרם של Atallah וחובריו (2012b). עבודה זו התבססה על נתונים כלכליים של זן הענבים "קברנה פרנק" באזור ניו יורק, ארה"ב כאשר אורך חיי הכרם הממוצע הוא 25 שנים. בעבודתם חושב, באמצעות הדמיית מחשב, כי באחוז נגיעות נמוך עד מתון (1-25%) ניתן להפחית את נזקי המחלה ב \$ 300-2,300 לדונם, על ידי החלפת הגפנים הנגועות. כאשר אחוז הנגיעות בכרם גבוה מ 25% אסטרטגיית ההתמודדות היעילה ביותר הינה החלפת הכרם כולו. בנוסף, הנסיבות האופטימליות לבחירת אסטרטגיה של חוסר טיפול הן: 1.

כאשר אחוז הנגיעות גבוה מ-25%, הנזק לכמות היבול הוא מתון (קטן מ-30%), ואין קנס על פגיעה באיכות היבול. 2. כאשר התפשטות המחלה באמצעות ווקטור מתחילה רק בשנה ה-19 לנטיעת הכרם.

בישראל, אין החלטה גורפת לגבי דרכי הפעולה כנגד גפנים נגועות בכרם. עם זאת חשוב לציין כי בישראל לא נהוג לבצע תהליך של החלפת גפנים זאת בשל קשיים הנובעים מהקפדה על כשרות הכרם.

2.5 ניתוח תופעות במרחב ובזמן

במהלך השנים האחרונות הולכת וגדלה הזמינות של מידע מרחבי ומערכות המידע הגיאוגרפיות (ממ"ג) הפכו נפוצות בתחומים רבים כגון: תכנון עירוני, בריאות הציבור, אכיפת חוק, תחבורה, אקולוגיה וחקלאות. שימוש בממ"ג מאפשר קליטה, עדכון, ארגון, ניתוח והצגה של מידע מרחבי. ניתוח סטטיסטי של מידע מרחבי מחייב התייחסות לתלות הקיימת בין נתונים הנובעת ממוקום במרחב ומוסחת באמצעות החוק הראשון של הגיאוגרפיה לפי Tobler (1970) האומר: "הכל קשור להכל אבל דברים קרובים קשורים יותר מדברים רחוקים" (Everything is related to everything else, but near things are more related than distant things). גיאוסטטיסטיקה, הינה סטטיסטיקה הלוקחת בחשבון את התלות במיקומם המרחבי של המשתנים. למעשה, סטטיסטיקה זו, מחזקת כמותית ומוכיחה סטטיסטית ממצאים שלא פעם העין האנושית מאתרת ולחילופין מסייעת לחשוף ממצאים הקיימים במידע שנותרו מעיננו. בניגוד לסטטיסטיקה רגילה (שאינה מרחבית), הטכניקות הנהוגות בסטטיסטיקה מרחבית משתמשות בפועל במרחב-שטח, אורך, סמיכות, כיוון, ויחסים מרחביים- באופן מתמטי ישיר (Scott & Getis, 2008).

2.5.1 שימוש בגיאוסטטיסטיקה לניתוח של מחלות המועברות ע"י מזיקים

משתנים ביולוגים ופיסיקליים במערכות חקלאיות יוצרים הטרוגניות מרחבית רבה וכתוצאה מכך פיזור פתוגנים ומחלות במרחב אינו אחיד (Campbell & Madden, 1990). איתור והבנת ההטרוגניות המרחבית באמצעות גיאוסטטיסטיקה וניתוח מרחבי מאפשרים יישום מיטבי של חקלאות מדייקת (Pierce & Nowak, 1999). כיום, בעולם המחקר האנטומולגי - מודרני השימוש בגיאוסטטיסטיקה הפך שכיח. הדרישה הגוברת לשימוש בחקלאות מדייקת החל לעודד מחקרים במרחב לצורך אפיון התפשטות מזיקים בזמן ובמרחב (Alves et al., 2011; Moral García, 2006) שיפור שיטות הדיגום (Ifoulis & Savopoulou-Soultani, 2006; Park & Tollefson, 2006), חיזוי הפגיעה ביבול (Abad-Franch et al., 2011) ויישום של הדברה משתנה במרחב (Karimzadeh et al., 2011).

מחלות צמחים רבות מועברות על ידי חרקים ולא פעם קיים מתאם בין נוכחות המזיק במרחב למיקום צמחים חולים. בבחינת התפרוסת של צמחים חולים במרחב ובזמן עולות מספר שאלות מרכזיות, האם המחלה מקובצת? האם מידת הקיבוץ משתנה במהלך הזמן? האם ישנה תלות מרחבית בהתפשטות

המחלה? האם ניתן לכמת תלות זו? מהו קצב התפשטות המחלה? האם הוא בעל גראדיינט או אקראי? מהי משמעות קיבוץ המחלה על השליטה בהתפשטות המחלה? ואלו גורמים השפיעו על הדגם המרחבי? שימוש בכלים מרחביים מסייע במתן תשובות לשאלות אלו ויכול להרחיב את הידע האפידמיולוגי ולסייע בהתמודדות עם מחלות צמחים (van Maanen & Xu, 2003). על אף השימוש הנפוץ בכלים מרחביים בתחום המחקר האפידמיולוגי העוסק במחלות בבני אדם, קיימת ספרות מצומצמת על מחלות צמחים המועברות על ידי חרקים.

התפשטות ווירוס הטריסטזה בהדרים (Citrus tristeza virus ; CTV) נחקרה ע"י Gottwald וחבריו (1996). ווירוס הטריסטזה מועבר על ידי מספר כנימות והוא מהווה איום מרכזי על גידול ההדרים ברחבי העולם. לצורך הבנת דינאמיקת ההתפשטות של הווירוס, בוצע ניטור של עצים נגועים בחמישה פרדסים לאורך 14 שנים. בסיס המידע שנוצר שימש לניתוח מרחבי של דגם ההתפשטות. תוצאות המחקר הוכיחו את קיומו של אפקט שוליים, קרי, נמצאה נגיעות גבוהה יותר בשוליים של הפרדסים באופן מובהק ממרכזו. תופעה זו מעלה את ההשערה כי מקור הנגיעות נובע מחלקות חיצוניות הסמוכות לפרדסים הנחקרים. חקר הדינאמיקה הרב-שנתית של דגם ההתפשטות בתוך הפרדסים הראה כי הנגיעות איננה מתפשטת דווקא אל עצים סמוכים לעצים נגועים אלא למרחק גדול יותר.

Dallot וחבריו (2003) נעזרו בכלים מרחביים לצורך אפיון ההתפשטות של המחלה הוויראלית שארקה (Sharka disease) באפרסקים. נתוני הנגיעות הרב שנתית נותחו במספר שיטות, מידע הנוגע להתפשטות בין עצים סמוכים נותח באמצעות ordinary runs, בעוד שמידע העוסק בהתפשטות בקנה מידה נרחב יותר נותח באמצעות SADIE ואוטוקורולציה מרחבית. צירוף המתודולוגיות חשף טווח רחב של דגמי התפשטות מפיזור ועד לקיבוץ בכל קני המידה שנבדקו. במחקרם נמצא כי ההעברה של המחלה באמצעות וקטור לעצים סמוכים מתרחשת בתדירות גבוהה אך לא בעקביות. בנוסף נמצא כי מנגנון חדירת המחלה הראשוני, גיל ומבנה מטע האפרסקים בזמן חדירת המחלה ומגוון מיני הווקטור הם בעלי השפעה מרכזית על ההתפשטות המשנית של המחלה. השימוש במגוון כלים מרחביים אפשר יצירת תמונה רחבה ומעמיקה על דפוסי ההתפשטות המחלה, דפוסים אלו יכולים להוות את הבסיס לשיפור ממשק הבקרה על מחלת השרקה.

שימוש בניתוח מרחבי בוצע גם באפיון דגמי ההתפשטות של קבוצת הווירוסים PMWaVs (Pineapple mealybug wilt-associated viruses) בגידול אננס. גורם הכרחי בהפצת קבוצת ווירוסים זו הינו קמחית האננס (*Dysmicoccus brevipes* (Cockerell)). (Sether et al., 2010). במחקר זה, נבחן דגם פיזור העצים החולים בשמונה חלקות אננס במטע מסחרי, כל חלקת ניסוי חולקה לשלושה אזורים מרחביים (קצה, צד ומרכז) בהם נערך דיגום ובדיקה לנוכחות המחלה. תהליך הדיגום התרחש בשלושה מועדים, דבר אשר אפשר לבחון את השתנות הדגם המרחבי בזמן.

ממצאי המחקר עולה כי פיזור המחלה במרחב משתנה כתלות בזמן ובאחוז הנגיעות. זמן קצר לאחר הנטיעה תפרוסת העצים הנגועים במרחב אקראית, אך לאורך הזמן, כאשר חלה עלייה בשיעור

המחלה במטע ניתן לאתר דגם מרחבי ברור. נוכחות המחלה במרכז חלקות נמצאה כנמוכה יותר בהשוואה לשני אזורי הניטור האחרים (קצה וצד). ניתוח המחלה במרחב ובזמן סייע בפיתוח כלי לאיתור עצים בעלי סיכון הינגעות נמוך, עצים אלו עתידים לשמש כחומר ריבוי נקי ובטוח (Sether et al., 2010).

2.5.2 ניתוח מרחבי של מחלת קיפול העלים

דגם ההתפשטות המרחבית של מחלת קיפול העלים בכרם נלמד על ידי מספר קבוצות מחקר ברחבי העולם (Charles et al., 2009; Cabaleiro et al., 2008; Cabaleiro & Segura, 1997b; Habili & Nutter, 1997; Pietersen, 2004) במסגרת מחקרים אלו זוהו שלושה דגמים מרכזיים: (1) אקראי, (2) גפנים סמוכות, (3) שולי הכרם, כאשר ניתן לשייך לכל דגם גורם הדבקה שונה. הדגם האקראי מיוחס לנטיעת חומר ריבוי נגוע וזוהי למעשה החדירה הראשונית של נגיעות במחלה אל חלקת הכרם (Habili & Nutter, 1997; Pietersen, 2004). לעומתו, דגם הנגיעות השני, המאופיין בהדבקות גפנים סמוכות לגפנים נגיעות מיוחס בעיקר לאורח החיים ותנועתה המוקדית של הכנימה הקמחית (Cabaleiro et al., 2008; Charles et al., 2009; Pietersen, 2004). דגם ההתפשטות השלישי, מיוחס לחדירת המחלה מכרמים סמוכים בעלי נגיעות במחלת קיפול העלים. במקרה זה ההשערה הרווחת היא כי העברת המחלה מתבצעת באמצעות תעופה פאסיבית של זחלנים נשאי מחלה (Pietersen, 2004).

מחקרים העוסקים בהפצת מחלת קיפול העלים הראו כי במהלך השנים הראשונות לנטיעת הכרם דגם הנגיעות העיקרי הוא הדגם האקראי, לאחר מכן מתגברת התפשטות המחלה לאורך שורות בגפנים סמוכות לעתים עם דגש על נגיעות בשולי הכרם (Charles et al., 2009; Habili & Nutter, 1997; Pietersen, 2004).

Habili ו Nutter (1997) ייחסו את השינוי בדגם ההתפשטות מאקראי למקובץ להדבקה משנית הנובעת מתנועת הווקטור. בשל הקושי בניטור מדויק של אוכלוסיית הווקטור, קיים מחקר מצומצם המשלב באופן כמותי מידע על מיקום גפנים נגיעות ונוכחות ווקטורים. מחקר הבוחן את שני המדדים נערך על ידי Charles וחבריו (2009) במחקרם נערך ניטור של הווקטור, קמחית ארוכת הזנב (*P. longispinus*) ונגיעות במחלה במשך 6 שנים בשתי נטיעות צעירות, האחת סמוכה משני צדיה לכרמים בוגרים ונגועים והשנייה סמוכה מצד אחד לכרם בוגר ומצדה השני לנטיעה צעירה. תוצאות המחקר מעידות כי התפשטות המחלה אינה ניכרת ברמת קמחיות נמוכה מ-5 פרטים / עלה. כמו כן נראה כי עלייה באוכלוסיית הווקטור התבטאה רק כשנה לאחר מכן במספר הגפנים נגיעות במחלה.

מרבית הספרות העוסקת בהתפשטות מחלת קיפול העלים במרחב התבססה על ניתוח ordinary runs analysis (Campbell & Madden, 1990). ניתוח זה בוחן את מידת האקראיות (השערת האפס, H_0) או מידת הקיבוץ של גפנים נגיעות (H_1) בחלקות המחקר באמצעות השוואה בין ערך צפוי ומצוי של גפנים נגיעות וגפנים בריאות במרחב. בשיטה זו מתקבל ערך כללי המעיד על מידת

האקראיות/ התקבצות בכלל חלקת המחקר בכל שנה נבדקת. ניתוח מרחבי המתייחס לכלל מערך הנתונים בחלקת המחקר מכונה Global geostatistics ומדדים נוספים לאיתור הדגם בגישה זו הינם Moran's I (Moran, 1950) ו- Geary's c (Cliff & Ord, 1981). גישת ניתוח מרחבית נוספת הינה Local geostatistics, בגישה זו הניתוח המרחבי מתייחס לנתוני התופעה ברדיוס נבחר ודוגמא לכך היא G_i^* statistics (Getis & Ord, 1996). השילוב של שיטות מרחביות ברמת כלל החלקה עם שיטות ברמת הגפן הבודדת יכול לתת מענה לאפידמיולוגיה של מחלה המועברת ע"י חרקים הנעים במרחב.

2.6 פערי הידע

מקור וגורמים לחדירת המחלה אל הכרם (כרמים צעירים, נטיעת 2009): מחקרים קודמים אשר עסקו בתהליך חדירת מחלת קיפול העלים לכרמים התבססו ברובם על תצפיות וניתוח מרחבי המתייחס לנגיעות בחלקת הכרם (לדוגמא: Cabaleiro & Segura, 1997a; Cabaleiro & Segura, 2006). במחקרים אלו נראתה אינדיקציה לכניסה של וקטור נגוע מכרמים נגועים סמוכים על סמך מיקומן של גפנים נגועות בכרם הנקי. אולם בעבודות אלו חסרה הוכחה ישירה למקור הנגיעות ולגורמים אשר מובילים לחדירת המחלה: כימות התעופה הפאסיבית של הווקטורים מסביבת הכרם, התבססותם בנטיעה הצעירה והקשר של גורמים אלו להופעת הנגיעות בכרם. כמן כן, חסר מידע כמותי על מיקום הנגיעות והערכת הסיכון להינגעות של דפנות הקרובות למקור מדבק. הבנת החשיבות של כל אחד מהגורמים והקשר ביניהם יכולה להשפיע על דרך ההתמודדות עם המחלה.

דינאמיקת התפשטות המחלה בתוך הכרם: מחקרים קודמים איתרו דגם מרחבי מקובץ והתפשטות לאורך שורות של המחלה. אולם, לא בוצעה הערכת סיכון כמותית להינגעות של גפנים בסמיכויות שונות לגפנים נגועות בשנים עוקבות בין ובתוך השורות. חקר האפידמיולוגיה של מחלת קיפול העלים הראה כי בשנים הראשונות לחדירת המחלה היא מתאפיינת בדגם אקראי ולאחר מספר שנים הופך הדגם למוקדי (Habibi & Nutter, 1997). מחקרים אלו התבססו על ניתוח הנגיעות המרחבי בכלל הכרם, אך לא בוצעה הערכת סיכון ברורה לגפנים על פי מיקומם בכרם ברמות נגיעות תחילית שונות.

ניסויי הדברה ככלי לצמצום התפשטות המחלה: כנימות קמחיות מהוות מזיק מפתח בגידולים רבים ברחבי העולם. כתוצאה מכך, קיימת ספרות נרחבת העוסקת באמצעי ההדברה של כנימות קמחיות בכלל וקמחית הגפן בפרט (לדוגמא: Daane et al., 2006). על אף העובדה כי קיימת חשיבות להדברת הקמחית כווקטור למחלת קיפול העלים, עד היום לא נבחן באופן מעשי הקשר בין ההדברה של קמחית הגפן והתפשטות המחלה.

יעילותה של הדברה ממוקדת: הדברה ממוקדת ככלי לצמצום התפשטות המחלה נבחנה בעבר על ידי מספר קבוצות מחקר. Pietersen (2004) התבסס בעבודתו על עקירת גפנים נגועות בחלקת הכרם, אך לא סיפק נתונים מספריים. לעומתו, Atallah וחבריו (2012a) ערכו מספר סימולציות של החלפת גפנים נגועות בכרמים וירטואליים. לכל טכניקת עבודה יתרונות וחסרונות ואין ספק כי קיים יתרון ברור

למחקרים המבוססים על נתוני אמת מעקירת גפנים בכרם והשוואה לחלקות בהן לא התבצעה עקירה, אך עד כה לא פורסמו עבודות כאלה. מצד שני השימוש בסימולציות מחשב הוא זמין וקל, אך אינו יכול לחזות סטיות מהנחות המקור. דוגמא לכך ניתן למצוא במחקרם של Atallah וחבריו (2012a), אשר הניחו כי עקירת גפנים נגועות תמנע לחלוטין את הנגיעות המשנית הנובעת מהן. לעומת הנחה זו, נתוני האמת אשר סופקו בעבודתו של Pietersen (2004) נמצא כי למרות העקירה נמצאה נגיעות החדשה, בסמיכות לגפנים העקורות. לא נמצאו עבודות המשלבות את שתי הטכניקות המחקריות לצורך חקר הדברה ממוקדת. ביצוע הדמיות המבוססות על נתוני אמת יכול לספק ממצאים בעלי דיוק רב יותר.

סקירת הספרות שתוארה עד כה, מעידה על הצורך לנתח באופן מרחבי נתוני אמת רב שנתיים של התפשטות המחלה. שילוב זה, יסייע בחקר האפידמיולוגיה של מחלת קיפול העלים ובאמצעות הידע שיתקבל, ניתן יהיה לפתח אסטרטגיות התמודדות מושכלות כנגד המחלה.

הנחות המחקר- על בסיס הידע הקיים בתחום ניתן להניח את ההנחות הבאות: (1) מקור הנגיעות במחלה בכרמים חדשים הניטעים מחומר ריבוי נקי הוא קמחיות הנושאות את המחלה המגיעות באופן פאסיבי (הסעה באמצעות הרוח); (2) קמחיות נשאיות יכולות להגיע לכרמים החדשים רק מכרמים ולא מגידולים אחרים או צמחי בר בסביבה; (3) בתוך הכרם, עיקר תנועת הקמחיות היא מקומית- מוקדית.

השערות המחקר- מהנחות המחקר נגזרות ההשערות הבאות: (1) ההתפשטות של הנגיעות בכרם חדש מתחילה מקמחיות נשאיות מחוץ לכרם וממשיכה במעבר המוגבל של הקמחיות בין גפן לגפן. ההשערה היא כי את ההתפשטות התלויה במעבר של הקמחיות בתוך הכרם ניתן לאפיין באמצעות זיהוי המוקדים ואילו את הכניסה המתמדת מבחוץ מורכב יותר לאפיין בשל היותה אקראית, אך ניתן יהיה לשייכה לתעופות זחלנים אל הכרם, סמיכות לכרמים נגועים ומשטר רוחות. (2) דגמי הנגיעות- מוקדי ואקראי ישתנו בתלות בזמן ובשיעור הנגיעות. (3) הדברת קמחיות תאט את התפשטות המחלה. (4) מסד הנתונים יאפשר לפתח הדמיה ראשונית ככלי לצמצום התפשטות המחלה. השערות אלו תורגמו למטרות המחקר.

מטרות המחקר

- (1) זיהוי מקור וגורמים לחדירת המחלה אל הכרם (בכרמים צעירים, נטיעת 2009 והילך).
- (2) אפיין דינאמיקת התפשטות המחלה בתוך הכרם.
- (3) הגדרת הקשר בין הדברת הקמחיות להתפשטות המחלה בכרמים בוגרים.
- (4) פיתוח הדמיה ראשונית לבחינת יעילות הדברה ממוקדת לצמצום התפשטות המחלה.

3. שיטות וחומרים

3.1 שיטות כלליות

3.1.1 קביעת גודל אוכלוסיית הקמחיות על הגפנים

הניטור על כל גפן בוצע באמצעות קילוף הגזע וחיפוש קמחיות במשך 5 דקות (Geiger & Daane, 2001). רמת אכלוס הגפן בקמחיות הוגדרה בנפרד עבור כל שלב פנולוגי (כנימות בוגרות, זחלנים ושקי ביצים). לצורך איסוף הנתונים הוגדרו 3 רמות אוכלוסייה עבור כנימות בוגרות וזחלנים (נמוכה = 1-10 פרטים, בינונית = 11-30, גבוהה = מעל 30 פרטים). כמות שקי הביצים נספרה ישירות. רמות הכנימות הבוגרות והזחלנים הומרו לחציונים לצורך הניתוח הסטטיסטי. מועד ושיטת הדיגום (מספר הגפנים הנדגמות וסידורן במרחב) נקבעו בהתאם לסוג הניסוי ויפורטו לכל ניסוי בנפרד.

3.1.2 ניטור נוכחות אוכלוסיית זכרים של הכנימה הקמחית

אוכלוסיית הזכרים נוטרה באמצעות מלכודות פרומון (מלכודת דלתא, תוצרת "אגרון") לאורך כל תקופת המחקר. כל מלכודת הכילה נדיפית הטעונה ב 100 מיקרוגרם של הפרומון הנקבי (S-lavandulyl senecioate) (תוצרת "Chem Tica International S.A."). הנדיפית הוחלפה כל 6 שבועות על פי הוראות היצרן, לוחית הדבק הוחלפה ונבדקה כל שבועיים. מיקום וכמות המלכודות הותאמו לכל ניסוי ויפורטו לכל ניסוי בנפרד (איור 3).



איור 3- מלכודת פרומון ("דלתא"), לניטור אוכלוסיית הזכרים של קמחית הגפן (צילום: תמר סוקולסקי).

3.1.3 איתור ומיפוי גפנים נגועות בוירוס

גפנים בעלות תסמיני המחלה הוגדרו בעבודה זו כגפנים נגועות. איתור גפנים בעלות תסמיני המחלה בוצע על ידי קבוצת סוקרים בתקופה בה רואים התבטאות מירבית של התסמינים (אוקטובר-נובמבר). לצורך אחידות, הוגדרו ויזואלית טרם האיתור תסמיני המחלה. קבוצת הסוקרים הלכה משני צדיה של כל שורת גפנים, גפן אשר זוהתה כבעלת תסמינים-נגועה סומנה בשטח ותועד מיקומה המדויק

(מספר שורה ומספר גפן). דגימות עלים מגפנים בעלות תסמינים וללא תסמינים נשלחו לצורך תיקוף מולקולארי ב-PCR (פרוטוקול מפורט מצוי ב (Ling et al., 2001)).

3.1.4 יצירת מפות

מיקומי תחילה וסוף של כל שורה בחלקות הטיפול מופו באמצעות d-GPS (רמת דיוק תת-מטר) והועברו לשכבות מרחביות בסביבת מערכת מידע גיאוגרפית (ArcGIS9.3). במידת הצורך בוצעו תיקונים והתאמות לדיוק מרבי (באמצעות שימוש באורטופוטו). מיקומה הייחודי של כל גפן הוסף לשכבת הכרם באופן חצי-אוטומטי באמצעות כלי עריכה של ArcGIS ושל ET-GeoTools (<http://www.ian-ko.com>) ל-ArcGIS בהתבסס על מרחקים ממוצעים בין הגפנים ומספר הגפנים בכל שורה. בעמודה ייעודית בתוך שכבת הגפנים של החלקה תועדה לכל עונת מחקר נגיעות הגפנים במחלה.

3.2 זיהוי מקור וגורמים להופעת המחלה בכרמים צעירים

3.2.1 אתרי הניסוי

הניסוי נערך במשך שלוש שנים (2010-2012) בתשעה כרמים צעירים (נטיעות 2009-2010) שישה שניטעו נקיים מווירוס וקמחיות ברמת הגולן ובגליל. שנת המחקר הראשונה שימשה ללמוד שיטות העבודה והחל מהשנה השנייה (2011) נאספו נתונים המוצגים בעבודה זו (פרט לניטור הזכרים שהחל כבר בשנה 2010). בשנה השנייה, התמקד המחקר בשישה כרמים צעירים בסמיכות שונה מכרמים ותיקים הנגועים בוורוס ובקמחיות. כל החלקות של הכרמים הצעירים טופלו בניאוניקוטינאידים בהגמעה על פי ממשק הכורם. הכרמים אופיינו על-פי דפוס הסמיכות לכרמים ותיקים וצעירים: סמוכים מצד אחד, סמוכים משני צדדים או מבודדים יחסית (מידע על מיקום, גודל החלקה, זן, שנת ניסוי, מאפייני הסמיכות של הכרמים ואחוז הגפנים בעלות תסמינים בכל שנת מחקר מפורט בנספחים; טבלה I. מפות הכרמים וסביבתם, ראה נספחים; איור I-III).

3.2.2 ניטור תעופת הזחלנים

ניטור תעופת זחלנים פאסיבית נערכה באמצעות לוחיות דבק, בכדי שהלוחיות יהוו כלי לוכד ללא השפעת משיכה לצבע נבחרו לוחיות שקופות. בשולי ובמרכז חלקות הניסוי הוצבו עמודים ועליהם לוחיות פוליפרופילן שקופות (תוצרת Mapal Cooperative Society Ltd) (14*20"o מ) מרוחות בדבק "רימיפוט" (תוצרת "רימי"), בגובה 150 מ', להלן לוחיות דבק (איור 4). בכל אחת מפאות הכרם מוקמו חמישה עמודים עם לוחיות במרחק של 9 מטר ביניהם. בכל נקודה הוצבה לוחית הפונה כלפי הכרם ולוחית הפונה כלפי השטח בשול הכרם. בנוסף, בתוך הכרם, בשתי שורות מרכזיות הוצבו 10 עמודים (5 בכל שורה) ועל כל עמוד מוקמו שתי לוחיות (ראה איור IV, נספחים). הלוחיות נתלו בשלושה מועדים (מאי, יולי וספטמבר) למשך שבוע ונבדקו תחת בינוקולר לזיהוי זחלנים של קמחית.

הזחלנים שנמצאו בכל לוחית נספרו ותועד מיקום הלוחית בה נמצאו. הזחלנים שנמצאו נשמרו באתנול 70% ונשלחו לבדיקה מולקולארית ב-PCR במעבדתם של דר' גל ספיר ודר' עומר קריין (מיג"ל- מו"פ צפון) לצורך זיהוי של הפרטים כקמחית הגפן ונשאות הווירוס. תוצאות הבדיקה המולקולארית אכן אישרו את הפרטים כקמחית הגפן, נשאות הווירוס לא אושרה בשל קשיים טכניים המיוחסים לשיטה המולקולארית לזיהוי הווירוס.

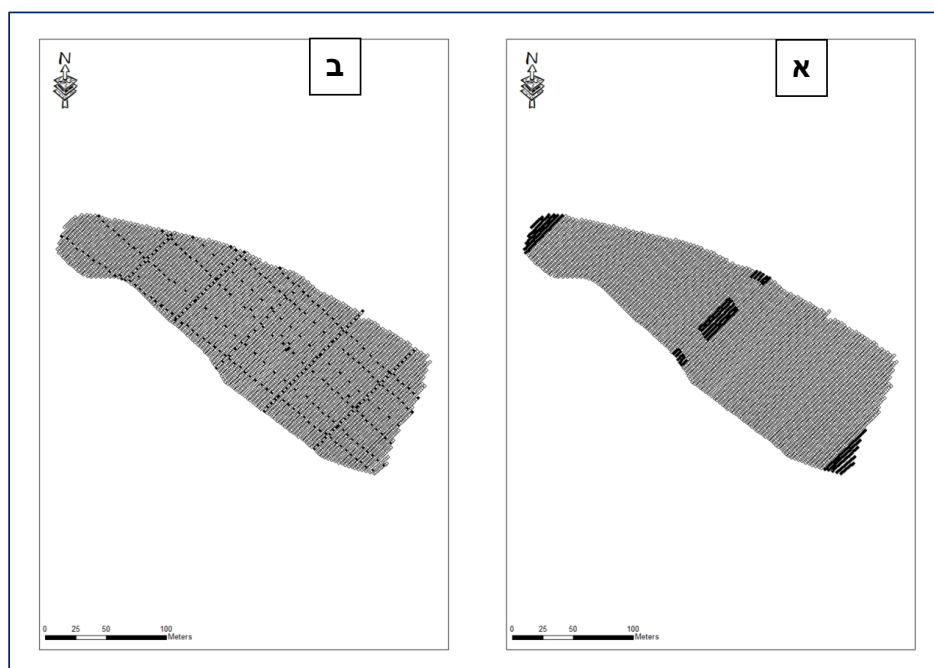
נערכה השוואה בממוצע לכידות הזחלנים למלכודת בין כרמים בעלי מאפיינים שונים ובין אזורים שונים בכרם. ההשוואה התמקדה בין מלכודות המיוחסות לסביבה שונה (סמיכות לכרם בוגר, סמיכות לכרם צעיר, סמיכות לסביבה שאינה כרם) ובין מלכודות המיוחסות לארבעה כיווני רוחות השמיים.



איור 4- לוחיות פוליפרופילן שקופות המרוחות בדבק, לניטור תעופה פאסיבית של זחלנים על עמוד בחלקת הכרם (צילום: תמר סוקולסקי).

3.2.3 ניטור אוכלוסיית הקמחיות על הגפן ותעופת זכרים

באמצע העונה (יולי-אוגוסט) נערך ניטור של אוכלוסיית נקבות, זחלנים ושקי ביצים במדגם של 4-16%, 4-9% מהגפנים בחלקה (2011,2012, בהתאמה). בשנים 2010-2011 נדגמו כל הגפנים בחמש השורות הקיצוניות של כל חלקה ובמקבצים במרכז כל חלקה. כתוצאה ממצאי הניטור בשנות המחקר הראשונה והשנייה, הוחלט בשנת 2012 לבצע ניטור ע"י חלוקת הכרם לחמשה פסי אורך וחמשה פסי רוחב. בתוך תחומים אלה נדגמו הגפנים במרחק של 6 מטרים זו מזו בשולי החלקה (45 מטר) ו-12 מטרים במרכז החלקה, כך ניתן היה להשוות בין שולי ומרכז החלקה (ראה איור מס 4).



איור 4- ניטור אוכלוסיית הקמחיות על גפנים במרחב הכרם. (א)- בשנת המחקר 2011 נבדקו כל הגפנים בשורות הקיצון של החלקה ובשלושה מקבצים במרכז החלקה. (ב)- בשנת המחקר 2012- נוטרו הקמחיות על ידי חלוקת הכרם לחמשה פסי אורך וחמשה פסי רוחב. עיגולים שחורים מייצגים גפנים שנבדקו לנוחות קמחיות.

ניטור אוכלוסיית הזכרים של הקמחיות נעשה על-ידי הצבת שלוש מלכודות פרומון בתוך כל חלקת ניסוי ומלכודת נוספת בכל חלקה הסמוכה לכרם, כמדד להשפעת סביבת הכרם. חושב ממוצע לכידות הזכרים למלכודת ליום ונערכה השוואה במספר הלכידות בין חלקות הניסוי לסביבתם ובין חלקות ניסוי בעלות מאפיינים שונים (כרמים הסמוכים משני צדדים לכרם ותיק, כרמים הסמוכים מצד אחד לכרם ותיק וכרמים מבודדים).

3.2.4 עיבוד נתונים וניתוח מרחבי של נגיעות כפונקציה של קירבה לכרמים

מפות הנגיעות שיוצרו בסביבת ArcGIS 10 שימשו לניתוח מרחבי. בשלב ראשון יוצרו חייצים (buffers) משולי הכרמים במרחקים של שליש מגודל חלקת הניסוי, זאת בכדי לייחס את הנתונים לשול הכרם הנבדק, בכל אחד מן החייצים חושבו אחוזי הנגיעות. לאחר מכן, קובצו אחוזי הנגיעות בחייצים השונים לפי סוג הדופן (סמיכות לכרם בוגר, סמיכות לכרם צעיר, סמיכות לסביבה שאינה כרם). נבדקו ההבדלים באחוזי הנגיעות (לאחר טרנספורמצית ארקסינוס) בין סוגי הדפנות והמרחקים השונים.

3.3 חקר הדינאמיקה של התפשטות המחלה בתוך הכרם

3.3.1 אתרי הניסוי

התפשטות מחלת קיפול העלים במרחב ובזמן נלמדה על בסיס נתונים רב שנתיים של שלושה כרמי קברנה סוביניון ברמת הגולן:

כרם גשור - כרם מסחרי זה ניטע בשנת 2000 מחומר ריבוי שאושר כנקי בזמן הנטיעה. בתוך הכרם נבחר בלוק אשר הכיל 10 שורות (כל אחת באורך ממוצע של 167 מטרים), שורות אלו שימשו למעקב רב שנתי 2005-2012 אחר התפשטות מחלת קיפול העלים.

כרם הרוח וכרם עין זיוון - שני כרמים מסחריים אלו ניטעו בשנים 2007 ו 2008, בהתאמה. הכרמים חולקו ל 12 חלקות (8 חלקות בכרם הרוח ו 4 חלקות בכרם עין זיוון), כל תת-חלקה בגודל ממוצע של כ 3 דונם. כל 4 חלקות היוו בלוק (סה"כ 3 בלוקים - 2 בכרם הרוח ואחד בכרם עין זיוון). לאורך השנים 2010-2012 נערך מעקב אחר התפשטות המחלה בכרמים אלו (פירוט מלא על כרמים אלו מצוי בטבלה II, נספחים).

בכל שלושת הכרמים עוצבה העלווה בשילוב שריגים אנכי ליצירת קיר עלווה רציף בין הגפנים בגובה של 2 מטרים (VSP design). מרחק הנטיעה בין הגפנים הינו 1.5 מטרים בין הגפנים ו-3 מטרים בין שורות הכרם.

3.3.2 התפשטות מחלת קיפול העלים במרחב

אפיון התפשטות ודגם התפשטות המחלה במרחב בוצע באמצעות חישוב הסיכון לנגיעות של גפנים כפונקציה של המיקום היחסי שלהם מגפן נגועה. בכל שנת מעקב (t_0), גפנים בריאות במרחקים שונים מגפנים נגועות סומנו בשכבת הכרם. בשנה העוקבת (t_1), חושב אחוז הנגיעות במחלת קיפול העלים בגפנים המסומנות. המרחקים השונים שנבדקו: 1- גפן שכנה לגפן נגועה באותה שורה (**להלן גפן סמוכה**) 2-גפן במרחק גפן אחת מגפן נגועה באותה שורה (**גפן שניה**), 3- גפן במרחק שתי גפנים מגפן נגועה באותה שורה (**גפן שלישית**) 4- גפן מקבילה לגפן נגועה בשורה שכנה (**שורה סמוכה**), 5- גפן מקבילה לגפן נגועה במרחק שתי שורות (**שורה שניה**), 6- גפנים שלא התאימו לאף אחת מההגדרות שפורטו לעיל (**שאר**). הגפנים שנבדקו לנגיעות בין שורות הגפנים (**שורה סמוכה, שורה שניה ושאר**) לא היו בסמיכות לגפנים נגועות באותה שורה (ראה איור V, נספחים). בתוך שורת הכרם בוצעה בחירת הגפנים הנבדקות באופן ידני, בין שורות הכרם בוצעה בחירת הגפנים על ידי יצירת חייץ אלכסוני, לצורך כך נעשה שימוש בכלי Table to ellipse בסביבת ArcGIS 10 (פרטי אורך, רוחב ואזימוט החייץ האלכסוני מצויים בטבלה III, ראה נספחים).

בכל מיקום יחסי שנבדק, חושב אחוז הנגיעות בשנה העוקבת מתוך כלל הגפנים באותו מיקום יחסי מגפן נגועה כפי שמפורט במשוואה 1.

$$y = \frac{\text{מספר הגפנים הנגועות (i) בשנה } t_1}{\text{מספר הגפנים הכללי (i) בשנה } t_0} \times 100$$

כאשר {שאר, שורה שניה, שורה סמוכה, גפן שלישית, גפן שניה, גפן סמוכה} $(i) \in$

3.3.3 התפשטות מחלת קיפול העלים בזמן

התפשטות המחלה בזמן נבחנה על פי תוספת הנגיעות בין שנים עוקבות כתלות ברמת הנגיעות התחילית. בשלב ראשון חולקו אחוזי הנגיעות התחילית (נגיעות בשנה t_0) בכל חלקות המחקר לאורך שנות המעקב לשלושה טווחים בהתאם למודל הלוגיסטי המתואר במחקרים קודמים (Habibi & Nutter, 1997). החלוקה בוצעה באמצעות k -means, המאפשר חלוקה סטטיסטית לשלוש קבוצות בעלות שונות פנימית מזערית ושונות מרבית בין קבוצות (JMP8). חלוקת הנתונים הולידה את שלושת טווחי הנגיעות התחילית הבאים: I- 4-10.5%, II- 11-17%, III- 18-31%, (פירוט חלקות המחקר, אחוזי הנגיעות בשנה t_0 וחלוקה לקבוצות מפורט בטבלה IV, ראה נספחים). בשלב הבא חושבה תוספת הנגיעות שהתגלתה בשנה t_1 ביחס לנגיעות בשנה t_0 (t_1-t_0) בכל חלקת מחקר בכל שנת מעקב ובכל טווח נגיעות תחילית.

3.3.4 התפשטות מחלת קיפול העלים- השפעת הזמן על הדגמים המרחביים

לאחר שאותר דגם התפשטות המחלה המרכזי (סעיף 3.2.1) ונקבע קצב ההתפשטות בזמן (סעיף 3.2.2). נבחנה השתנות דגם ההתפשטות בזמן (כתלות ברמת הנגיעות התחילית). לצורך כך, חושבו סיכויי ההינגעות במיקום מוגדר בכרם בטווחי הנגיעות התחילית השונים (נגיעות בשנה t_0). בשל העובדה כי לנתונים אלו היבט מרחבי בוצעה בנוסף לחלוקה באמצעות K -means התאמה באמצעות המדד הסטטיסטי- Moran's I. מדד זה בוחן אוטוקורלציה- האם המשתנה דומה לעצמו יותר בסביבתו הקרובה (ArcGIS 10). **חלוקת נתונים זו, המתייחסת גם למרחב, הולידה את ארבעת טווחי הנגיעות התחילית הבאים:** I- 4-7%, II- 7.5-13%, III- 14-22% ו IV- 23-31% (פירוט חלקות המחקר, אחוזי הנגיעות בשנה t_0 וחלוקה לקבוצות מפורט בטבלה IV, ראה נספחים). בכל אחד מהטווחים בוצעה הערכת סיכון הינגעות ואותר דגם ההתפשטות המאפיין את טווח זה (כמפורט בסעיפים 3.2).

מעוצב:סמן

3.4 הגדרת הקשר בין הדברת הקמחית להתפשטות המחלה בכרמים בוגרים

3.4.1 מבנה הניסויים

הניסויים נערכו במשך שלוש שנים (2010-2012) בכרמים ותיקים בגולן, בגליל ובשפלה, בהם קיימת אוכלוסיית קמחיות ונגיעות בוורוס המאפשרת ביצוע ניסוי הדברה וביחית השלכותיו על התפשטות המחלה. בכל כרם אופיינה רמת נגיעות גפנים בוורוס לפני תחילת הניסוי ובתום כל שנת ניסוי. כל כרם היווה בלוק ובכל בלוק בוצעו כל טיפולי ההדברה השונים. הטיפולים ייושמו בתחילת העונה, בתקופת פריחת הגפנים (אפריל-מאי). (מידע על מיקום, גודל החלקה, זן, שנת נטיעה, שנות הניסוי, גודל חלקות הטיפול ואחוזי הנגיעות במחלה מפורטים מפורט בטבלה II, נספחים).

3.4.2 ניסויי לבחינת השפעת שיטות הדברה שונות על אוכלוסיית הכנימה הקמחית

ניסוי זה נערך ב-2010 בשלושה כרמי קברנה סוביניו: כרם גשור (רמת הגולן), כרם מירון (גליל עליון) וכרם חולדה (שפלת יהודה) בחלקות בהם הוגדרה רמת הנגיעות בוורוס כנמוכה עד בינונית על פי מידע מפקחים ומדריכים.

נבדקו הטיפולים הבאים:

(1) ביקורת- לא ניתן כל טיפול כנגד הקמחית.

(2) חלקת ביקורת ממשקית - ניתן טיפול בהתאם לדרישת הכורם שקבע את מועד היישום ותכשירי הטיפול. הטיפול כלל הגמעה באימידקלופריד (2 סמ"ק לגפן) ובמידת הצורך טיפול משלים בזרחנים אורגניים.

(3) טיפול דרסטי- טיפול הגמעה באימדקלופריד (2 סמ"ק לגפן) + קילוף גזעי הגפנים עד לגובה הזרועות וטיפול בזרחן אורגני (chloropyrifos) על גזע הגפן.

(4) בלבול זכרים- פוזרו 70 נדיפיות לדונם המכילות את הפרומון הנקבי של קמחית הגפן מתוצרת "סוטר" (כל נדיפית מכילה תערובת רצמית של פרומון המין *lavandulyl senecioata* +/- במינון 150 מ"ג, קצב שחרור 0.8~ מ"ג / יום).

בשל אחוזי נגיעות גבוהים בוורוס שהתגלו בסתיו 2010, המשך המחקר ב-2011-2012 נערך במתכונת שונה בכרמים אחרים.

3.4.3 ניסויי לבחינת השפעת שיטות הדברה שונות על התפשטות המחלה בכרמים בוגרים

הניסוי השני נערך ב-2011-2012 בשני כרמים אחרים בגולן, כרם עין זיוון וכרם הרוח, כאשר בכרם עין זיוון נבחר בלוק אחד ובכרם הרוח שני בלוקים (סה"כ שלושה בלוקים). בכל בלוק בוצעו כל טיפולי ההדברה השונים (מידע על שנת הנטיעה, גודל חלקות הניסוי ואחוזי הנגיעות במחלה מפורטים בטבלה II, נספחים). הכרמים מופו לנגיעות בוורוס בסתיו 2010 ואזורי הניסוי נבחרו על בסיס ניתוח מרחבי של דפוסי הנגיעות על מנת להציב את הניסוי באתרים בהם רמת הנגיעות התחילית נמוכה ופיזור הנגיעות אחיד ככל האפשר. דפוס פיזור הנגיעות נקבע באמצעות ניתוח Gi^* (Getis and Ord, 1996) ובכל החלקות נמצאו מוקדים חמים- מוקדים בהם קיימת נגיעות גבוהה במחלה (איורים VI, א, VI, ב, נספחים).

על-פי מיפוי ה-Gi* נבחרו תתי-חלקות בעלות פיזור אחיד של נגיעות (מחוץ למוקדים) ואשר מאופיינות ברמת נגיעות נמוכה יחסית בווירוס (8-16%). גודל חלקות הטיפול השונות נע בין 2.5-5 דונם זאת כדי לאפשר אבחון של השפעת ההדברה הן על אוכלוסיית הקמחיות והן על התפשטות המחלה במרחב. נבדקו הטיפולים הבאים:

(1) חלקת ביקורת ממשקית - ניתן טיפול בהתאם לדרישת הכורם שקבע את מועד היישום ותכשירי הטיפול. הטיפול כלל הגמעה באימידקלופריד (2 סמ"ק לגפן) ובמידת הצורך טיפול משלים בזרחנים אורגניים.

(2) טיפול דרסטי- טיפול הגמעה באימדקלופריד (2 סמ"ק לגפן) + קילוף גזעי הגפנים עד לגובה הזרועות וטיפול בזרחן אורגני (chloropyrifos) על גזע הגפן.

(3) בלבול זכרים- פוזרו 70 נדיפיות לדונם המכילות את הפרומון הנקבי של קמחית הגפן מתוצרת "סוטר" (כל נדיפית מכילה תערובת רצמית של פרומון המין *lavandulyl senecioata* +/- במינון 150 מ"ג, קצב שחרור 0.8 ~ מ"ג / יום).

(4) בלבול זכרים + קילוף גזע.

3.4.4 ניטור אוכלוסיית קמחיות על הגפן ותעופת זכרים

בחודש מרץ נערכה ספירה מקדימה של אוכלוסיית הקמחיות לפני יישום הטיפולים. החל מיישום הטיפולים ועד למועד בציר נבדקו אחת לחודש 20 גפנים בחלקות הטיפול (בשנת המחקר הראשונה, 2010) בוצע הניטור החודשי רק בחלק מחלקות הטיפול). באמצע יולי, עם עליית אוכלוסיית הקמחיות, נוטרו בכל חלקה כ- 50 גפנים במרכז כל חלקת טיפול. ניטור זה שימש כמדד לגודל האוכלוסייה לאחר המרה של הדרגות שנקבעו לחציונים (כפי שפורט בסעיף 2.1.1) ונערכה השוואה של תוצאות חודש יולי בין חלקות הטיפול השונות. ניטור אוכלוסיית הזכרים של הקמחית נעשה על-ידי הצבת מלכודת פרומון אחת בתוך כל חלקת טיפול. חושב ממוצע לכידות הזכרים למלכודת לחודש ונערכה השוואה של מספר הלכידות בין חלקות הטיפול השונות.

3.4.5 קביעת קצב ודגם התפשטות מחלת קיפול העלים

השוואת קצב התפשטות המחלה תלוי בכמות הגפנים הנגועות טרם טיפולי ההדברה, כפי שיוצג בהמשך תוצאות המחקר. בהתאם, נערכה ההשוואה בין טיפולי ההדברה השונים על ידי חישוב שיעור השינוי בנגיעות בכל בלוק טיפול בין שנות מחקר. כל טיפול חולק באופן אקראי ל- 4 תתי חלקות שוות וזהות בכל שנה ובכל תת- חלקה חושב שיעור השינוי באחוזי הנגיעות עפ"י משוואה 2.

משוואה 2

$$\text{שיעור השינוי} = \frac{LR(t_1) - LR(t_0)}{LR(t_0)}$$

ממצאי שיעור השינוי בטיפולים השונים נבדקו במבחן שונות משותפת (covariance). באמצעות מבחן זה אפשר לנרמל את שיעור הנגיעות התחילי בכל טיפול ולהשוות את השפעת הטיפול על שיעור שינוי הנגיעות. במידה ונמצא הבדל מובהק בוצע מבחן להשוואת ממוצעים (Tukey-Kramer HSD (JMP8).

3.5 פיתוח הדמיה ראשונית לבחינת התועלת בהדברה ממוקדת של הקמחית על צמצום התפשטות המחלה

שימוש במערכת מידע גיאוגרפי מאפשר ביצוע הדמיות של טיפולי הדברה על בסיס המידע הקיים וקבלת נתונים הנובעים מהשינויים כתוצר של ההדמיה (פרוטוקול מפורט (Sokolsky et al., 2013). טיפולי ההדמיה מאפשרים סימולציה של עקירת גפנים ע"י מחיקתם מבסיס הנתונים או סימולציה של "טיפול" בגפנים ע"י שינוי מצבם מנגועות לבריאות בבסיס הנתונים. הכלי מאפשר לדמות יישום של השפעות טיפול שונות (עקירה והדברה) ברמות יעילות שונות במרחב ובזמן.

3.5.1 הדמיית טיפול הדברה רב שנתי ביעילות משתנה

בסיס הנתונים- ההדמיה התבססה על מיפוי רב שנתי בין 2005-2011 של התפשטות מחלת קיפול העלים בכרם של קיבוץ גשור (כמפורט בסעיף 2.3.1). בסיס נתונים זה שימש להערכת התועלת בהדברה רב שנתית מצטברת וממוקדת ביעילות משתנה.

תיאור מהלך ההדמיה- בתהליך ההדמיה נבחנה ההשפעה של הדברה רב שנתית ממוקדת בסביבת גפנים נגועות. ההדמיה שילבה את הטיפולים הבאים: 1- עקירת הגפן הנגועה, 2- טיפול להדברת הכנימה הקמחית בגפנים הסמוכות לגפן הנגועה (אחת מכל כיוון). כפי שצוין, יעילות ההדברה כנגד כנימה קמחית תלויה בגורמים רבים ולכן אינה אחידה גם בתוך חלקות עצמן. לפיכך נבחנו רמות יעילות הדברה שונות: 0%, 25%, 50%, 75% ו 100%. בנוסף ההדמיה לקחה בחשבון את קיומן של גפנים סמויות, גפנים אלו נושאות את המחלה אך אינן מראות סימפטומים. בבדיקה מולקולארית שנערכה בכרם עין זיוון נמצא ששמונה אחוז מהגפנים השכנות לגפנים נגועות ואינן מבטאות תסמינים נגועות (ד"ר גל ספיר, מו"פ צפון- תקשורת אישית). בגפנים אלו אין משמעות לטיפול להדברת הקמחית בשל העובדה שהן כבר נגועות במחלת קיפול העלים. מאידך הן יכולות להוות מקור לנגיעות נוספת.

שלבי הביצוע- תהליך הדמיית הטיפולים בוצע על ידי בחירת גפנים מבסיס המידע, שבתנאי הטיפול השונים ניתן היה למנוע את הידבקותן במחלה. תחילה בוצעה הדמיית עקירה לגפנים נגועות בשנה T_0 . לאחר מכן נבחרו מבסיס המידע גפנים בריאות וראויות טיפול, גפנים אלו עמדו בכל הקריטריונים הבאים: 1- שכנות לגפנים נגועות בשנה t_0 . 2- ללא סימפטומים בשנה t_0 . 3- נגועות בשנה t_1 .

בשלב הבא, בוצעו תת-בחירות אקראיות מגפנים אלו כדי לכסות את הבעייתיות של יעילות הדברה לא מלאה ושל גפנים סמויות. תהליך הבחירה האקראית בוצע באמצעות פקודת <http://www.spatial ecology.com/htools/rndpnts.php> מתוך סרגל הכלים החיצוני Hawth's

analysis tool. ראשונה, נבחרו אקראית אותן גפנים שאינן סמויות (92%). מתוך גפנים אלו נבחרו אקראית גפנים ש"טופלו בהצלחה" בהתאם לאחוזי יעילות הטיפול שהוגדרו לעיל. בכל שנה ובכל טיפול חושב אחוז הנגיעות ואחוז הגפנים שנשארו מהחלקה המקורית לאחר ביצוע העקירה לכאורה.

3.5.2 הדמיית טיפולי הדברה כתלות בנגיעות התחילית ודגם הדברה

בסיס הנתונים- הדמיית טיפול זו נערכה על בסיס ארבעה טווחי הנגיעות התחילית שאופיינו בסעיף 3.2.1. ההדמיה נערכה על נתוני נגיעות בין שנתית שנאספו בכרם גשור (בחלקה בה נערך המעקב הרב שנתי), כרם הרחוק וכרם עין זיוון (כמפורט בסעיף 2.3.1).

תיאור מהלך ההדמיה- במסגרת זו נבחנה התועלת בהדברה בטווחי נגיעות תחילית שונים. בכל טווח נבחנה ההשפעה של טיפול ממוקד בגפנים נגיעות ובסביבתם וכן הדברה בכלל החלקה.

נבחנו שישה טיפולים אפשריים: 1. טיפול בגפנים הסמוכות לגפן נגיעה, אחת מכל צד ביעילות של טיפול דרסטי (100%). 2. טיפול בכלל חלקת הכרם ביעילות של טיפול בלבול שנה ראשונה (75%). 3. שילוב של טיפול בגפנים סמוכות וטיפול בכלל חלקת הכרם. 4. עקירת הגפן הנגיעה. 5. עקירת הגפן הנגיעה וטיפול בגפנים סמוכות ביעילות של טיפול הדברה דרסטי (100%). 6. עקירת הגפן הנגיעה, טיפול בגפנים סמוכות ביעילות של טיפול דרסטי (100%) וטיפול בכלל חלקת הכרם ביעילות של טיפול בלבול שנה ראשונה (75%). הערכים שנבחרו לייצג את יעילות הטיפולים מבוססים על הממצאים מניסוי ההדברה שנערך בעונות המחקר 2009-2010, בהשוואה לחלקות ביקורת ללא טיפול. בנוסף נלקח בחשבון בתהליך ההדמיה קיומן של גפנים סמוכות וסמויות (ראה סעיף 2.5.1). לאחר טיפולי ההדמיה נקבע שיעור הנגיעות הממוצע בכל טיפול בכל טווח ונבדקו הבדלים בשיעור הנגיעות בין הטיפולים השונים ונתוני המציאות (ללא כל טיפול).

3.6 שיטות ניתוח סטטיסטי

2.6.1 קביעת הבדלים בין טיפולים במבחן שונות חד כיווני ANOVA

לצורך ביצוע ההשוואה לקביעת הבדלים בין טיפולים נערך מבחן שונות חד כיווני ANOVA. במידה ונמצא הבדל מובהק בוצע מבחן להשוואת ממוצעים Tukey-Kramer HSD (JMP8). המדדים שנבדקו בשיטה זו הם: לכידות של זכרים במלכודות פרומון בכל הניסויים בטיפולים השונים. מספר הזחלנים שנלכדו במלכודות דבק בכרמים צעירים בין דפנות בסמיכויות שונות לכרמים בוגרים ובין כיוונים שונים (בפרק זהיו מקור וגורמים להופעת קמחיות נשאות ושאינן נשאות בכרמים חדשים), תוספת הגפנים הנגיעות (t_1-t_0) בכל רמת נגיעות תחילית (בפרק חקר הדינאמיקה של התפשטות המחלה בכרם), הבדלים באוכלוסיית הקמחיות (בפרק על הדברת הקמחיות).

לצורך נרמול, נתונים המוצגים כאחוזים עברו טרנספורמציה \arcsin וההבדלים נבדקו במבחן שונות חד כיווני ANOVA. במידה ונמצא הבדל מובהק בוצע מבחן להשוואת ממוצעים (Tukey-Kramer (JMP8) HSD. בשיטה זו נבדקו: ההבדלים באחוזי הנגיעות בין סוגי הדפנות והמרחקים השונים (בפרק זיהוי מקור וגורמים להופעת קמחיות נשאות ושאינן נשאות בכרמים חדשים), הבדלים באחוז הגפנים הנגועות בשנה העוקבת (t_1) בכל מרחק יחסי מגפן נגועה ב- t_0 (בפרק חקר הדינאמיקה של התפשטות המחלה בכרם) וההבדל בין אחוזי הנגיעות לאחר שלושת טיפולי ההדמיה בכל טווח נגיעות תחילית (בפרק הערכת התועלת בהדברה ממוקדת של קמחיות על צמצום התפשטות המחלה).

2.6.2 ניתוח "מוקדים חמים" (mGi^* , Gi^*)

לצורך בחירת אתרי הניסוי בפרק הדין בלימוד הקשר בין הדברת הקמחית להתפשטות המחלה בשיטות הדברה שונות בכרמים בוגרים נערך ניתוח "מוקדים חמים" (mGi^* , Gi^*), הניתוח הסטטיסטי Gi^* בוחן את מידת הפיזור המרחבי של הנתונים ובכמה הם נבדלים מפיזור אקראי (Getis & Ord, 1996) כמפורט במשוואה 3.

משוואה 3

$$G_i^*(d) = \frac{\sum_j w_{ij}(d)x_j - W_i^* \bar{x}^*}{s^* \sqrt{\frac{(nS_{ii}^* - W_i^{*2})}{n-1}}}$$

כאשר i מהווה את מרכז התא הנבדק, d הינו רדיוס הבדיקה, w_{ij} הינו משקל השכן j במיקום i . n הוא מספר הנתונים בתא שטח, w_i^* הוא סכום המשקלים, S_{ii}^* מספר הנתונים ברדיוס d במרכז המיקום, \bar{x}^* מהווה ממוצע כלל תא השטח, s^* מהווה סטיית התקן של כלל תא השטח.

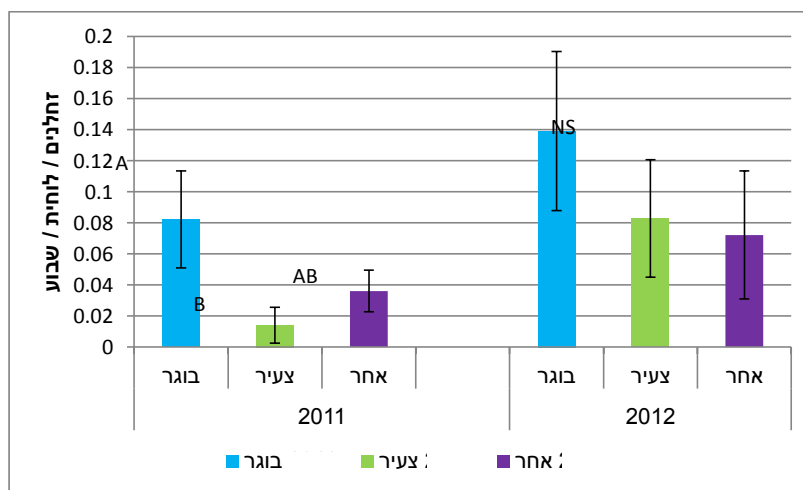
ניתוח זה מחשב את סכום ההפרשים בין הנתונים הנבדקים עבור כל תת שטח לבין ממוצע הנתונים הכללי כאשר ההפרשים מבוססים כערכי תקן, Z-score, בעלי ממוצע אפס וסטיית תקן אחת (המכנה במשוואה 2). הסטטיסטי Gi^* הוא דו-כיווני: ערכים בטווח שבין ± 2 יעידו על פיזור נורמאלי במרחק שתי סטיות תקן מהממוצע; ערכים חיוביים הגדולים מ-2 יעידו על קיבוץ של נגיעות גדול יותר בצורה משמעותית מהממוצע (מוקד חם) וערכים הקטנים מ-(-2) יעידו על קיבוץ של נגיעות נמוכה בצורה משמעותית מהממוצע (מוקד קר). כאמור, הניתוח הסטטיסטי Gi^* מושפע במידה רבה מערכי הממוצע הכללי. בשל העובדה שנקודת הייחוס הינה ממוצע הנגיעות לשנה ספציפית וממוצע זה עולה בכל שנה, השימוש ב- Gi^* לאיתור "מוקדים חמים" של נגיעות מוגבל. הניתוח הסטטיסטי Modified Gi^* (mGi^*) אשר פותח במסגרת המחקר הזה מאפשר בחירה של ממוצע נגיעות וסטיית תקן הרצויים (למשל של שנים קודמות) ובכך מהווה כלי יעיל יותר בניתוח מרחבי-עתי של מקבצי נגיעות ובעיקר יכול לאפשר איתור טוב יותר של גפנים בסיכון. פיתוח ה- mGi^* נעשה באמצעות שינוי קוד כלי הניתוח המקורי תוך שימוש בשפת התוכנה Python בסביבת ArcGIS (Cohen et al., 2011).

4. תוצאות

4.1 זיהוי מקור וגורמים להופעת המחלה בכרמים צעירים

4.1.1 תעופת זחלנים בכרמים הצעירים

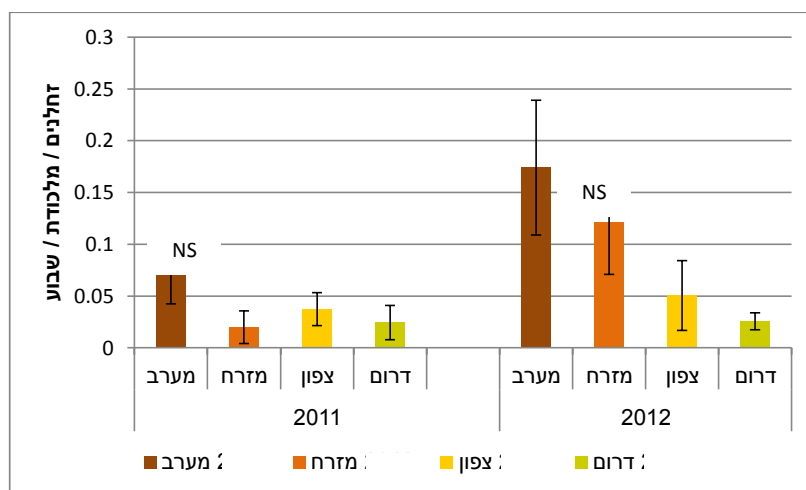
תעופה פאסיבית של זחלנים עלולה להוות מקור מדבק ראשוני למחלת קיפול העלים. בכדי לאמת את קיומה של תנועה כזו ואיתור אזורים בכרם בעלי סיכון גבוה להדבקות חיצונית הוצבו לוחיות דבק שקופות בכרמים צעירים בשולי ובתוך הכרם. נערכה השוואה של מספר הלכידות בין דפנות הכרמים הצעירים הממוקמים בסמיכות לשלושה סוגי חלקות עיקריים: כרם צעיר, כרם בוגר או "אחר" (מטע תפוח, שדה בור ועוד; איור 5). בעונת המחקר הראשונה (2011), מירב הלכידות נמצאו בלוחיות הסמוכות לכרמים בוגרים (0.08 זחלנים/לוחית/שבוע), בלוחיות אלו נלכדו באופן מובהק ($F=3.4, df=2, p=0.052$) יותר זחלנים בהשוואה ללוחיות הסמוכות לכרמים צעירים (0.01 זחלנים/לוחית/שבוע). מספר הלכידות בלוחיות הסמוכות לסביבה "אחרת" (0.03 זחלנים/לוחית/שבוע) לא נבדל באופן מובהק משאר הלוחיות אך נטה להיות נמוך ממספרן בלוחיות הסמוכות לכרם בוגר וגבוה מהמספר שבסביבת כרם צעיר. מגמה דומה, אך לא מובהקת באופן סטטיסטי, של מירב הלכידות בסביבת הכרם הבוגר נראתה גם בעונת המחקר השנייה (2012), מספר הלכידות הרב ביותר נמצא בלוחיות הסמוכות לכרם בוגר (0.13 זחלנים/לוחית/שבוע) בעוד שבדפנות הסמוכות לכרמים צעירים ולסביבה אחרת מספר הלכידות היה 0.08 ו 0.07 זחלנים/לוחית/שבוע, בהתאמה. ניתוח משולב של הנתונים משתי שנות המחקר לא נמצא הבדל מובהק בין הדפנות השונות אך נראתה מגמת לכידות זהה לשנת 2011 (ראה איור VII, נספחים).



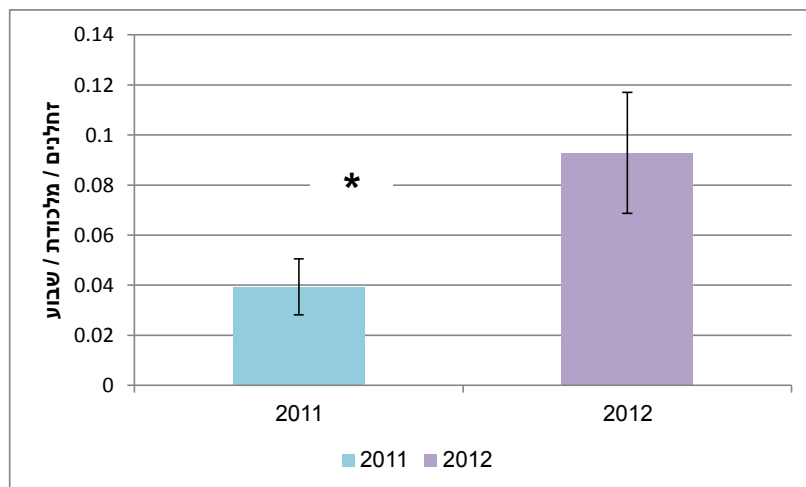
איור 5- לכידת זחלנים במלכודות דבק בכרמים צעירים בשתי עונות המחקר על פי סביבת המלכודת (ממוצע זחלנים/לוחית/שבוע \pm שגיאת תקן). סמיכות לכרם בוגר (בוגר); סמיכות לכרם צעיר (צעיר); לא בסמיכות לכרם (אחר). אותיות שונות מעידות על הבדל מובהק בתוך אותה שנת המחקר.

תעופה פאסיבית של חרקים מושפעת לעיתים קרובות ממשטרי רוחות, בשל כך נבדקה השפעת מפנה הלוחית הדביקה על מספר הלכידות (איור 6). המגמה השולטת היא כי מירב הלכידות בשתי עונות המחקר מקורן בלוחיות בעלות מפנה מערבי בעוד שמיעוט הלכידות נמצא בלוחיות בעלות מפנה דרומי ומזרחי בשנת 2011 ובמפנה הדרומי בשנת 2012. ניתוח להשוואת הלכידות בכל עונת מחקר לא מצא הבדלים מובהקים בין המפנים השונים, עם זאת בניתוח סטטיסטי רב שנתי נמצא הבדל מובהק ($df=3$, $F=2.79$, $p=0.05$) במספר הלכידות במפנה המערבי (0.12 זחלנים/לוחית/שבוע) בהשוואה למפנה הדרומי (0.02 זחלנים/לוחית/שבוע) (ראה איור VIII, נספחים).

בנוסף נמצאו הבדלים מובהקים במספר לידות הזחלנים/לוחית/שבוע בין שתי שנות המחקר ($df=1$, $F=4.04$, $p=0.05$). בשנת 2011 נלכדו בממוצע 0.03 זחלנים/לוחית/שבוע בעוד שבשנת 2012 ממוצע הלכידות היה 0.09 זחלנים/לוחית/שבוע (ראה איור 7).



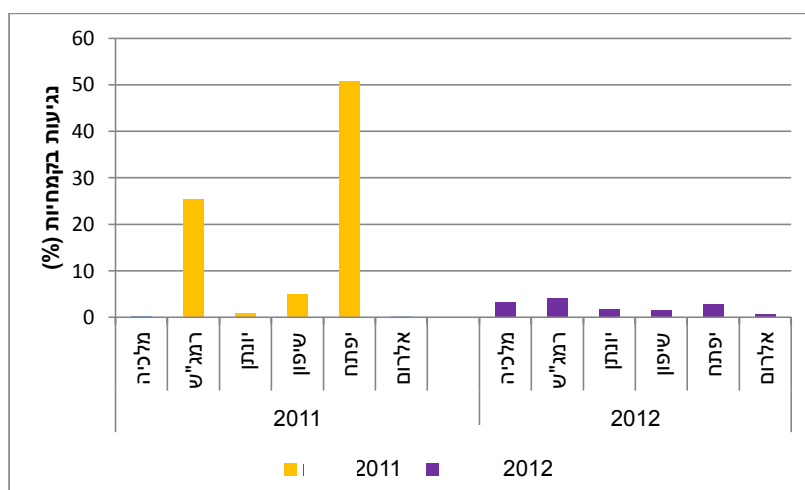
איור 6- לכידות זחלנים במלכודות דבק בכרמים צעירים בשתי שנות המחקר על פי מפנה המלכודות (ממוצע זחלנים/ לוחית/שבוע \pm שגיאת תקן). צבעים שונים של העמודות מייצגים מפנים שונים. אותיות שונות מעידות על הבדל מובהק בתוך אותה שנת המחקר.



איור 7- לכידת זחלנים במלכודות דבק בכרמים הצעירים על פי שנת הלכידה (ממוצע זחלנים/ לוחית/שבוע ± שגיאת תקן). כוכבית מעידה על הבדל מובהק בין שתי שנות המחקר.

4.1.2 אוכלוסיית נקבות, זחלנים ושקי ביצים

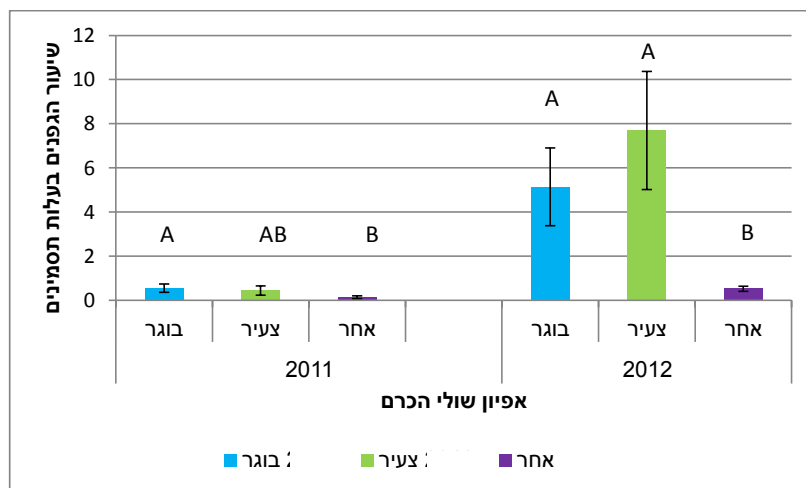
לצורך קביעה של אוכלוסיית הקמחיות בחלקות הניסוי בוצע ניטור ידני בגפנים, במהלך הניטור נערך חיפוש אחר דרגות שונות (נקבות, זחלנים ושקי ביצים) של אוכלוסיית הקמחית במשך 5 דקות. התפרוסת המרחבית ואחוז הגפנים הנבדקות נבדל בין שתי שנות המחקר (ראה פירוט בסעיף 2.2.3), בשנת 2011 נבדקו 4.3-16.3 גפנים מכלל הכרם, בעוד שבשנת 2012 נבדקו 3.5-9.3% מהגפנים. במספר כרמים נמצאה מגמת ירידה חדה באוכלוסיית הקמחיות הכללית (סיכום של כל הדרגות הפנולוגיות) ב- 2011 לעומת 2012 (רמג"ש, שיפון ויפתח; איור 8). אך בניתוח סטטיסטי של כל ששת הכרמים לא נמצאו הבדלים סטטיסטיים מובהקים.



איור 8- אחוזי נגיעות בקמחיות בכרמים צעירים. עמודות בצבעים שונים מייצגות את אחוז הנגיעות בעונת מחקר שונה.

4.1.3 התפשטות מחלת קיפול העלים בכרמים הצעירים

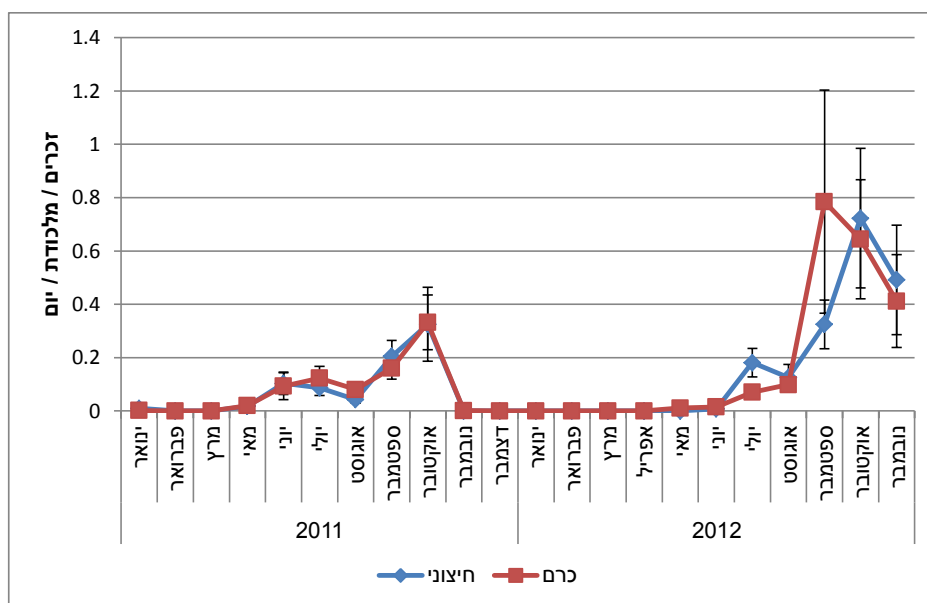
כרמים צעירים מהשנים 2009-2010 ניטעו מחומר ריבוי שנבדק ואושר כנקי מוירוס קיפול עלים ולכן ההנחה הרווחת היא כי הופעת נגיעות במחלת קיפול העלים בכרמים אלו נובעת מסביבתם. שיעור הנגיעות במחלת קיפול העלים בכרמים אלו נע בין 0-1.34% ובין 0-14.48% בשנים 2011, 2012 בהתאמה (גפן הנגועה במחלת קיפול העלים אינה יכולה להחלים ולכן אחוזי הנגיעות לאורך השנים בכל כרם הולכים ומצטברים- פירוט שיעור הגפנים בעלות תסמינים בכל כרם, בכל עונת מחקר מופיע בטבלה I, נספחים). לא נמצא הבדל מובהק בשיעור הנגיעות בין כרמים שהתאפיינו בסביבה שונה (ראה איור IX, נספחים), אך נמצאו הבדלים מובהקים בשיעור הנגיעות בדפנות הכרם הממוקמות בסמיכות לסביבה שונה (כרם צעיר, כרם בוגר, "אחר") בכל שנת מחקר (איור 9). בשנת 2011 נמצא כי שיעור הנגיעות בדפנות הסמוכות לכרם בוגר הוא הגבוה ביותר (0.54%), לאחר מכן בדפנות הסמוכות לכרמים צעירים (0.43%) והשיעור הנמוך ביותר נמצא בדפנות שהוגדרו כ"אחר" (0.12%), דפנות אלו נבדלות באופן מובהק מדפנות הסמוכות לכרמים בוגרים ($df=2, F=5.05, P=0.007$). בשנת 2012 לא נמצא הבדל מובהק בשיעור הנגיעות שנמצא בין דפנות הסמוכות לכרם בוגר (5.13%), לבין דפנות הסמוכות לכרם צעיר- כרם זה שהוגדר כצעיר בתחילת המחקר הגיע בשנה זו לניבה והפך לכרם בוגר (7.69%). שיעור הנגיעות הנמוך ביותר בעונה זו, נמצא בדפנות אשר אינן סמוכות לכרמים ("אחר", 0.51%). בעונת מחקר זו, נבדלו דפנות אלו, באופן מובהק גם מדפנות הסמוכות לכרמים בוגרים וגם מדפנות הסמוכות לכרמים צעירים ($df=2, F=13.10, P<0.01$).



איור 9- שיעור הגפנים בעלות תסמיני המחלה (מייצג גפנים נגועות במחקר הנוכחי) בשולי הכרמים הצעירים, בהתייחס לסמיכות הכרם לסביבות שונות (ממוצע \pm שגיאת תקן). סמיכות לכרם בוגר (בוגר); סמיכות לכרם צעיר (צעיר); לא בסמיכות לכרם (אחר). אותיות שונות מעידות על ההבדל מובהק בתוך אותה שנת המחקר.

4.1.4 אוכלוסיית זכרים- בתוך ומחוץ לחלקות הניסוי

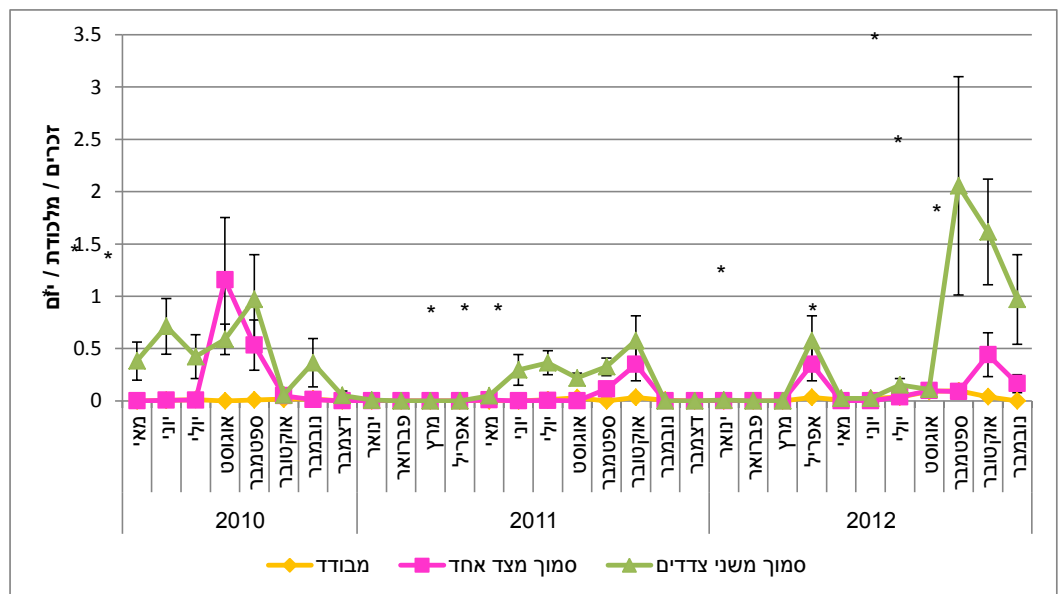
נוכחות זכרים בתוך ובסביבת הכרם נבדקה באמצעות מלכודות פרומון החל משנת המחקר השנייה (2011). זכרי הכנימה הקמחית מעופפים ולכן כלי ניטור זה משמש כמדד אזורי ולא נקודתי. לאורך שתי עונות הניטור, ניתן לראות כי במהלך חודשי החורף לא נמצאו זכרים לעומת מגמת עלייה ברורה במספר הלכידות החל מחודש אפריל ועד לחודש אוקטובר. ממוצע הלכידות בשטחי המחקר ובחלקות הסמוכות להם נע בין 0-0.3 זכרים/מלכודת/יום. לאורך שתי עונות המחקר לא נמצאו הבדלים מובהקים או מגמה אחידה בלכידות בין חלקות הניסוי לחלקות הסמוכות (איור 10).



איור 10- מספר זכרים/ מלכודת/ יום (ממוצע \pm שגיאת תקן) שנלכדו במהלך עונות המחקר בכרמים הצעירים ומחוצה להם.

4.1.5 אוכלוסיית זכרים- בתוך חלקות הכרם

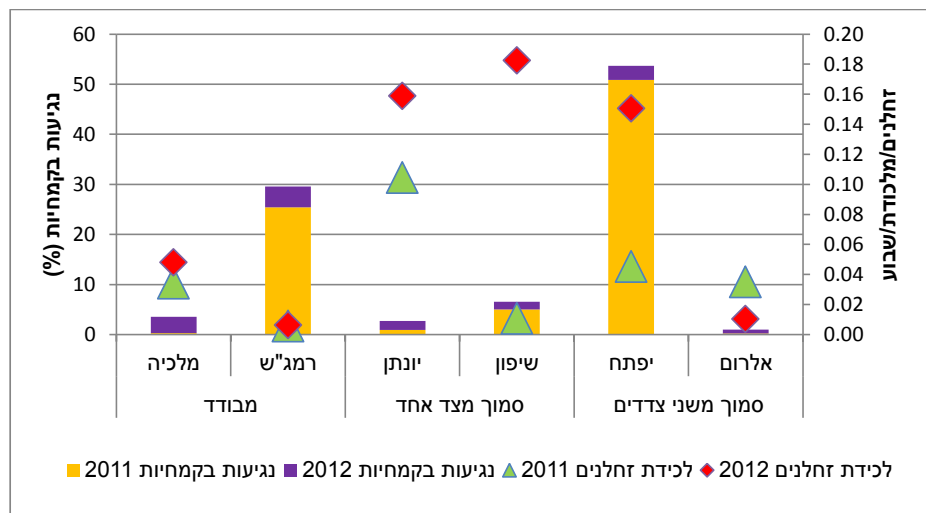
המידע שנאסף בניטור אוכלוסיית הזכרים בתוך חלקות הניסוי שימש לביצוע השוואה בין כרמים בעלי דפוס סמיכות שונה לכרמים ותיקים. לאורך כל שלוש שנות המחקר ממוצע הלכידות בתוך חלקות הניסוי נע בין 0-1.15 זכרים/ מלכודת/יום. ניתן לראות כל שנה עלייה באוכלוסיית הזכרים בחודשי האביב וירידה בחודשי החורף. בכרמים המוגדרים כמבודדים נמצא מספר הלכידות המצומצם ביותר בכל חודש. בחודשים מאי- יולי 2010, מאי-ספטמבר 2011, ויולי 2012 ניתן לראות הבדלים מובהקים ברמת האוכלוסייה בין כרמים הסמוכים משני צדיהם לכרמים בוגרים ונגועים לבין כרמים הסמוכים רק מצד אחד לכרם בוגר ונגוע. בכל המועדים בהם נמצאו הבדלים מובהקים- ממוצע הלכידות בכרם הסמוך משני צדיו היה גבוה יותר (איור 9, פירוט תוצאות הניתוח הסטטיסטי מצויות בטבלה V - נספחים).



איור 11- מספר זכרים/ מלכודת/ יום (ממוצע \pm שגיאת תקן) שנלכדו במהלך עונות המחקר בכרמים הצעירים בחלקות הסמוכות ממספר צדדים לכרמים ותיקים (סמוך משני צדדים), סמוכות רק בצד אחד לכרמים ותיקים (סמוך מצד אחד) וללא סמיכות לכרמים ותיקים (מבודד). כוכביות מעידות על הבדל מובהק בחודש הנבדק.

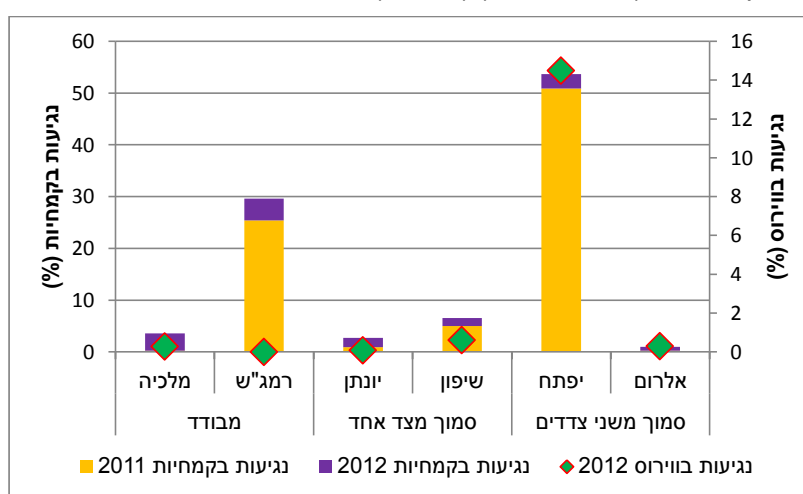
4.1.6 סיכום הממצאים בכרמים חדשים

בכל ששת הכרמים הצעירים נמצאה תעופת זחלנים פאסיבית והתבססות קמחיות אך עם זאת לא נמצא קשר ישיר בין שני מדדים אלו. נמצאו כרמים בהם נלכדו מספר רב של זחלנים ואוכלוסיית הקמחיות נותרה נמוכה (שיפון, יונתן) וכרם בו מספר לכידות נמוך ואוכלוסיית קמחיות גבוהה (רמג"ש). (איור 12).



איור 12- אחוז הגפנים בהם נמצאה אוכלוסיית קמחיות בשנים 2011, 2012 בכרמים הצעירים. ממוצע לכידת זחלנים/מלכודת/שבוע בשנים 2011, 2012 בכרמים הצעירים.

בנוסף, נמצא קשר ישיר בין התבססות אוכלוסיית הקמחיות לבין שיעור הגפנים בעלות תסמיני המחלה בכרמים הסמוכים מצד אחד או שניים למקורות מדבק. בכרמים אלו, נמצא מתאם גבוה ואחיד בין אוכלוסיית הקמחיות בשנת 2011 לשיעור התסמינים בשנת 2011 ובשנת 2012 ($R^2=0.99$). לעומת זאת נראה כי בכרמים מבודדים על אף נוכחות הקמחיות הגבוהה אחוז הגפנים הנגועות במחלת קיפול העלים נמוך או אפסי (רמג"ש ומלכיה) (איור 13).

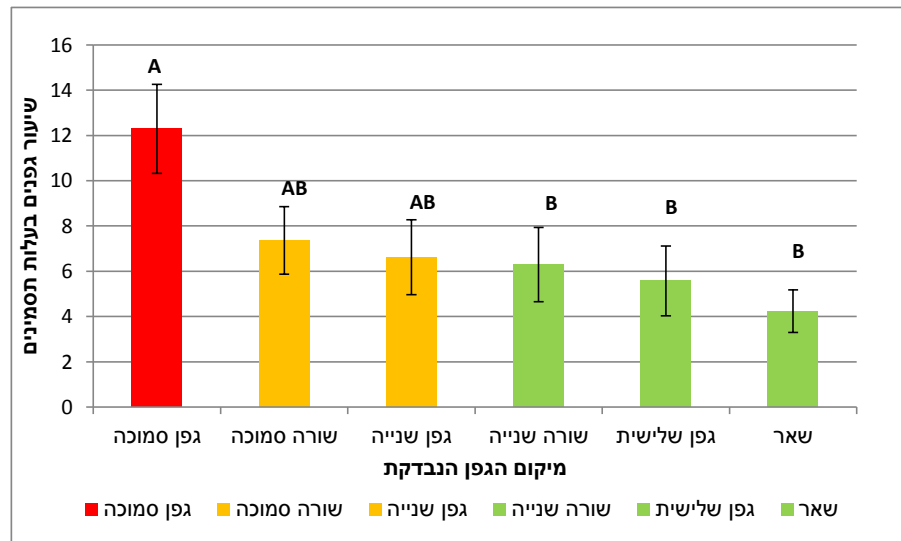


איור 13- אחוז הגפנים בהם נמצאה אוכלוסיית קמחיות בשנים 2011, 2012. שיעור הגפנים בעלות תסמיני המחלה בשנת 2012 בכרמים הצעירים.

4.2 אפיון דינאמיקת התפשטות המחלה בתוך הכרם

4.2.1 התפשטות מחלת קיפול העלים במרחב

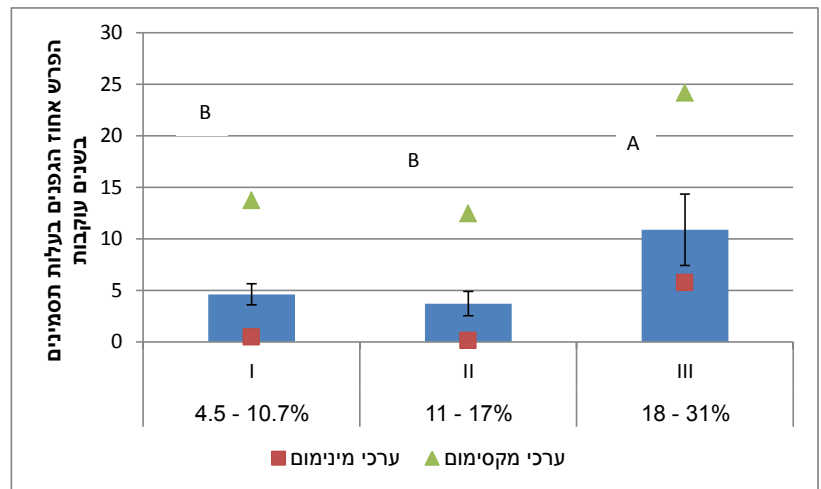
לאחר החדירה הראשונית של מחלת קיפול העלים לכרם מתחילה התפשטות משנית של המחלה. שימוש בנתונים רב שנתיים של התפשטות מחלת קיפול העלים ממספר כרמים בוגרים אפשר לאתר את דגם ההתפשטות המרכזי ובכך סייע בהעמקת הידע האפידמיולוגי של המחלה (איור 14). נמצא כי גפנים במרחק שונה מגפנים נגועות נבדלות באופן מובהק בסיכוייהן להינגע בשנה בעוקבת ($df=5, F=3.53, p<0.05$). דגם הנגיעות המרכזי מצוי ברדיוס של כ-3 מטרים מגפנים נגועות, הגפנים בעלות סיכויי ההינגעות הגבוה ביותר (14.84%) ממוקמות בסמיכות לגפן הנגועה, בסיכון מופחת מהן מצויות גפנים מקבילות לגפן הנגועה בשורה הסמוכה (8.47%) וגפנים במרחק גפן אחת באותה שורה (7.86%). בעוד שסיכויי ההינגעות הנמוך ביותר הינו עבור שאר הגפנים בחלקת הכרם.



איור 14- שיעור הגפנים (ממוצע \pm שגיאת תקן) בעלות תסמינים (מייצגות במחקר זה גפנים נגועות) בשנה העוקבת, על פי מיקומן יחסית לגפן נגועה. צבעי העמודות מייצגים את תוצאות המבחן הסטטיסטי, אותיות שונות שונים מעידות על הבדל סטטיסטי מובהק.

4.2.2 התפשטות מחלת קיפול העלים בזמן

ניתן לבחון את התפשטות מחלת קיפול העלים בשני היבטים מרכזיים, במרחב ובזמן. תסמיני המחלה מופיעים בסתיו ולכן ניתוח ההתפשטות בזמן מתבסס על השוואה רב שנתית ונאמד בפרק בשיעור הנגיעות בין שנים עוקבות. במחקר זה, נמצאה השפעת הנגיעות התחילית על תוספת הנגיעות בשנים עוקבות (איור 15). תוספת הגפנים הנגועות בשנה העוקבת היא נמוכה באופן מובהק, ($df=2$, $F=4.39$, $p=0.02$) ברמות נגיעות תחיליות נמוכות (I ו II) לעומת רמת הנגיעות התחילית הגבוהה יותר (III). ממצאים אלו מראים כי החל מנגיעות תחיליות של 18% קצב התפשטות המחלה הינו לפחות 11% בשנה לעומת פחות מ 5% ברמות הנגיעות הנמוכות יותר. יותר מכך, כאשר מסתכלים על ערכי המינימום ניתן לראות כי בנגיעות תחיליות עד 17% תוספת הגפנים הינה אפסית. לעומת זאת, כאשר אחוז הנגיעות התחילית עולה (III) מעל 18%, המינימום הינו תוספת גפנים של 6%.



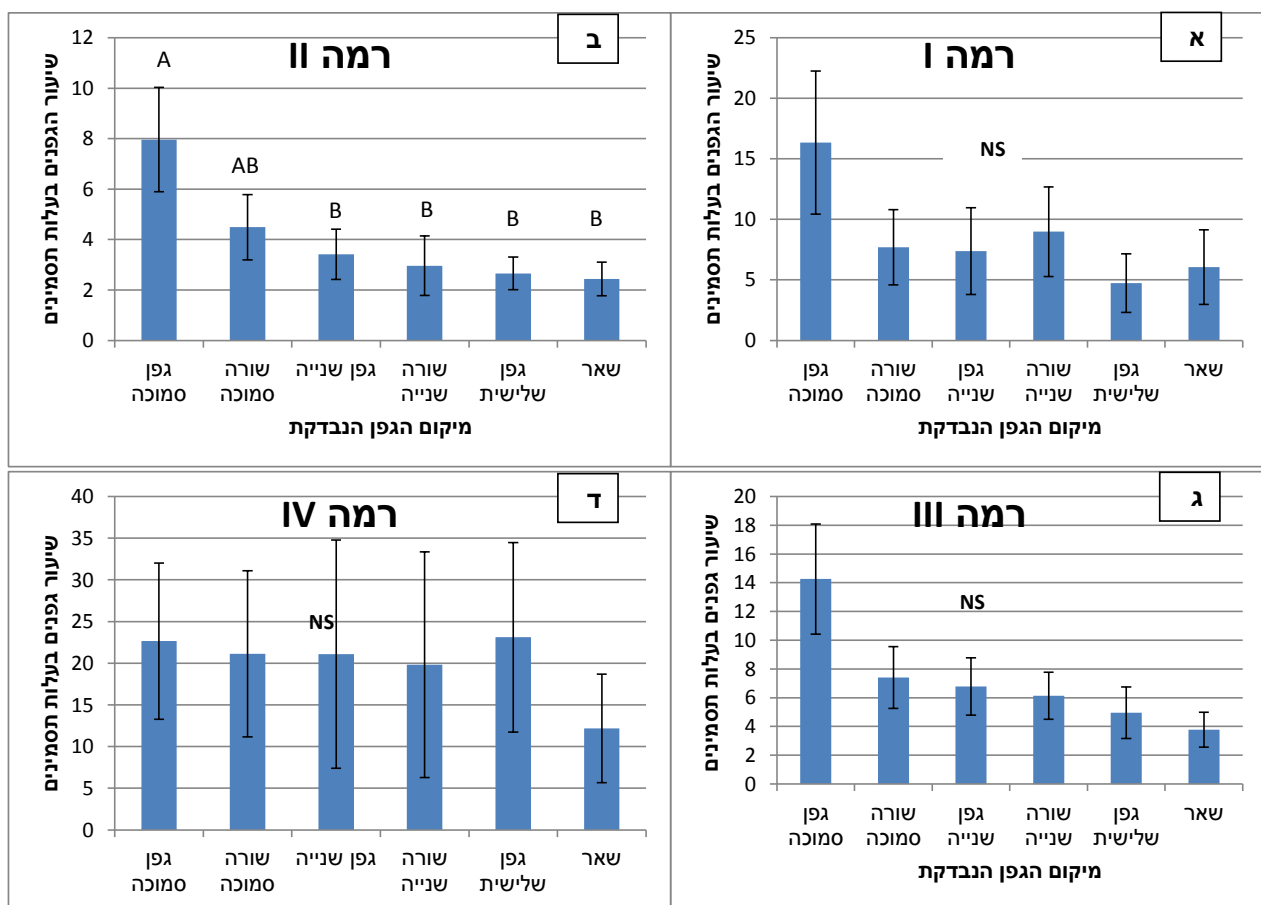
איור 15- תוספת גפנים בעלות תסמינים (מייצגות במחקר זה גפנים נגועות) (ממוצע \pm שגיאת תקן) בין שנים עוקבות (t_1-t_0) בשלושה טווחי נגיעות תחילת שונים. אותיות שונות מעידות על הבדל סטטיסטי מובהק.

4.2.3 השתנות התפשטות מחלת קיפול העלים במרחב ובזמן

תהליך התפשטות המחלה, כמו בהרבה מערכות ביולוגיות המורכבות ממספר גורמים, הוא דינאמי ולכן שינוי באחוזי הנגיעות התחילית משפיע לא רק על קצב ההתפשטות אלא גם על דגם ההתפשטות במרחב.

מעוצב:סמן

חלוקת בסיס הנתונים לארבע רמות של נגיעות תחילית (I) נגיעות תחילית נמוכה ביותר, IV- רמת הנגיעות התחילית הגבוהה ביותר) ובחינת דגם ההתפשטות בשנה העוקבת בכל רמה מעיד כי ישנם הבדלים באחוזי הסיכון להינגעות המושפעים מרמת הנגיעות הראשונית (איור 16 א-ד). בשלושת רמות הנגיעות הראשונית הנמוכות (I, II, III) מסתמן כי הגפן הסמוכה לגפן נגועה היא בסכנת הינגעות גבוהה. אך עם זאת רק ברמה II ההבדלים מובהקים ברמת הסיכון בין המיקומים השונים ($F=2.52$, $df=5$, $p=0.03$). בחלקות אלו, נמצא כי הגפן הסמוכה לגפן הנגועה אינה נבדל בסיכוייה להינגע מהגפן בשורה הסמוכה אך נבדלת באופן מובהק סטטיסטית משאר הגפנים. ברמת הנגיעות התחילית הגבוהה ביותר (23-31%) מגמת הנגיעות שנמצאה בשלושת הקטגוריות שתוארו לעיל נעדרת ונראה כי סיכויי ההינגעות זהים לכל הגפנים בכרם.



איור 16 א-ד- שיעור הגפנים (ממוצע \pm שגיאת תקן) בעלות תסמינים (מייצגות במחקר זה גפנים נגועות) בשנה העוקבת, על פי מיקומן היחסי מגפן נגועה ברמות נגיעות תחילית שונות. (א) רמה I – שיעור נגיעות תחילית בטווח 4-7%, (ב) רמה II- שיעור נגיעות תחילית בטווח 7.5-13%, (ג) רמה III- שיעור נגיעות תחילית בטווח 14-22%, (ד) רמה IV- שיעור נגיעות תחילית בטווח 23-31%. אותיות שונות מעידות על הבדל מובהק.

4.3 הגדרת הקשר בין הדברת הקמחית להתפשטות המחלה בכרמים בוגרים

קמחית הגפן מהווה וקטור מרכזי בהתפשטות מחלת קיפול העלים בכרמי ישראל. בניסוי זה נבדקה יעילות הדברת הווקטור בשיטות שונות והשפעת ההדברה על צמצום התפשטות המחלה. לאורך שלוש שנות המחקר נערכה השוואה בגודל אוכלוסיית הקמחיות בין טיפולי ההדברה השונים, בשנתיים האחרונות (2011, 2012) נבדקה גם ההשפעה של טיפולי ההדברה על קצב התפשטות המחלה.

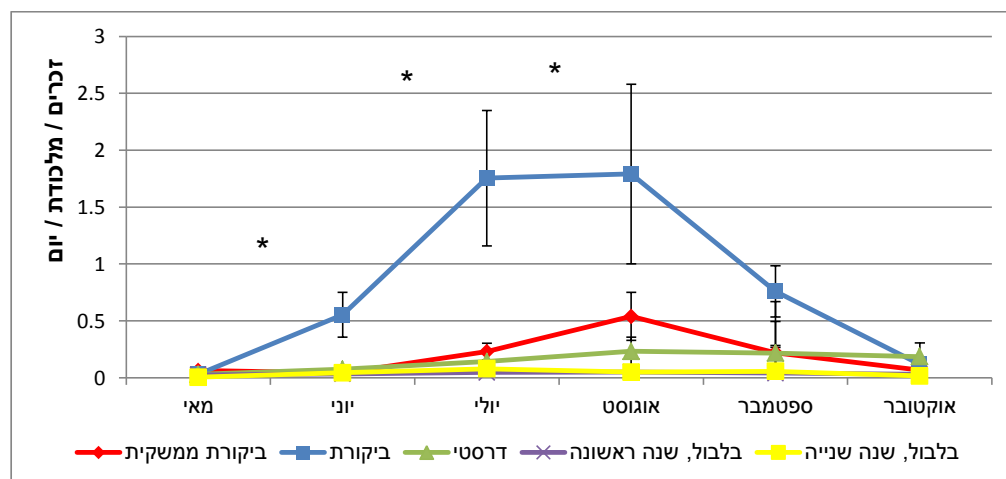
4.3.1 השפעת שיטות הדברה שונות על אוכלוסיית הכנימה הקמחית

4.3.1.1 אוכלוסיית הנקבות

בעונת המחקר הראשונה (2009) נראתה השפעה של כל טיפולי ההדברה לעומת הביקורת הלא מטופלת ובטיפול הדרסטי לא נמצאו קמחיות כלל. ההבדלים באוכלוסיית הזחלנים ובמספר שקי ההטלה נמצאו מובהקים סטטיסטית, בעוד שבדרגת הקמחיות הבוגרות לא נבדלה הביקורת מטיפול "בלבול – שנה ראשונה", אך נבדלה מיתר הטיפולים (קמחיות): $F=14$, $df=1$, $p<0.01$ זחלנים: $F=12.12$, $df=1$, $p<0.01$, שקי הטלה: $F=15.08$, $df=1$, $p<0.01$. בנוסף לכך נראתה מגמה להפחתת האוכלוסייה בחלקות בהם יושם בלבול בשנה השנייה בהשוואה לחלקות אשר "בולבלו" לראשונה. בכל דרגות הקמחית שנבדקו, אוכלוסיית הקמחיות בטיפולי הבלבול לא נבדלה מהאוכלוסייה בטיפול המשקי (איור 18-20).

4.3.1.2 אוכלוסיית הזכרים

מלכודות הזכרים מספקות מדד לגודל אוכלוסיית הזכרים בסביבת הכרם ובנוסף, מסייעות לבחון האם פיזור נדיפיות הבלבול יעיל ואחיד לכיסוי השטח (איור 17). לאורך כל עונת המחקר מספר הזכרים במלכודות שהוצבו בחלקות הבלבול היה נמוך משאר הטיפולים וקרוב לאפס פרטים למלכודת ליום. ניתן לראות בכל הטיפולים מגמה של עלייה באוכלוסיית הזכרים החל מחודש יוני וירידה בחודש אוגוסט. בחודשים אלו מספר הלכידות בחלקות הביקורת היו גבוהות יותר ונבדלו באופן מובהק משאר הטיפולים (יוני: $F=4.89$, $df=4$, $p=0.001$; יולי: $F=5.6$, $df=4$, $p<0.01$; אוגוסט: $F=3.04$, $p=0.02$), פירוט מלא של תוצאות הניתוח הסטטיסטי מופיעות בטבלה VI, נספחים.



איור 17- מספר הזכרים (למלכודת / ליום, ממוצע \pm שגיאת תקן) שנלכדו במהלך עונת המחקר 2010 בחלקות הטיפול השונות. צבעים שונים מעידים על טיפול שונה.

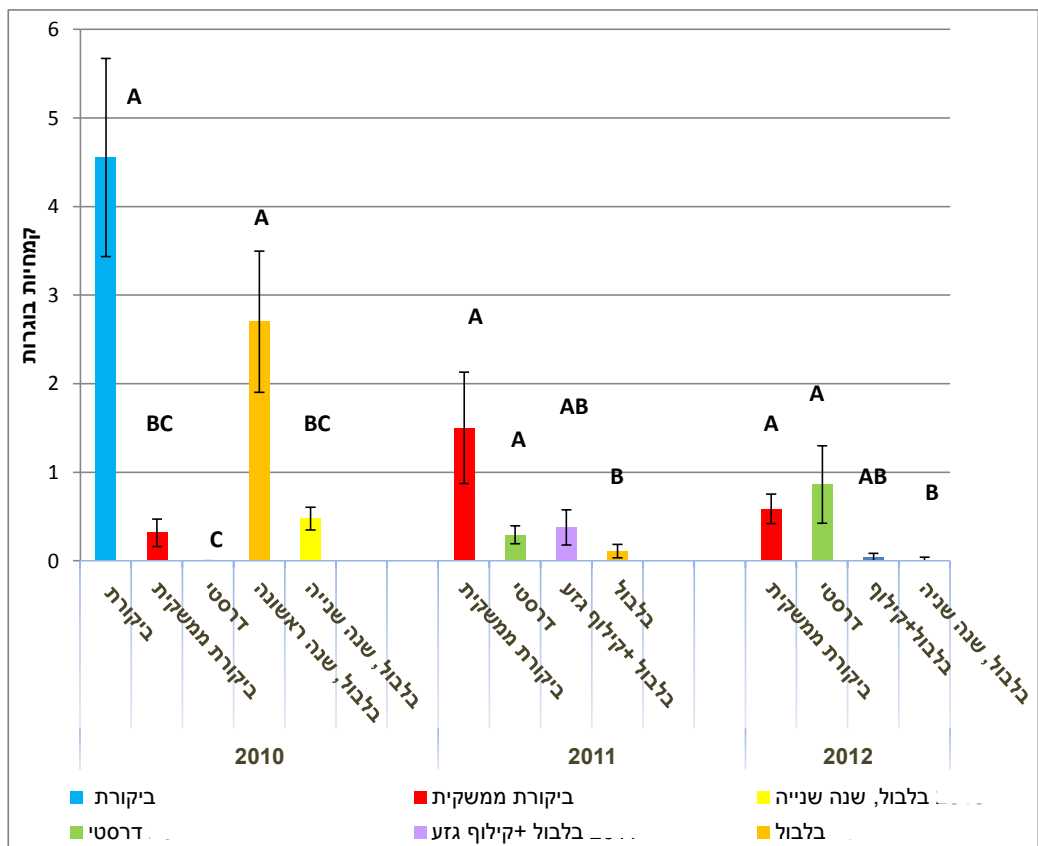
4.3.2 השפעת שיטות הדברה שונות על התפשטות מחלת קיפול העלים בכרמים בוגרים

כתוצאה מתוצאות עונת המחקר 2009-2010, בהם נמצא שיעור נגיעות גבוה במחלת קיפול העלים בסתיו 2010, הושם דגש על מספר קריטריונים לבחירת חלקות הניסוי לעונות העתידיות (-2010). הוחלט כי אחוז הנגיעות בחלקות הטיפול יהיה בטווח של 5-15%, זאת כדי לאפשר מעקב רב שנתי אחרי העלייה בשיעור הנגיעות. בנוסף, הושם דגש על בחירת שטחים עם פיזור אחיד של נגיעות. באמצעות ניתוח סטטיסטי מרחבי אותרו "מוקדים חמים" של נגיעות (ראה פירוט בסעיף השיטות והחומרים, מפות הניתוח מצורפות בסעיף VI ו VI ב, נספחים) ואלו הוצאו מתוך חלקות הטיפול.

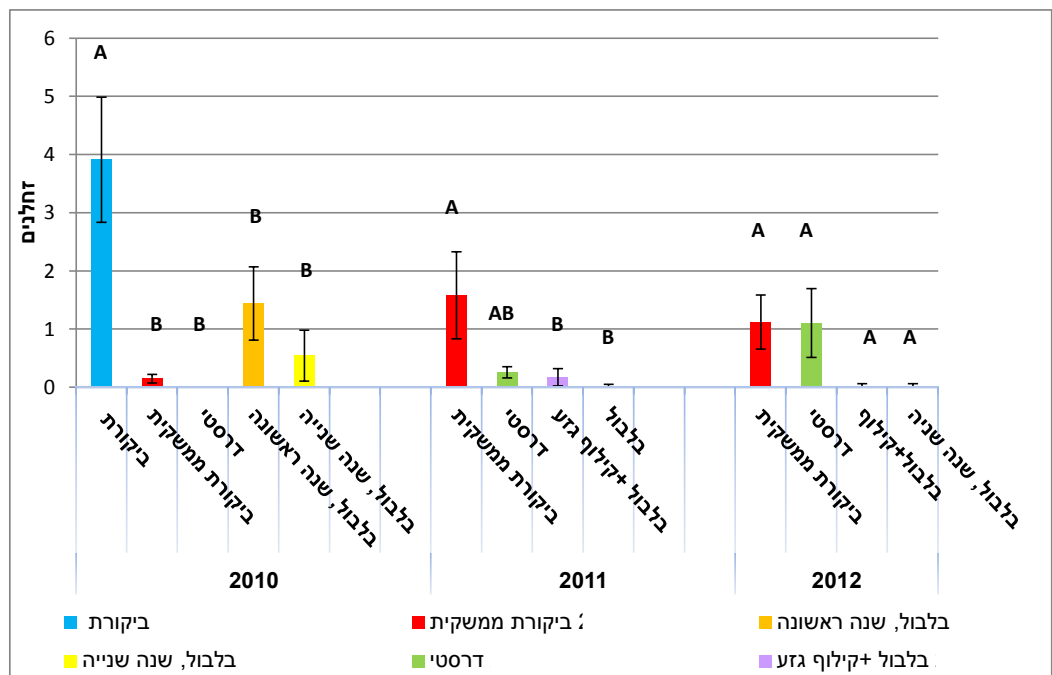
4.3.2.1 אוכלוסיית הנקבות בכרמים בוגרים

החל משנת המחקר השנייה (2011) שימש טיפול ההדברה הנהוג בכרמי ישראל, הגמעה בניאוניקוטיןואיד, כביקורת (מוגדר כביקורת ממשקית). בכל דרגות הכנימה נמצאה מגמה ברורה של הפחתת אוכלוסיית הכנימה בטיפול ההדברה השונים בהשוואה לביקורת המשקית. ההבדל מובהק בהשוואה לטיפול הבלבול (בדרגת הבוגרות והזחלים, $p=0.015$; $p=0.014$ בהתאמה). רמת האוכלוסייה בטיפול הדרסטי וטיפול בלבול זכרים עם קילוף גזע נמצאת בין רמתה בטיפול הביקורת המשקית לרמתה בטיפול בלבול זכרים. בשנת המחקר השלישית (2012) המשיך יישום טיפולי ההדברה באותן חלקות ניסוי כבשנת המחקר השנייה (2011). בכל דרגות הכנימה הקמחית נמצאה מגמה ברורה לרמת אוכלוסייה גבוהה יותר בטיפול הדרסטי והביקורת המשקית בהשוואה לטיפול הבלבול שנה שנייה וטיפול הבלבול וקילוף הגזע. עם זאת רק בדרגת הקמחיות הבוגרות נמצאו הבדלים סטטיסטים מובהקים בין הטיפול הדרסטי לטיפול הבלבול שנה שניה. רמת האוכלוסייה של הקמחיות הבוגרות בטיפול הדרסטי הייתה גבוהה באופן מובהק מאוכלוסיית הקמחית בטיפול הבלבול ($p=0.02$). רמת האוכלוסייה בטיפול הביקורת המשקית ובטיפול הבלבול וקילוף הגזע נמצאת בין רמתה בטיפול הדרסטי לרמתה בטיפול הבלבול שנה שנייה ($F=3.20$, $df=3$, $p=0.02$) (איורים 17-19).

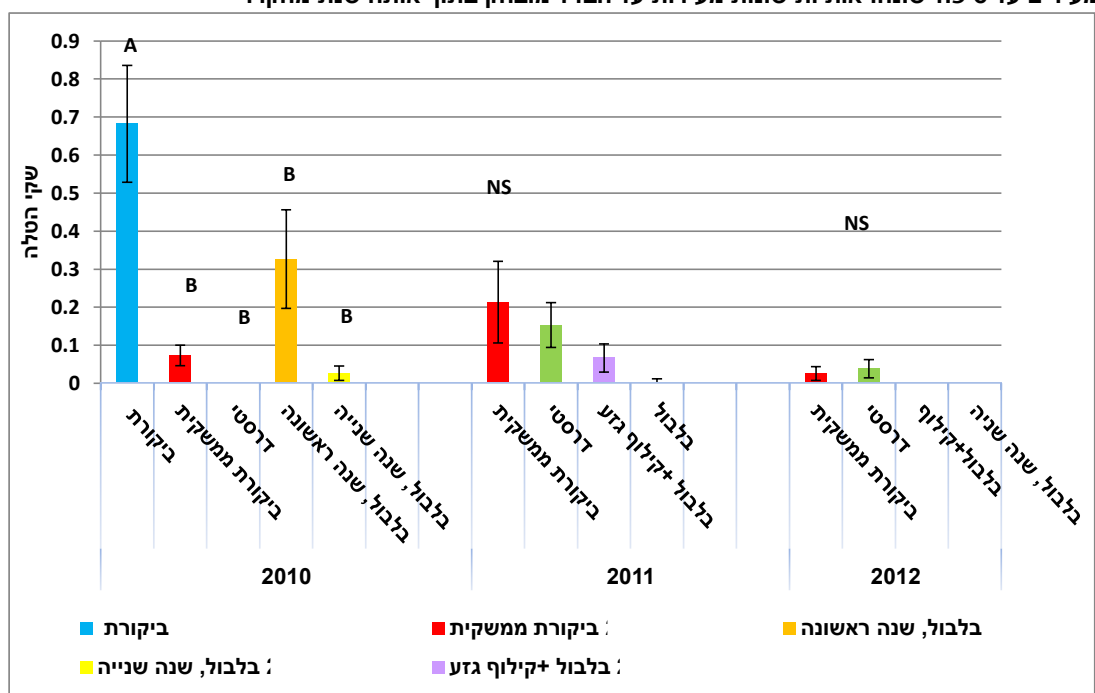
בהתייחס לשינוי ברמת אוכלוסיית הקמחית לאורך השנים (2011-2012) בטיפולים השונים, ניתן לזהות בטיפולי הבלבול ירידה כמעט מוחלטת באוכלוסיית הקמחיות ונראה כי יעילות ההדברה בשיטת "בלבול הזכרים" גוברת עם שנות היישום. יש לציין כי בעונות המחקר השנייה והשלישית מרבית אוכלוסיית הקמחיות נמצאה בכרם עין זיוון בעוד שבכרם הרוח היו עדויות מצומצמות לאוכלוסיית הווקטור ועיקר ההשפעה נובעת מהבלוק של עין זיוון.



איור 18- נגיעות בדרגת קמחיות בוגרות על הגפנים בטיפולים השונים (ממוצע \pm שגיאת תקן). צבעים שונים מעידים על טיפול שונה. אותיות שונות מעידות על הבדל מובהק בתוך אותה שנת מחקר.



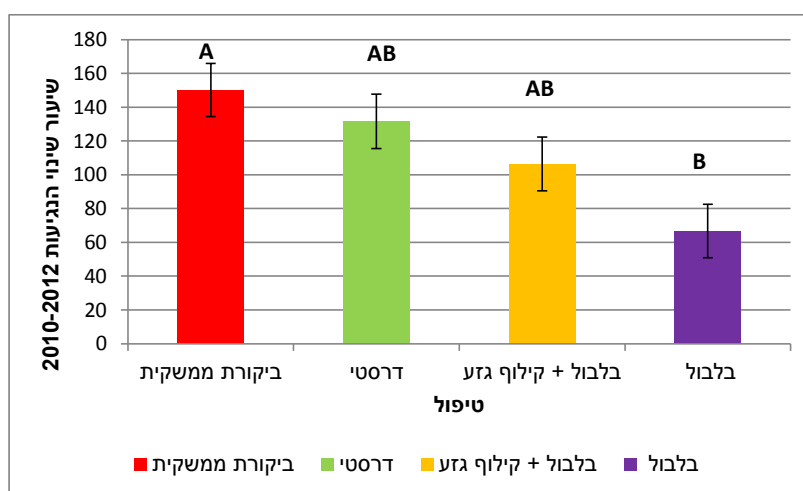
איור 19- נגיעות בדרגת זחלנים על הגפנים בטיפולים השונים (ממוצע \pm שגיאת תקן). צבעים שונים מעידים על טיפול שונה. אותיות שונות מעידות על הבדל מובהק בתוך אותה שנת מחקר.



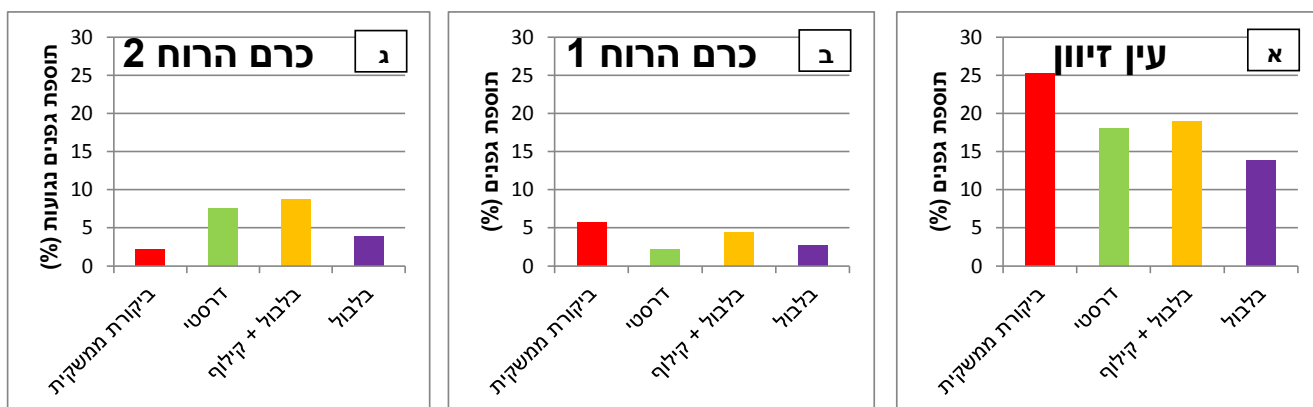
איור 20- נגיעות בשקי הטלה על הגפנים בטיפולים השונים (ממוצע \pm שגיאת תקן). צבעים שונים מעידים על טיפול שונה. אותיות שונות מעידות על הבדל מובהק בתוך אותה שנת מחקר.

4.3.2.2 התפשטות מחלת קיפול העלים בכרמים בוגרים

מאחר ורמת הנגיעות התחילית הייתה שונה בכל חלקת טיפול (פירוט אחוזי הנגיעות בכל חלקות הטיפול לאורך שנות המחקר - מצוי בטבלה II, נספחים) נעשה ניתוח סטטיסטי (covariance) המנרמל את רמת הנגיעות התחילית והשפעתה על שיעור שינוי הנגיעות. העלייה בנגיעות בין השנים 2010-2011 לא נבדלה באופן מובהק בין טיפולי ההדברה השונים, אך עם זאת ניתן לראות מגמת התפשטות מצומצמת יותר בטיפול הבלבול בהשוואה ליתר הטיפולים (איור X, נספחים). בהתייחס לשתי שנות הטיפול והעליה בנגיעות בין השנים 2010-2012 (איור 21), ניתן לראות כי בחלקות בהן בוצע בלבול רב-שנתי שיעור ההתפשטות היה נמוך באופן מובהק בהשוואה לשלושת טיפולי ההדברה האחרים ($F=4.49$, $df=2$, $p<0.01$). בהסתכלות על כל כרם בנפרד ניתן לראות כי בכרם עין זיוון תוספת הגפנים הנגועות לאורך שנתיים נעה בין 17-66 גפנים, בכרם הרוח תוספת הגפנים נעה בין 1-14 לאורך שנתיים וניתן לתאר אותה כנמוכה זניחה (איור 22). ממצאים אלו תואמים את ההבדלים במגמת אוכלוסיית הקמחיות בין הבלוקים השונים ולכן ניתן לייחס את מירב השפעת טיפולי ההדברה על צמצום התפשטות המחלה לכרם עין זיוון.



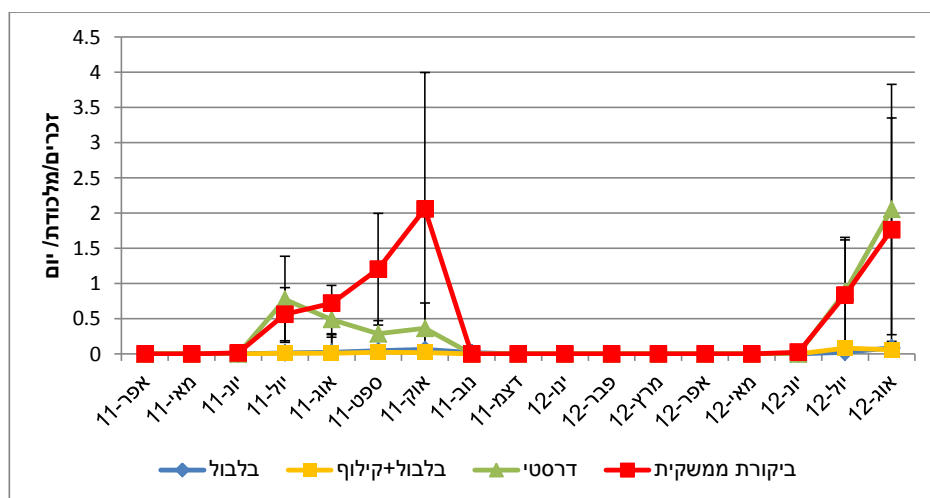
איור 21- שיעור השינוי (ממוצע \pm שגיאת תקן) בין השנים 2010-2012, בגפנים בעלות תסמינים בטיפולים השונים. צבעים שונים מעידים על טיפול שונה. אותיות שונות מעידות על הבדל מובהק.



איור 22 (א-ג)- אחוז הגפנים בעלות תסמינים אשר נוספו בין השנים 2010-2012 בטיפולים השונים בכל בלוק. (א) בלוק כרם עין זיוון, (ב) בלוק כרם הרוח 1, (ג) בלוק כרם הרוח 2. צבעים שונים מעידים על טיפול שונה. ביקורת ממשקית- אדום, טיפול דרסטי- ירוק, בלבול – סגול, בלבול +קילוף- צהוב.

4.3.2.3 אוכלוסיית הזכרים בכרמים בוגרים

גם בחלקת הביקורת המשקית וגם בחלקת הטיפול הדרסטי נמצאו זכרים במלכודות החל מיוני ועד אוקטובר בשנת המחקר השנייה (2011). תופעה דומה של עלייה באוכלוסיית הזכרים בחודש יוני בטיפולים אלו נרשמה גם בעונת המחקר השלישית (2012). בשתי החלקות בהן פוזרו נדיפיות בלבול לא נמצאו זכרים לאורך כל תקופת המחקר. מספר הזכרים הממוצע ליום שנלכדו במלכודות במהלך העונה בטיפול הביקורת המשקית היה גבוה ממספרם בטיפולי הבלבול ובטיפול הדרסטי, אך לא נבדל מהם באופן מובהק (איור 23).



איור 23- מספר הזכרים (למלכודת / ליום, ממוצע \pm שגיאת תקן) שנלכדו במהלך עונות המחקר 2011-2012 בחלקות הטיפול השונות.

4.3.3 סיכום הממצאים

בניסוי הנוכחי נמצא כי כל טיפולי ההדברה שנבדקו מקטינים את אוכלוסיית הווקטור בהשוואה לטיפול הביקורת. בנוסף, נמצא כי יעילות ההדברה משתנה בין הטיפולים השונים. בטיפולים בהם הדברת הכנימה הקמחית הייתה יעילה יותר, התפשטות המחלה הייתה קטנה יותר.

4.4 התועלת בהדברה ממוקדת של קמחיות על צמצום התפשטות המחלה

ניתוח התפשטות מחלת קיפול העלים במרחב אפשר להגדיר ולכמת אילו גפנים הן בעלות הסיכויים הגבוהים ביותר להינגעות במחלה. בנוסף, נמצא כי הדברת הווקטור בכלל החלקה מצמצמת את התפשטות המחלה אל גפנים בריאות, אך עדיין מותירה אחוז נגיעות לא מבוטל בחלקות הניסוי. על בסיס ממצאים נבנתה הדמית טיפול ממוקד (הכולל עקירת גפנים נגועות) רב שנתי בכדי לבחון יעילות של הדברה משתנה במרחב.

4.4.1 הדמיית טיפול הדברה רב שנתי ביעילות משתנה

הדמיית טיפול הדברה רב שנתי יושמה על בסיס המידע של כרם גשור לאורך שנות המחקר 2005-2011 (ראה איור XI א-ד, נספחים). במסגרת ההדמיה נבחנו הטיפולים הבאים: עקירת הגפנים הנגועות, עקירת הגפנים הנגועות וטיפול בשתי גפנים סמוכות ביעילות הדברה משתנה (25%, 50%, 75%, 100%) כל זאת כאשר נלקח בחשבון קיומן של גפנים סמוכות לגפנים נגועות אשר אינן מראות סימפטומים, אך למעשה הן נגועות (8% -ד"ר גל ספיר, תקשורת אישית). במקביל נערך חישוב לבדיקת אחוז הגפנים שיישארו בכרם בסוף התהליך אחרי העקירה לאורך כל תקופת המעקב בכל אחד מטיפולי ההדמיה (טבלה 1).

מתוצאות המעקב ניתן לראות כי בסתיו 2011 אחוז הגפנים בעלות תסמינים בכרם עמד על כ 31%, כאמור לאורך אותן שנים לא בוצע תהליך עקירה ולכן מספר הגפנים בחלקה נותר זהה לאורך כל שנות המעקב. במידה ובכל שנה הייתה מתבצעת עקירה בלבד של הגפנים בעלות התסמינים אחוז הנגיעות בכרם היה מופחת במידה משמעותית ובסתיו 2011 היה עומד על כ 8.6% נגיעות עם 76% מהגפנים מהחלקה המקורית. הוספת טיפולי הדברה אשר התמקדו בגפנים הסמוכות הפחיתה באופן וירטואלי את אחוז הנגיעות בכרם וכתוצאה מכך גם צמצמה את שיעור הגפנים שנעקרו. בטיפול הווירטואלי המיטבי, "עקירת הגפן הנגועה + טיפול בגפנים סמוכות ב-100% יעילות" ניתן לראות כי אחוז הנגיעות בסתיו 2011 עומד על כ 6.6% ושיעור הגפנים מהחלקה מקורית הוא 80%.

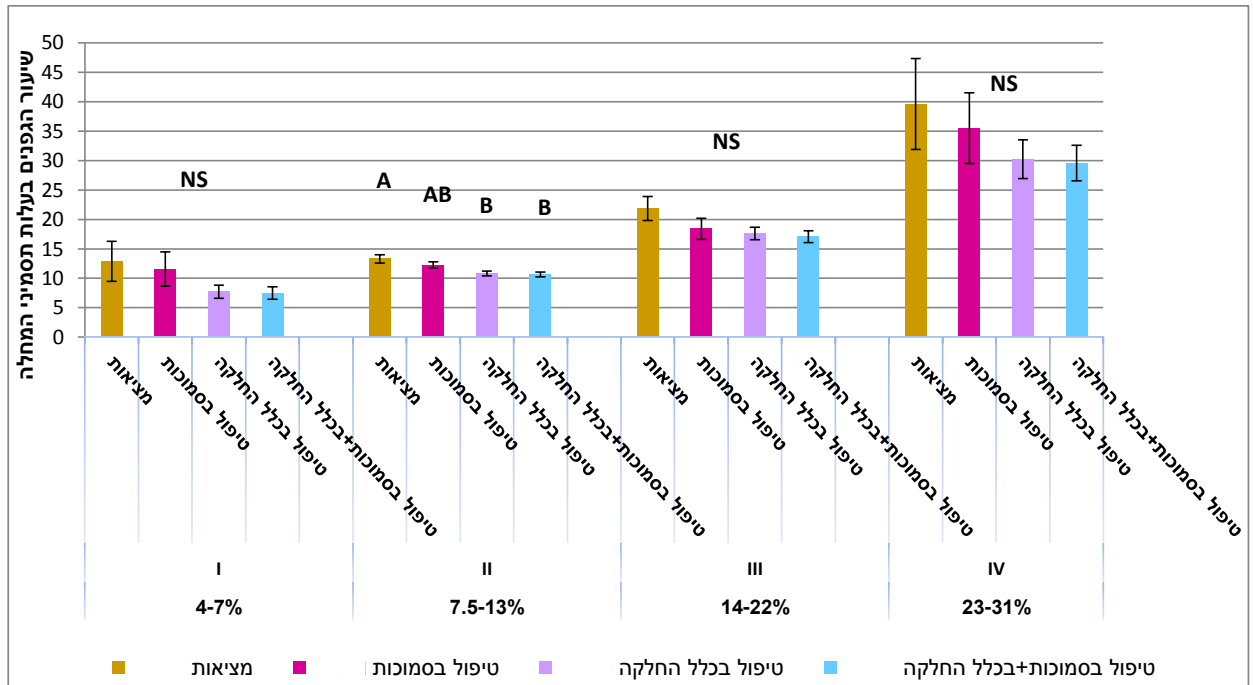
טבלה 1- הדמיית טיפול הדברה רב שנתי ביעילות משתנה. שיעור הגפנים הנגועות ואחוז הגפנים מחלקת המקור לאורך שבע שנים בטיפולי ההדמיה השונים ונתוני אמת.

שנה	עקירת הגפן הנגועה			עקירה + טיפול עם 25% יעילות		עקירה + טיפול עם 50% יעילות		עקירה + טיפול עם 50% יעילות		עקירה + טיפול עם 100% יעילות	
	מציאות	נגיעות במחלת קיפול העלים (%)	נגיעות במחלת קיפול העלים (%)	גפנים מהחלקה המקורית (%)	נגיעות במחלת קיפול העלים (%)	גפנים מהחלקה המקורית (%)	נגיעות במחלת קיפול העלים (%)	גפנים מהחלקה המקורית (%)	נגיעות במחלת קיפול העלים (%)	גפנים מהחלקה המקורית (%)	נגיעות במחלת קיפול העלים (%)
2005	4.55	4.55	100	4.55	100	4.55	100	4.55	100	4.55	100
2006	6.47	2.02	95.45	1.83	95.45	1.74	95.45	1.56	95.45	1.38	95.45
2007	7.79	1.40	93.52	1.31	93.70	1.31	93.78	1.21	93.96	1.12	94.13
2008	9.98	2.37	92.21	2.27	92.47	2.27	92.56	2.17	92.82	2.07	93.08
2009	16.72	7.49	90.02	7.17	90.37	7.07	90.46	6.75	90.81	6.63	91.16
2010	24.34	9.15	83.27	8.35	83.89	7.71	84.06	6.93	84.68	5.97	85.11
2011	30.82	8.56	75.66	7.97	76.88	7.56	77.58	6.78	78.81	6.56	80.04

4.4.2 הדמיית טיפולי הדברה כתלות בנגיעות התחילית ודגם ההדברה

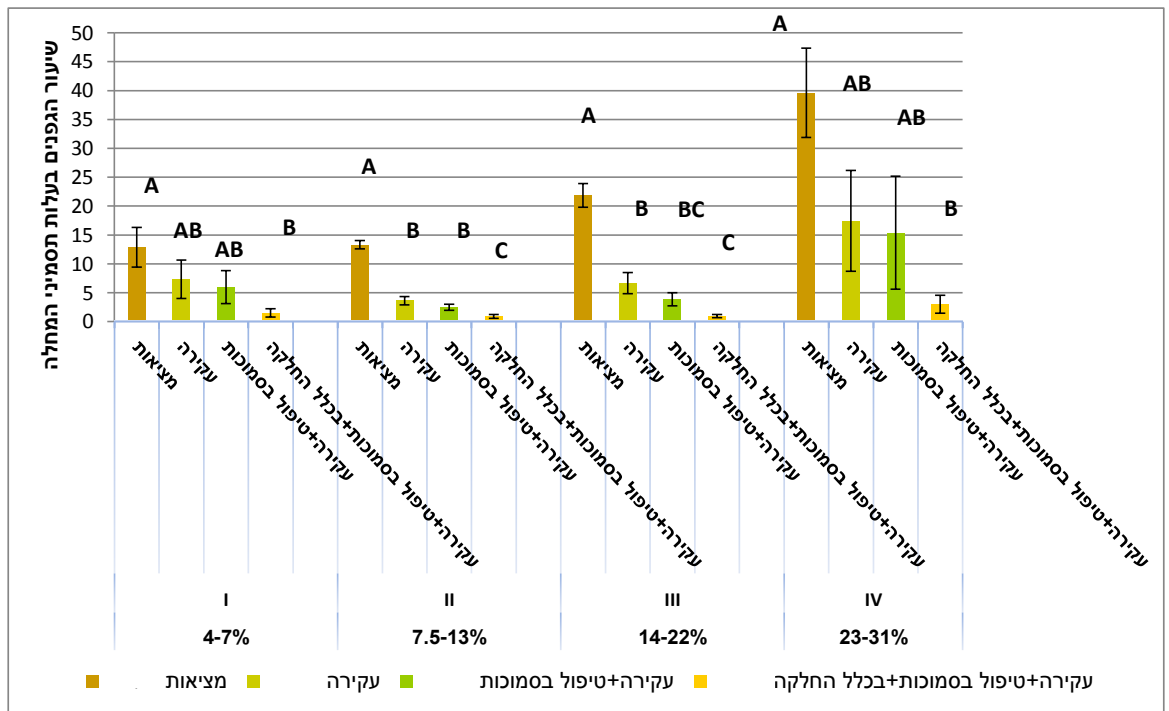
דגם ההתפשטות המחלה משתנה בזמן כתלות בנגיעות התחילית (סעיף 3.2.3) לפיכך הוחלט לבחון את היעילות של הדברה ממוקדת ברמות נגיעות תחילית שונות. בסעיף זה נעשה שימוש באחוזי יעילות ההדברה של טיפולי הבלבול והטיפול והדרסטי כפי שהתקבלו בניסוי ההדברה של שנת 2009 (סעיף 3.3.1). שנת 2009 הינה השנה היחידה בה נכללה בניסוי ביקורת ללא אמצעי הדברה כלל ובשל כך ניתן היה לחשב את היעילות של הטיפולים האחרים. (ראה פירוט על שיטת חישוב יעילות ההדברה משוואה I, אחוזי היעילות מפורטים בטבלה VII, נספחים).

הדמיית הטיפולים ללא טיפולים הכוללים עקירת גפנים נגועות אכן הפחיתה את שיעור הנגיעות אך זאת במידה מצומצמת ושולית (איור 24). ניתוח סטטיסטי של אחוזי הנגיעות לאחר ביצוע טיפולים ללא עקירה ונתוני המציאות מראה כי רק בטווח הנגיעות II (7.5-13%) קיימים הבדלים מובהקים בשיעור הנגיעות לאחר ההדמיה. בטווח נגיעות זה ניתן לראות כי אחוז הנגיעות בטיפול בכלל החלקה (10.8%) ובטיפול המשלב התמקדות בגפנים סמוכות עם הדברה בכלל החלקה (10.6%) נבדל באופן מובהק מאחוזי הנגיעות המציאותיים- ללא טיפול כלל (13.3%; $F=5.75, df=3, p=0.001$).



איור 24- שיעור הנגיעות (ממוצע \pm שגיאת תקן) בשנה העוקבת לביצוע הדמיות טיפול ללא עקירה ונתוני אמת (ללא תהליך הדמיה) בארבעה טווחי נגיעות תחילית. צבעים שונים מעידים על טיפול שונה. אותיות שונות מעידות על הבדל מובהק בין הטיפולים באותו טווח נגיעות.

בנוסף, נערכה גם הדמיה של מספר טיפולים הכוללים טיפול עקירה. בהשוואה בין טיפול העקירה בלבד לבין אחוז הנגיעות במציאות, ניתן לראות כי בכל ארבעת רמות הנגיעות התחילית (I-IV) עקירת הגפנים גרמה להפחתה בשיעור הגפנים הנגועות אך עם זאת הבדלים אלו נמצאו מובהקים רק בטווחי הנגיעות II ו III ($F=62.29, p<0.01$; $F=29.8, p<0.01$; $df=3$ בהתאמה) ניתוח סטטיסטי של אחוזי הנגיעות לאחר טיפולי ההדמיה מעיד כי קיים צורך להתאים בין טיפול ההדברה לרמת הנגיעות בחלקת הכרם. בהשוואה בין טיפולי ההדברה השונים הכוללים עקירה נמצא כי ברמות הנגיעות התחילית הבינוניות (II ו- III) שילוב של עקירה, טיפול דרסטי בגפנים סמוכות וטיפול בכלל החלקה נמצא כמפחית את אחוז הנגיעות באופן מובהק בהשוואה לטיפול הכולל רק עקירה. לעומת זאת, כשרמת הנגיעות התחילית גבוהה מאד (IV) ונמוכה מאד (I) לא נמצאו הבדלים מובהקים בין הטיפולים. יחד עם זאת, נשמרה המגמה בה אחוז הנגיעות הנמוך ביותר נראה בטיפול המשלב עקירת גפנים נגועות, טיפול בגפנים סמוכות וטיפול בכלל חלקת הכרם וכי טיפול זה נבדל מאחוז הנגיעות במציאות (איור 25).



איור 25 - שיעור הנגיעות (ממוצע \pm שגיאת תקן) בשנה העוקבת לביצוע הדמיות טיפול הכוללות עקירה ונתוני אמת (ללא תהליך הדמיה) בארבעה טווחי נגיעות תחילית. צבעים שונים מעידים על טיפול שונה. אותיות שונות מעידות על הבדל מובהק בין הטיפולים באותו טווח נגיעות.

5. דיון

מחלת קיפול העלים מהווה איום אסטרטגי על ענף כרם היין בישראל. על מנת להקטין את הנזק הנגרם מהמחלה נלמדו בעבודה זו הגורמים המשפיעים על חדירת המחלה מהסביבה, אופיינו קצב ודגם ההתפשטות ונבחנו יעילותם של אמצעים שונים לצמצום התפשטות המחלה בכרם. כרמים צעירים, אשר נטעו מחומר ריבוי שאושר כנקי מוורוסים, שימשו לצורך הבנת מגנוני חדירת המחלה. בכרמים אלו, ניתן לראות בצורה ברורה את השלכות הסביבה על הנגיעות בנטיעה החדשה. לצורך אפיון קצב ודגם התפשטות המחלה ושינויים לאורך זמן נאסף מידע על נגיעות רב שנתית בכרמים בוגרים בעלי אחוז נגיעות בינונית, מידע זה סייע בלימוד דינאמיקת התפשטות המחלה. כצעד משלים להקטנת נזקי המחלה, נבחנו בכרמים מסחריים יעילותם של אמצעי הדברה שונים כנגד הווקטור על התפשטות המחלה. ובמקביל, על בסיס הממצאים האפידמיולוגיים שנמצאו בעבודה זו, נערכו סימולציות ממוחשבות ללימוד יעילות הדברה משתנה במרחב ובזמן כנגד הווקטור והמחלה. עבודה זו ייחודית בכך ששילבה שימוש במחקר שטח בכרמים בעלי מאפיינים שונים- כרמים צעירים ובוגרים, כרמים בעלי אחוזי נגיעות שונים במחלה- ללא נגיעות, בעלי נגיעות בינונית ונגיעות גבוהה, ומעקב רב

שנתי אחר התפשטות המחלה בחלקות בהם מיושמים מגוון טיפולים שונים. בנוסף לכך עבודה זו שילבה בין הידע הנצבר במחקר שטח לבין עולם החקלאות המדייקת- כלי המאפשר אפיון נתונים ברמה המרחבית ובחינה ראשונית של יעילות טיפולים לפני יישומם בכרם.

5.1 זיהוי מקור וגורמים להופעת המחלה בכרמים צעירים

מחלת קיפול העלים נפוצה היום ברוב אזורי גידול הגפן בעולם. החדירה הראשונית והגברת התפוצה של המחלה נבעו מהמסחר ברחבי העולם בחומר ריבוי אשר לא פעם נשא את המחלה באופן לטנטי (ללא הופעת סימפטומים). לאורך השנים חלה עלייה במודעות לנזקי המחלה, גבר המחקר המדעי באשר לאופי ההעברה ושופרו הכלים הדיאגנוסטיים לאיתור המחלה. פעולות אלו עודדו מדינות רבות לפתח מערכי פעולה לפיקוח ולנטיעת חומר ריבוי נקי בכרם.

בישראל, היחידה להגנת הצומח ולביקורת במשרד החקלאות אפשרה ב-2008 להביא חומר ריבוי נקי מהמחלה מצרפת, ואכן בנטיעת 2009 – ניטע חומר ריבוי זר שאובחן כנקי מהמחלה. המטרה העיקרית בנטיעות אלו היא שמירתן בריאות/ נקיות ככל האפשר ממחלת קיפול העלים. ההדבקה של גפנים נקיות לאחר הנטיעה, מיוחסת לקמחית הגפן כווקטור העיקרי של גורם המחלה GLRaV-3. הקמחית הינה פוליפאגית אך, המחלה יכולה להגיע רק מגפנים נגועות ולא מפונדקאים אחרים, עליהם יושבת הקמחית ואינם נושאים את הווירוס. אם כך, מקור המדבק הפוטנציאלי הינו כרמים נגועים בוורוס בהם נמצאות קמחיות ונשאלת השאלה מהי ההשפעה של סמיכות לכרם אחר על חדירת המחלה לכרמים שניטעו מחומר ריבוי נקי.

בעבודה זו סווגו כרמים שניטעו מחומר ריבוי נקי לשלוש קטגוריות על פי סמיכותם למקורות מדבק: כרמים מבודדים, כרמים הסמוכים בדופן אחת למקור מדבק פוטנציאלי, כרמים הסמוכים בשתי דפנות למקור מדבק פוטנציאלי. ההשערה המרכזית הייתה כי שעור הנגיעות ופיזור במרחב יהיה שונה בין כרמים בעלי מאפייני סמיכות שונים. קיים אמנם קושי בחלוקה לקטגוריות אלו הנובע מהשונות הגדולה בין הכרמים ומהנגיעות הנמוכה בוורוס, כצפוי בכרמים צעירים מחומר ריבוי נקי אך, ע"י טריאנגולציה של המשתנים שנבדקו ניתן לעקוף קושי זה. בחלק זה של עבודתי נבדק הקשר בין הסמיכות למקור המדבק (כרם נגוע) לבין נוכחות הווקטור שנבדקה ע"י ניטור התעופה הפאסיבית של הזחלנים וע"י ניטור נוכחות של קמחיות בוגרות והשפעת שלושת הגורמים הללו על שיעור הנגיעות במחלה בכרם הצעיר ופיזור המחלה במרחב.

בנטיעות מחומר ריבוי נקי, תעופה פאסיבית של זחלנים נושאי המחלה עלולה להוות מקור מדבק ראשוני כפי שנטען במספר מאמרים. אך עד לאחרונה הוכחת טענה זו נעשתה רק באופן עקיף. דוגמא לכך הוא מחקרם של Charles וחבריו (2009), אשר הראו כי בנטיעה מחומר ריבוי נקי חדירת המחלה החלה מכיוון הנטיעה הבוגרת והנגועה. בחינת הטענה באופן ישיר על ידי הצבת מלכודות דבק בוצעה לאחרונה, על ידי Hommay וחבריו (2012). במחקרם דווח על לכידת זחלנים

של הווקטור *Parthenolecanium corni* בנטיעות צעירות ונקיות בצרפת. בעבודתי, נמצא בשיטה דומה של הצבת מלכודות דבק סביב כרמים הנטועים מחומר ריבוי נקי, כי גם במקרה של זחלני קמחית הגפן, אכן קיימת חדירה בתעופה פאסיבית אל הכרם. בנוסף נמצא בעבודתי כי ניתן לקשר באופן מובהק את מקור הזחלנים לסמיכות לכרמים בוגרים. מצאתי גם כי החדירה לכרם תלויה כיוון, ככל הנראה בהשפעת משטר הרוחות.

על אף העובדה כי הזחלנים קלים ואכן נשאים ברוח בין חלקות הכרם, ידוע בספרות כי דרגה זו הינה הכי רגישה וכי היא בעלת אחוז תמותה גבוה (Geiger & Daane 2001). בשל כך, נבדקה נוכחות הקמחיות בכרם כמדד עקיף המעיד על ההצלחה של ההתבססות הזחלנים בכרם. נוכחות הקמחיות הנמוכה על הגפנים בכרם, שנמצאה בעבודתי, יחסית למספר הזחלנים שנלכדו במלכודות הדבק אכן מעידה כי לא כל הזחלנים אשר נישאים פאסיבית שורדים ומתבססים בכרם הצעיר. בנוסף ייתכן כי חלק מהקמחיות שנמצאו בכרם הגיעו ממקור נוסף, שלא נובע רק מתעופה פאסיבית, אלא מהגורם האנושי וממעבר כלים בין הכרמים השונים (Tsai et al., 2011).

נוכחות אוכלוסיית קמחיות בכרמים צעירים הנטועים מחומר ריבוי נקי אינה מעידה בהכרח על נגיעות במחלת קיפול העלים. בעבודתי נמצא כי בכרמים מבודדים, על אף שתועדה נוכחות גבוהה של קמחיות, אחוז הגפנים הנגועות במחלת קיפול העלים נמוך או אפסי (רמג"ש ומלכיה) זאת לעומת כרמים המוקפים מצד אחד בכרם נגוע בהם נמצאה אוכלוסיית קמחיות נמוכה יותר אך נגיעות מחלה גבוהה יותר. מחקרי מעבדה הראו כי זחלנים מדרגה I מהווים את הדרגה היעילה ביותר כווקטורים הן ברכישה והן בהעברת הווירוס אל הגפן (Tsai et al., 2008). אך, אחוז הנגיעות בכרם מותנה בכך שזחלנים אשר הצליחו לחדור לכרם ולהתבסס בו אכן היו נשאים של הווירוס ושמשו כווקטורים. בניסוי השטח שנערך על ידי Hommay וחבריו (2012) נמצא כי רק 30% מהזחלנים ו- 50% מהזחלים בדרגה שנייה אשר נלכדו היו נשאים של הווירוסים GVA ו GLRaV-1.

המסקנה הינה כי ככל שבסביבת הנטיעה החדשה יש יותר כרמים בוגרים ונגועים הסיכוי להגעת קמחיות הנושאות את הווירוס עולה ועמו הסיכוי להדבקת גפנים במחלה. מכאן שהגורם המשפיע על מספר הקמחיות הינו עוצמת נוכחותן בסביבה, לא בהכרח על גפנים, אך הגורם המשפיע על מידת יכולתן להדביק את הכרם הצעיר בוורוס הינו הגעתן מכרם נגוע ממנו נרכש הווירוס.

בבחינת נתוני התבססות הווקטור והופעת תסמיני המחלה, נראה כי מרבית התסמינים מתבטאים כשנה לאחר חדירת הווקטור כפי שזה מתבטא באוכלוסיית הקמחיות הגבוהה שנמצאה בקיץ 2011 והופעת התסמינים המאסיבית שנראתה רק בסתיו 2012. תופעה דומה נראתה במחקרם של Cabaleiro וחבריה (2008). משך הזמן מההדבקה ועד להופעת התסמינים טרם נחקר במלואו. הסבר אפשרי לתופעה זו, הוא כי ריכוז הווירוס (טיטר) בגפנים אלו היה עדיין נמוך בקיץ 2011 ולכן לא בוטאו התסמינים. הקשר בין ריכוז הווירוס לביטוי התסמינים נחקר בימים אלו במספר מעבדות אך עדיין לא פורסמו הממצאים (ד"ר עומר קריין- תקשורת אישית).

במטרה להעמיק ולהבין מהו מקור הנגיעות במחלה בכרמים צעירים יש צורך לנתח את תפישת הצמחים הנגועים במרחב. מחקרים קודמים ניתחו את הנגיעות במרחב בדרכים שונות. Cabaleiro ו Segura (2006) בחנו את התפשטות המחלה בחלקות תצפית בריאות בתוך ובסמוך לחלקות בוגרות ונגועות. במחקר אחר, נערך מעקב רב שנתי ואקסטרפולציה לנגיעות עתידית צפויה בחלקות הנטועות מחומר ריבוי נקי (Charles et al., 2009). החידוש בעבודתי, הינו בשילוב בין ניתוח מרחבי ומבחן שונות סטטיסטי לצורך הערכת סיכוני הנגיעות ברמת הדופן וסביבתה ולא רק ברמת הכרם. בדרך זו, נמצא כי הסמיכות למקורות מדבק (כרמים בוגרים וכרמים צעירים) הובילה לאחוזי נגיעות גבוהים יותר בדפנות הנטיעה הצעירה מחומר ריבוי נקי, זאת בהשוואה לאחוזי הנגיעות בדפנות הסמוכות לסביבה צמחית אחרת.

המסקנות מחלק זה של המחקר הינן שקיימת חדירה בלתי נמנעת בתעופה פאסיבית של זחלני הקמחיות בעיקר מכרמים נגועים סמוכים לכרמים הנקיים. חלק מהזחלנים מצליחים להתבסס בכרם וכתוצאה מכך נכנסת המחלה לכרם שניטע מחומר ריבוי נקי. הסיכון הגבוה ביותר להינגעות הינו בדפנות הכרם המצויות בסמיכות לכרמים ותיקים. ההדבקה כפי שתואר בספרות הינה מיידית אך הסימפטומים יופיעו רק לאחר שנה כפי שנראה במחקרי ובמחקרם של Cabaleiro ו Segura (2006).

מאחר וחדירת הקמחיות לכרם הנקי הינה בלתי נמנעת בסביבת כרמים נגועים יש צורך להעמיק את הידע בדינמיקה של התפשטות המחלה בתוך הכרם. הבנת הדינמיקה מהווה בסיס לפיתוח ממשק ההתמודדות עם המחלה.

5.2 דינאמיקת התפשטות המחלה בתוך הכרם

הבנת הדינמיקה של התפשטות המחלה בתוך הכרם נעשתה על בסיס איסוף נתונים רב שנתיים של נגיעות גפנים במספר כרמים בוגרים. בעבודה זו מתוארת הדינמיקה של התפשטות המחלה במרחב ובזמן ונמצא הקשר ביניהם.

5.2.1 התפשטות המחלה במרחב בתוך הכרם

הדינמיקה של התפשטות המחלה במרחב נחקרה בדרכים שונות, לדוגמה Habili ו Nutter (1997), ניתחו את דגם התפשטות המחלה בכרם לאורך 11 שנים, באמצעות ordinary run analysis. גישה מחקרית שונה ננקטה בעבודתם של Atallah וחבריו (2012a). בעבודה זו, נבנה מודל ביו-אקונומי המבוסס על כרם וירטואלי וסקרי כרמים ובאמצעותו, כומת שיעור הנגיעות החודשי בתוך ובין שורות הכרם. במחקר הנוכחי, אשר התבסס על נתוני אמת מכרמים בוגרים, נבחרה טכניקה שונה לאיתור דגם הנגיעות המרכזי בכרם. לכל גפן בריאה בכרם חושב אחוז סיכון ההינגעות שלה בשנה העוקבת על בסיס מיקומה יחסית לגפנים נגועות, זאת בניגוד לקבלת ערך בודד עבור כל חלקת הכרם, כנהוג במחקרים קודמים.

דגם ההתפשטות המקובץ אשר אותר במחקרים קודמים, יוחס להפצת המחלה בתדירות גבוהה יותר בין גפנים סמוכות באותה שורה זאת בהשוואה להתפשטותו בין שורות הכרם (Cabaleiro et al., 2004; Habili & Nutter, 1997; Pietersen, 2004) מחקר עדכני שנערך על ידי Atallah וחבריו (2012a) חישב כי שיעור ההינגעות החודשי בתוך שורת הכרם הוא 4.2 ובין שורות הכרם הוא 0.014. ממצאים אלו נבדלים בחלקם מתוצאות עבודתי. באמצעות הטכניקה בה השתמשתי, לא נמצא למעשה, הבדל מובהק בסיכון ההינגעות של גפנים הממוקמות במקביל לגפן הנגועה בשורה הסמוכה לבין גפנים סמוכות, הממוקמות באותה שורה. ניתן לראות, שמרבית העלייה בנגיעות בכל שנה, מתרכזים ברדיוס של 3 מטרים מגפנים נגועות.

בנוסף לדגם ההתפשטות המקובץ והמוקדי ניתן לאתר גם דגם אקראי של הדבקה בשיעור נמוך יותר של גפנים שאינן בסמיכות לגפנים נגועות. ניתן להסביר דגמים אלו באמצעות חלוקת תנועת הקמחית לשלושה סוגים: 1- תנועה אקטיבית של הקמחית מגפן לגפן באותה השורה בעיקר ע"י מעבר בין זמורות של גפנים סמוכות. 2- תנועה אקטיבית או פאסיבית, באמצעות רוחות או רעיית נמלים, של מעבר בין גפנים משורות סמוכות. 3- תנועה פאסיבית באמצעות רוחות בין ובתוך חלקות ובין כרמים. שני סוגי התנועה הראשונים תואמים את מרבית הנגיעות המתפתחת ומייצרים את דגם הנגיעות המוקדי ברדיוס של 3 מטר מגפן המקור הנגועה בתוך חלקת הכרם. סוג התנועה השלישי, יכול להיות מוסבר בתנועה פאסיבית של זחלני קמחיות נשאי וירוס באמצעות רוחות. חיזוק לכך נמצא בסעיף העוסק בכרמים החדשים (סעיף 3.1), בו תוארה חדירת המחלה אל הכרם באמצעות זחלני קמחיות. הדגם האקראי מושפע גם מההצלחה החלקית בלבד של הזחלנים להתבסס על הגפן. סוג התנועה השלישי, מסביר את התפתחות הנגיעות הנמוכה יותר, זו הממוקמת ברדיוס גבוה משלושה מטרים מגפנים נגועות.

5.2.2 התפשטות המחלה בזמן בתוך הכרם

קצב ההתפשטות של מחלת קיפול העלים תואר במחקרים קודמים באמצעות עקומת S- לוגיסטית, דוגמא לכך הוא מחקרם של Habili ו-Nutter (1997). ניתן לחלק את ההתפשטות בעקומה זו לשלושה שלבים: בהתחלה חדירה וקצב התפשטות איטי, לאחר מכן עלייה תלולה בשיעור הנגיעות בטווח זמן קצר ולבסוף, שלב הרוויה- מרבית הגפנים בכרם נגועות ולכן תוספת הגפנים הנגועות בחלקה הינה מועטה. עקומת התפשטות המחלה בזמן מיוחסת לשילוב הסתברויות, ההסתברות של ווקטור לרכוש את הווירוס מגפן חולה וההסתברות של אותו ווקטור להתבסס על גפן בריאה. גם כאן, כמו בהתפשטות המחלה במרחב, הגורם האפידמיולוגי המשפיע על קצב ההתפשטות בזמן מיוחס לווקטור- הכנימה הקמחית. בעבודתי נבנה נדבך נוסף, לתיאור המקובל של עקומת S, הנותן משקל לרמות נגיעות תחילית שונות והשפעתן על תוספת הגפנים הנגועות. תוצאות ניתוח התפשטות המחלה בזמן שנערך בעבודתי מעידות כי בשיעור נגיעות תחילי נמוך תוספת הגפנים הנגועות נמוכה עד אפסית. המשמעות היא כי ברמה זו קל יותר לשלוט על התפשטות המחלה בכרם. זאת לעומת שיעור נגיעות תחילית גבוה יחסית (למעלה מרבע חלקה נגועה) - בו קצב תוספת הגפנים הנגועות

גדל במידה רבה יותר, בפרק זמן קצר של שנה (טווח של שנה עוקבת). בקצב נגיעות מהיר זה קיים קושי להתמודד עם התפשטות המחלה. בפרק זה של העבודה לא נבדקה תוספת הגפנים הנגועות ברמת נגיעות גבוהה יותר, אך עם במחקרי עבר תואר כי בשלב זה, תוספת הגפנים הנגועות הולכת ופוחתת, זאת מכיוון שמרבית הכרם נגוע וההסתברות של הווקטור למצוא גפן בריאה שטרם נדבקה הולכת ופוחתת (Habibi & Nutter, 1997).

דגם התפשטות המחלה בכרם מושפע משילוב של הזמן והמרחב. Habibi ו- Nutter (1997) הסיקו ממעקב רב- שנתי כי דגם הנגיעות מושפע במרחב כתוצאה מהזמן, בראשיתו הוא אקראי ולאחר 8 שנים ממועד הנטיעה הופך הדגם מקובץ. העבודה הנוכחית מחדדת את ההקשר בין הזמן למרחב. ניתן בעבודתי לראות שלושה שלבים של התפשטות מרחבית- עתית: השלב הראשון מתרחש בשנים הראשונות לחדירת המחלה אל הכרם, כאשר רמות הנגיעות הנמוכות. בשלב זה, דגם ההתפשטות ברובו אקראי וניתן לייחס אותו לכרמים סמוכים או להתבטאות נגיעות מנטיעת גפנים בודדות מחומר ריבוי נגוע. השלב השני מתרחש כאשר רמת הנגיעות בכרם היא בינונית. בשלב השני ניתן לאתר בבירור את הגפנים אשר נמצאות בסיכון גבוה להינגעות- גפנים בריאות הממוקמות ברדיוס של שלושה מטרים מגפנים נגועות. בשלב זה רוב הנגיעות ה"חדשה" היא למעשה התפשטות משנית שמקורה בנגיעות אשר תוארה בשלב הראשון. במקביל להתפשטות המוקדית ממשיכה בעוצמה פחותה יחסית (העוצמה קבועה אך עוצמת ההתפשטות המשנית עולה עליה) התפשטות אקראית מסביבת הכרם, כפי שתועדה בפרק שעסק בכרמים הצעירים. בשלב השלישי אשר תועד במחקרנו, כאשר רמת הנגיעות בכרם גבוהה גם תוספת הנגיעות השנתית היא גבוהה מאד. באחוז נגיעות כזה, לכל הגפנים הבריאות בכרם סיכויי הינגעות דומים והתפשטות המחלה אחידה ברחבי הכרם.

בשלב הראשון, תוספת הגפנים הנגועות נמוכה ובמידה וימצאו שיטות הדברה יעילות ניתן לרסן את ההתפשטות המחלה. בשלב השני תוספת הגפנים הנגועות היא בינונית וניתן לשער בבירור את מיקומן במרחב הכרם ולכן קיימת אפשרות לטיפול ממוקד בגפנים אלו אשר ימנע את הדבקתן. מכאן שיש לבחון את היעילות של שיטות הדברה שונות כדי לשמור על רמת נגיעות נמוכה לאורך זמן.

5.3 הקשר בין הדברת הקמחית להתפשטות המחלה בשיטות הדברה שונות בכרמים בוגרים

התפשטות מחלת קיפול העלים בכרם באמצעות כנימות נתגלתה בניסוי מעבדה כבר בשנת 1990 (Engelbrecht & Kasdorf, 1990). במרוצת הזמן, מרבית המחקר בתחום זה התמקד באיתורם של חרקים נוספים המשמשים כווקטורים למחלת קיפול העלים. בנוסף, נערכו מספר מצומצם של מחקרי שדה אשר בחנו את הקשר בין נוכחות הווקטור לשיעור הפצת המחלה בכרמים בהם בוצעה הדברה מינימאלית. Charles וחבריו (2009) בחנו את הקשר בין אוכלוסיית הווקטור *Pseudococcus longispinus* להתפשטות המחלה לאורך שש שנים. בעבודתם נרשמה עלייה גבוהה במספר הגפנים

הנגועות במחלה בהתאמה ובהפרש של שנתיים מעלייה גבוהה באוכלוסיית הווקטור. לאחרונה פורסמה עבודתם של Maguet וחבריו (2013). בעבודה זו, נמצא מתאם מרחבי בין מקבצי הווקטור לנגיעות במחלת קיפול העלים בכרמים בהם קצב הנגיעות ואוכלוסיית הקמחיות היו גבוהים. המסקנה המרכזית במחקרים אלו היא שבכרמים בהם התבססה אוכלוסיית הווקטור שיעור התפשטות המחלה גבוה יותר בהשוואה לחלקות נגועות בהן אוכלוסייה מצומצמת של הווקטור.

על אף ממצאי מחקרים אלו, לא נמצאו בספרות ניסויים אשר בחנו את ההשפעה של יעילות הדברת הווקטור על צמצום התפשטות המחלה. עבודת המחקר הנוכחית מחדשת בכך שבחנה מהן ההשלכות של מספר טיפולי הדברה הן על הווקטור והן על קצב התפשטות המחלה.

לצורך כך, הושם דגש על מציאת חלקות ניסוי בעלות אחוז נגיעות בינוני ופיזור נגיעות אחיד. בשנת המחקר הראשונה נבחרו כרמים בהם שיעור הנגיעות היה גבוה (למעלה מ 30%) וכפי שתואר בפרק הניתוח במרחב ובזמן העלייה בשיעור הנגיעות בשנה העוקבת היה גבוה מאד (תוספת בסדר גודל של 20%) ולא אפשר המשך מעקב אחר התפשטות עתידית בכרמים אלו. ואכן בשנת המחקר השנייה נעשה הליך מדוקדק בכלים גיאוסטטיסטיים לבחירת חלקות הניסוי. מעבודה זו, עולה כי בטיפולים בהם הדברת הקמחית הייתה יעילה יותר התפשטות המחלה הייתה קטנה יותר. בנוסף לכך, גם בחלקות בהם לא נמצאה נוכחות של הווקטור גרמו הטיפולים שנמצאו יעילים בחלקות אחרות להפחתה בקצב הנגיעות בהשוואה לטיפול הביקורת המשקית. ממצאים אלו מחזקים את הצורך בניטור יעיל של נוכחות הווקטור ואת חשיבות ההדברה כאמצעי שליטה במחלת קיפול העלים בכרם. התעמקות ביעילות שיטות ההדברה השונות חושף כי על אף החשש מפני עמידות, טיפול ההדברה הנהוג בכרמי ישראל, הגמעה בניקוטינואיד, אכן מצמצם את אוכלוסיית הכנימה בהשוואה לחלקות ללא טיפול כלל. עם זאת יש לזכור כי בנסיבות אלו, כאשר הכנימה מהווה ווקטור, יש צורך להגיע לרמת אוכלוסייה אפסית. בעבודה זו, נמצא כי הדברה באמצעות בלבול זכרים הייתה היעילה ביותר בצמצום אוכלוסיית הווקטור והאטת התפשטות המחלה. טכניקת הדברה זו בעלת שני יתרונות מרכזיים בהשוואה לממשק ההדברה הנהוג כיום: האחד- יעילות היישום אינה תלויה בתנאים סביבתיים, דוגמת משקעים וסוג קרקע. השני- עד כה לא נמצאו עדויות לפיתוח עמידות של מזיקים כנגד הדברה בטכניקה זו ולמעשה בעבודה הנוכחית נמצא כי יעילות הטיפול גדלה לאורך שנות היישום.

5.3.1 הקשר בין רמת התסמינים לנוכחות הווקטור

במחקר הנוכחי, כמו במחקרים קודמים, השינוי בגודל אוכלוסיית הווקטור בא לידי ביטוי בשיעור הנגיעות במחלה רק לאחר שנה ממועד ההדברה המשוער (Cabaleiro & Segura, 2006; Charles et al., 2009; Maguet et al., 2013).

תופעה זו תוארה בפרק שעסק בכרמים הצעירים בו התסמינים הופיעו בשנה שלאחר הופעת אוכלוסיית הקמחיות. ממצאי הניטור בכרמים הצעירים מעידים על אוכלוסייה גבוהה יותר בשנת

הגידול השנייה (2011) בהשוואה לשנת הגידול השלישית (2012), אשר שימשה גם כשנת בציר הענבים הראשונה במרבית חלקות הניסוי. אך, בשנה זו (2012) נראו תסמינים במתאם לרמת אוכלוסיית המזיק בשנה הקודמת (2011). ניתן להסביר תופעה זו בכך שבישראל נהוג לא לבצור את הכרם בשלוש השנים הראשונות לנטיעתו (עורלה), ממשק זה גורם לא פעם לניטור מזיקים מצומצם יותר ולטיפול רק כאשר מזוהות אוכלוסיות גדולות של הווקטור כמזיק. הדברת הווקטור בשלב זה, מתבצעת לא פעם לאחר שכבר הדביק גפנים צעירות במחלה.

מניסויי ההדברה עלתה תופעה דומה בה ההבדלים בקצב ההינגעות בין הטיפולים השונים הפכו מובהקים רק כאשר נבדקה ההשפעה הדו-שנתית.

תוצאות עבודה זו מחזקות את החשיבות המכרעת של ממשק הדברה סדיר כנגד הווקטור לצורך האטת התפשטות המחלה גם כאשר אוכלוסיית הווקטור קטנה עד בלתי נראית. מסקנה נוספת הינה כי יש חשיבות גדולה לטיפול בכלל הכרם למניעת הדבקות אקראיות ויש חשיבות לבדיקה של שילוב ההדברה הכללית עם טיפול נוסף הממוקד בגפנים בסיכון גבוה להידבקות.

5.4 פיתוח הדמיה ראשונית לבחינת יעילות הדברה ממוקדת לצמצום התפשטות המחלה.

שיטת ההדמיה מהווה כלי המאפשר לבחון את יעילות ההדברה הממוקדת לצורך צמצום מחלת קיפול העלים. לדוגמא: Atallah וחבריו (2012a) ערכו הדמיה של מספר תרחישים בהם הוחלפו הגפנים הנגועות בחלקות כרם וירטואליות. לעומת זאת, Pietersen (2004) ערך תצפיות בכרמים ממשיים ועקב אחר ההשלכות של עקירת גפנים נגועות בדרום אפריקה, בעבודה זו סיפק מידע איכותני. בעבודתי, נעזרתי בשיטת ההדמיה ליצירת טיפולים וירטואליים תוך התבססות על נתוני אמת רב שנתיים מכרמים. ממצאי העבודה הנוכחית ניתן להסיק כי טיפול עקירה, אכן מצמצם את שיעור המחלה בכרם, אך כפי שנמצא במחקרו של Pietersen (2004) אינו מונע לחלוטין את המשך התפשטות המחלה ובמידה ומיושם ברמת נגיעות גבוהה מפחית באופן ניכר את מספר הגפנים בכרם. בנוסף, למרות הסיכון הגבוה של גפנים סמוכות להינגע, נראה כי הטיפול הווירטואלי בהן כתוספת לטיפול העקירה לא תרם משמעותית לצמצום שיעור המחלה.

יחד עם זאת, הרחבת הידע על דינאמיקת המחלה (כפי שתואר בסעיף 3.2) הדגיש כי באחוזי נגיעות שונים, דגם התפשטות המחלה במרחב משתנה ולכן יש צורך באסטרטגיית הדברה שונה. בשל כך נעשתה הדמיה לבחינת יעילותן של אסטרטגיות הדברה ברמות נגיעות שונות. בחירת אסטרטגיות ההדברה התייחסה לשני נתיבי התפשטות המחלה המרכזיים: האחת- הדברה באמצעות עקירה וטיפול בגפנים סמוכות בכדי להתמודד עם התפשטות מוקדית, והשנייה- טיפול בכלל חלקת הכרם, בכדי להפחית את ההתפשטות האקראית. ברמות הנגיעות הנמוכות נמצא כי עקירת הגפנים הנגועות מפחיתה את שיעור הנגיעות בשנה העוקבת, זאת בהתאמה לממצאיו של Pietersen (2004) ובנוסף

ישנה חשיבות להדברה בכל הכרם כפי שהוצג בחלקות הכרם הצעירות בעבודתי. ברמת הנגיעות הבינונית יש חשיבות לשילוב בין הדברה ממוקדת הכוללת עקירה וטיפול בגפנים סמוכות כמו גם טיפול בכלל חלקת הכרם. שילוב אסטרטגיות ההדברה נמצא בהתאמה עם הדגם המרחבי המאפיין רמת נגיעות זו, ולכן נמצא כיעיל ביותר. ברמת הנגיעות הגבוהה, עקירת גפנים נגיעות אכן מובילה לירידה בשיעור הנגיעות, אך זאת במחיר כבד של צמצום ניכר במספר הגפנים. ברמת נגיעות זו, לא נמצאה השפעה משמעותית לשיטות ההדברה האחרות. כאשר רמת הנגיעות גבוהה קיים קושי לחזות את מיקום הנגיעות במרחב ולכן התועלת מההדברה היא פחותה. המסקנה היא כי הבחירה בדרך ההתמודדות, עקירה, טיפול בגפנים סמוכות או הדברה בכלל הכרם תלויה ברמת הנגיעות.

חשוב לציין כי תהליך ההדמיה אשר בוצע במחקר זה, אינו מבצע עקירה או טיפול ממשיים. בשל כך נתוני ההדמיה הרב שנתיים סובלים מהערכת-יתר, הם אינם משכללים את העובדה כי עקירת גפנים נגיעות- מצמצמת את מקורות המדבק הפנימיים בכרם ובכך גם מצמצמת את הנגיעות המשנית. בתהליכי ההדמיה אשר התבססו על נגיעות תחילית נבחנו יעילותם של מספר שיטות הדברה על התפשטות המחלה בשנה העוקבת. תוצאות המחקר הנוכחי מעידות כי לא פעם השלכות טיפול ההדברה יתבטאו רק שנה לאחר מכן, אך בשל מגבלות ההדמיה לא ניתן היה לבחון זאת.

היתרונות והחסרונות בכלי ההדמיה הווירטואלי מהווים בסיס למחקר המשך אשר יישם את הממצאים בחלקות כרם לצורך ולידציה של המודל המוצע. המודל המוצע במחקר הנוכחי יכול להוות כלי תומך בקבלת החלטות בהתמודדות עם המחלה.

6. סיכום ומסקנות

עבודת המחקר הנוכחית התמקדה באפידמיולוגיה ומניעת ההתפשטות של מחלת קיפול העלים בכרם. במחקר זה גפנים סימפטומטיות שימשו כמדד לנגיעות במחלה על בסיס בדיקות מדגמיות בהן גפנים סימפטומטיות נמצאו כנגועות בוורוס GLRaV-3 ו- 92% מהגפנים ללא סימפטומים אינן נגיעות בוורוס. המחקר עסק בגורמים המשפיעים על חדירת המחלה אל הכרם, התפשטות המחלה, לאחר החדירה, בתוך הכרם, ובדרכים להאטת קצב ההתפשטות בתוך הכרם באמצעים שונים. על סמך שלושת הראשים הללו נבנה מודל להאטת קצב ההתפשטות בתוך הכרם בו שוקללו הגורמים השונים בשלבים שונים של התפשטות המחלה.

במסגרת עבודה זו, בחלק שבחן את הגורמים המשפיעים על חדירת המחלה אל הכרם, נקבע באופן כמותי מיקום הנגיעות והערכת הסיכון להינגעות של דפנות הקרובות למקור מדבק. נמצא כי מקור ראשוני וחיצוני לחדירת המחלה אל הכרם הינו תעופה פאסיבית ובלתי נמנעת של זחלני הקמחיות מכרמים נגיעים וסמוכים. נמצא כי חלק מזחלנים אלו, מצליחים להתבסס בכרם וכתוצאה מכך חודרת המחלה. עדות נוספת לכך היא הקשר שנמצא בכרמים שניטעו מחומר ריבוי נקי בין רמת קמחיות

לרמת נגיעות במחלה. בכרמים אלו, נמצא כי הסיכון הגבוה ביותר להינגעות הינו בדפנות הכרם המצויות בסמיכות לכרמים ותיקים.

בעבודה זו, הוכח לראשונה כי הדברת הווקטור אכן מצמצמת את ההתפשטות המחלה. כמו כן נמצא כי יעלות ההדברה מתבטאת סימפטומטית באופן מובהק רק בשנה העוקבת- ההדבקה או לחילופין ההימנעות מההדבקה הינה מיידית אך הסימפטומים יופיעו רק לאחר שנה.

לאחר חדירת המחלה אל הכרם אופיין קצב ודגם ההתפשטות המרחבי בתוך הכרם. נמצא כי קצב ההתפשטות אינו לינארי אלא מדורג וכי דגם ההתפשטות במרחב מושפע מהמרחק מגפנים נגועות המשמשות כמקור למחלה. גם הקצב וגם הדגם המרחבי נמצאו כתלויים בשיעור הנגיעות התחילית.

על בסיס ממצאים אלו פותח מודל אשר בחן את דרכי ההתמודדות המתאימים להאטת התפשטות המחלה ברמות נגיעות תחילית שונות:

כאשר שיעור הנגיעות בחלקה נמוך, תוספת הגפנים הנגועות נמוכה וסידורה במרחב הינו אקראי. בשלב זה, נמצא בטיפול ההדמיה כי שיטות הדברה יעילות בכלל הכרם ועקירת הגפנים הנגועות עשויות לרסן את ההתפשטות המחלה.

כאשר אחוז הנגיעות בחלקה בינוני, התפשטות המחלה פועלת במקביל בשני מישורים: 1 – באמצעות תנועת ווקטורים מוקדית בתוך חלקת הכרם. 2- באמצעות המשך חדירת זחלנים נשאים מסביבת הכרם. בשלב זה ניתן להעריך את מיקום הגפנים אשר נמצאות בסיכון גבוה להינגעות כתוצאה מתנועה מוקדית של הווקטור. כתוצאה מניסויי ההדברה וטיפול ההדמיה אשר נערכו בעבודה זו, נראה כי ברמת נגיעות בינונית הטיפול המומלץ כולל עקירת גפנים נגועות, טיפול בגפנים סמוכות- המצויות בסיכון הדבקה וטיפול בכלל חלקת הכרם.

כאשר שיעור הנגיעות בחלקה הוא גבוה, תוספת הגפנים הנגועות גבוהה ואקראית. במצב זה, קשה להעריך את מיקום ה"נגיעות החדשה" במרחב ולכן טיפול הדברה ממוקד אינו כלי מתאים.

שימוש בחומר ריבוי נקי הוא הכרח בניסיון להתמודד עם מחלת קיפול העלים אך לא מספיק. כפי שהוכח בעבודה זו הקרבה לכרמים ותיקים נגועים מהווה איום מתמיד על הכרמים החדשים שכן מצאנו שיש נוכחות לא מבטולת של זחלני קמחית הנישאים פסיבית ברוח. הממצאים המעודדים של עבודה זו מראים כי לטיפול הדברה קפדניים נגד הקמחית תרומה משמעותית בהפחתת הנגיעות. ניתוח דפוסית ההתפשטות מראה שקצב ההינגעות איטי כל זמן ששיעור הגפנים החולות בכרם נמוך. שילוב של עקירה של גפנים נגועות כל זמן שהן בודדות עם טיפול הדברה יעילים בשילוב עם טיפול ממוקד בסביבת הגפנים הנגועות יוכל לשמור על כרמים בריאים לאורך זמן.

- Abad-Franch F, Ferraz G, Campos C, Palomeque FS, Grijalva MJ, Aguilar HM & Miles MA (2011) Modeling Disease Vector Occurrence when Detection Is Imperfect: Infestation of Amazonian Palm Trees by Triatomine Bugs at Three Spatial Scales. *PLoS neglected tropical diseases* 4: e620.
- Abou Ghanem-Sabanadzovic N, Sabanadzovic S, Uyemoto JK, Golino D & Rowhani A (2010) A putative new *ampelovirus* associated with grapevine leafroll disease. *Archives of Virology* 155: 1871-1876.
- Alves M, Silva F, Moraes J, Pozza E, Oliveira M, Souza JS & Alves L (2011) Geostatistical analysis of the spatial variation of the berry borer and leaf miner in a coffee agroecosystem. *Precision Agriculture* 12: 18-31.
- Atallah SS, Gomez M, Conrad JM & Nyrop JP (2012a) An Agent-Based Model of Plant Disease Diffusion and Control: Grapevine Leafroll Disease: Agricultural and Applied Economics Association Annual Meeting, August 12-14, 2012, (ed., Seattle, Washington).
- Atallah SS, Gómez MI, Fuchs MF & Martinson TE (2012b) Economic Impact of Grapevine Leafroll Disease on *Vitis vinifera* cv. Cabernet franc in Finger Lakes Vineyards of New York. *American Journal of Enology and Viticulture* 63: 73-79.
- Ben-Dov Y, Zahavi T & Openheim D (2000) New records of soft scale insects on grapevine and plum from the Golan Heights. *Alon Hanotea* 54: 142-143.
- Ben - Dov Y (1994) A systematic catalogue of the mealybugs of the world (Insecta: Homoptera: Coccoidea: Pseudococcidae and Putoidea) : with data on geographical distribution, host plants, biology and economic importance. Intercept, Andover.
- Berlinger MJ (1977) The Mediterranean vine mealybug and its natural enemies in southern Israel. *Phytoparasitica* 5: 3-14.
- Bester R, Maree HJ & Burger JT (2012) Complete nucleotide sequence of a new strain of grapevine leafroll-associated virus 3 in South Africa. *Archives of Virology* 157: 1815-1819.
- Byrne FJ & Toscano NC (2006) Uptake and persistence of imidacloprid in grapevines treated by chemigation. *Crop Protection* 25: 831-834.
- Cabaleiro C, Couceiro C, Pereira S, Cid M, Barrasa M & Segura A (2008) Spatial analysis of epidemics of Grapevine leafroll associated virus-3. *European journal of plant pathology / European Foundation for Plant Pathology* 121: 121-130.

- Cabaleiro C & Segura A (1997a) Field transmission of grapevine leafroll associated virus 3 (GLRaV-3) by the mealybug *Planococcus citri*. *Plant Disease* 81: 283-287.
- Cabaleiro C & Segura A (1997b) Some characteristics of the transmission of grapevine leafroll associated virus 3 by *Planococcus citri* Risso. *European journal of plant pathology / European Foundation for Plant Pathology* 103: 373-378.
- Cabaleiro C & Segura A (2006) Temporal Analysis of Grapevine leafroll associated virus 3 Epidemics. *European Journal of Plant Pathology* 114: 441-446.
- Cabaleiro C, Segura A & García-Berrios JJ (1999) Effects of Grapevine Leafroll-Associated Virus 3 on the Physiology and Must of *Vitis vinifera* L. cv. Albariño Following Contamination in the Field. *American Journal of Enology and Viticulture* 50: 40-44.
- Campbell CL & Madden LV (1990) *Introduction to plant disease epidemiology*. Wiley, New York [etc.].
- Chamberlain E (1967) Leafroll virus in the grapevines. *Wine Review* 4: 29-32.
- Charles JG, Cohen D, Walker JTS, Forgie SA, Bell VA & Breen KC (2006) A review of the ecology of Grapevine leafroll-associated virus type 3 (GLRaV-3). *New Zealand Plant Protection* 59: 330-337.
- Charles JG, Froud KJ, Brink R & Allan DJ (2009) Mealybugs and the spread of grapevine leafroll-associated virus 3 (GLRaV-3) in a New Zealand vineyard. *Australasian Plant Pathology* 38: 576-583.
- Cid M, Pereira S, Cabaleiro C, Faoro F & Segura A (2007) Presence of Grapevine leafroll-associated virus 3 in primary salivary glands of the mealybug vector *Planococcus citri* suggests a circulative transmission mechanism. *European Journal of Plant Pathology* 118: 23-30.
- Cliff AD & Ord JK (1981) *Spatial processes: models & applications*. London: Pion.
- Cohen Y, Sharon R, Sokolsky T & Zahavi T (2011) Modified Hot-Spot analysis for spatio-temporal analysis: a case study of the leaf-roll virus expansion in vineyards: Spatial 2-Spatial data methods for environmental and ecological processes (ed., Foggia, Italy).
- Cretazzo E, Tomás M, Padilla C, Rosselló J, Medrano Gil H, Padilla V & Cifre J (2010) Incidence of virus infection in old vineyards of local grapevine varieties from Majorca: implications for clonal selection strategies: Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA).
- Daane K, Almeida RP, Bell V, Walker JS, Botton M, Fallahzadeh M, Mani M, Miano J, Sforza R, Walton V & Zaviezo T (2012) Biology and Management of Mealybugs in Vineyards: *Arthropod Management in Vineyards*: (ed. by NJ Bostanian, C Vincent & R Isaacs) Springer Netherlands, pp. 271-307.

- Daane K, Bentley W, Walton V, Malakar-Kuenen R, Millar J, Ingels C, Weber E & Gispert C (2006) New controls investigated for vine mealybug. *California Agriculture* 60: 31-38.
- Dallot S, Gottwald T, Labonne G & Quiot J-B (2003) Spatial Pattern Analysis of Sharka Disease (Plum pox virus Strain M) in Peach Orchards of Southern France. *Phytopathology* 93: 1543-1552.
- Douglas N & Kruger K (2008) Transmission efficiency of Grapevine leafroll-associated virus 3 (GLRaV-3) by the mealybugs *Planococcus ficus* and *Pseudococcus longispinus* (Hemiptera: Pseudococcidae). *European Journal of Plant Pathology* 122: 207-212.
- Duso C, R. T, Borgo M & Egger E (1985) Influence of heat regulations using water on the populations of *Planococcus ficus* (Signoret) on grapevines. *Rivista di Viticoltura e di Enologia* 38: 597-607.
- Engelbrecht DJ & Kasdorf GGF (1990) Transmission of grapevine leafroll disease and associated closteroviruses by the vine mealybug *Planococcus ficus*. *Phytophylactica* 22: 341- 346.
- Freeborough MJaJB (2006) Leafroll: Economic implications: Wynboer (ed). WineLand Publications, <http://www.wynboer.co.za/recentarticles/200812-leafroll.php3>
- Geiger CA & Daane KM (2001) Seasonal Movement and Distribution of the Grape Mealybug (Homoptera: Pseudococcidae): Developing a Sampling Program for San Joaquin Valley Vineyards. *Journal of Economic Entomology* 94: 291-301.
- Getis A & Ord JK (1996) Local spatial statistics: an overview. In 'Spatial analysis: modeling in a GIS environment'. (ed. by P Longley & M Batty) pp. 269-285.
- Goheen AC, Harmon FN & Weinberger JH (1958) Leafroll (White Emperor Disease) of grapes in California. *Phytopathology* 48: 51-54.
- Goheen AC, Harmon FN, Weinberger JH & Cook JA (1959) Leafroll (red-leaf or Rougeau) and its effect on vine growth, fruit quality and yields. *American Journal of Enology and Viticulture* 10: 173-181.
- Golino DA (1993) Potential Interactions Between Rootstocks and Grapevine Latent Viruses. *American Journal of Enology and Viticulture* 44: 148-152.
- Golino DA (2000) Trade in grapevine plant materials: local, national, and worldwide perspectives. In: "Proceedings of the 50th Anniversary Meeting of the American Society for Enology and Viticulture", Seattle, Washington. pp. 216-221.
- Gottwald TR, Cambra M, Moreno P, Camarasa E & Piquer J (1996) Spatial and temporal analyses of citrus tristeza virus in eastern Spain. *Phytopathology* 86: 45-55.

- Gouveia P, Santos M, Eiras-Dias J & Nolasco G (2011) Five phylogenetic groups identified in the coat protein gene of grapevine leafroll-associated virus 3 obtained from Portuguese grapevine varieties. *Archives of Virology* 156: 413-420.
- Guidoni S, Mannini F, Ferrandino A, Argamante N & Di Stefano R (1997) The effect of grapevine leafroll and rugose wood sanitation on agronomic performance and berry and leaf phenolic content of a Nebbiolo Clone (*Vitis vinifera* L.). *American Journal of Enology and Viticulture* 48: 438-442.
- Gutha LR, Alabi OJ & Naidu RA (2012) Effect of Grapevine leafroll disease on photosynthesis in a red-fruited wine grape cultivar: 17th Congress of the International Council for the Study of Virus and Virus-like Diseases of the Grapevine (ICVG) (ed. by B Ferguson) Foundation Plant Services, University of California, Davis, Davis, California, USA, pp. 168-169.
- Habili N & Nutter FW (1997) Temporal and Spatial analysis of grapevine leafroll-associated virus 3 in Pinot Noir grapevines in Australia. *Plant Disease* 81: 625-628.
- Herschler A (1936) Ernährungsstörungen an Reben durch Bodenverhältnisse mit Besonder Berücksichtigung von Kalimangelschäden. *Ernährungsstörungen Pflanze* 32: 197-204.
- Hinkens DM, McElfresh JS & Millar JG (2001) Identification and synthesis of the sex pheromone of the vine mealybug, *Planococcus ficus*. *Tetrahedron Letters* 42: 1619-1621.
- Hogenhout SA, Ammar e-D, Whitfield AE & Redinbaugh MG (2008) Insect vector interactions with persistently transmitted viruses. *Annual review of phytopathology* 46: 327-359.
- Hommay G, Wiss L, Maguet J, Beuve M & Herrbach E (2012) First results on wind dispersal of *Parthenolecanium corni* larva in newly planted vineyard: 17th Congress of the International Council for the Study of Virus and Virus-like Diseases of the Grapevine (ICVG) (ed. by B Ferguson) Foundation Plant Services, University of California, Davis, Davis, California, USA, pp. 202-203.
- Ifoulis AA & Savopoulou-Soultani M (2006) Use of geostatistical analysis to characterize the spatial distribution of *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae) larvae in northern Greece. *Environmental Entomology* 35: 497-506.
- Jooste AC, Pietersen G & Burger J (2011) Distribution of grapevine leafroll associated virus-3 variants in South African vineyards. *European Journal of Plant Pathology* 131: 371-381.
- Jooste AEC, Bester R, Maree HJ, de Koker W & Burger JT (2012) A Survey of red and white cultivars to test an improved detection technique for Grapevine leafroll associated virus 3 (GLRaV-3) variants identified in South Africa: 17th Congress of the International Council for the Study of Virus and Virus-like

- Diseases of the Grapevine (ICVG) (ed. by B Ferguson) Foundation Plant Services, University of California, Davis Davis, California, USA, pp. 122-123.
- Jooste AEC, Maree HJ, Bellstedt DU, Goszczynski DE, Pietersen G & Burger JT (2010) Three genetic grapevine leafroll-associated virus 3 variants identified from South African vineyards show high variability in their 5'UTR. *Archives of Virology* 155: 1997-2006.
- Karasev AV (2000) Genetic diversity and evolution of *Closteroviruses*. *Annual review of phytopathology* 38: 293-324.
- Karimzadeh R, Hejazi M, Helali H, Iranipour S & Mohammadi S (2011) Assessing the impact of site-specific spraying on control of *Eurygaster integriceps* (Hemiptera: Scutelleridae) damage and natural enemies. *Precision Agriculture* 12: 576-593.
- Kliewer WM & Lider LA (1976) Influence of Leafroll Virus on Composition of Burger Fruits. *American Journal of Enology and Viticulture* 27: 118-124.
- Kovacs LG, Hanami H, Fortenberry M & Kaps ML (2001) Latent infection by leafroll agent GLRaV-3 is linked to lower fruit quality in French-American hybrid grapevines Vidal blanc and St. Vincent. *American Journal of Enology and Viticulture* 52: 254-259.
- Krake LR (1993) haracterisation of grapevine leafroll diseaseby symptomatology. *Australia and New Zealand Wine Industry Journal* 8: 40-44.
- Kriegler PJ (1954) 'n Bydrae tot die kennis van *Planococcus citri* (Risso)(Homoptera: Pseudococcidae) (in Afrikaans). Thesis, Stellenbosch University, 7602 Matieland (Stellenbosch), South Africa.
- Ling K-S, Zhu H-Y, Petrovic N & Gonsalves D (2001) Comparative effectiveness of ELISA and RT-PCR for detecting grapevine leafroll-associated Closterovirus-3 in field samples. *American Journal of Enology and Viticulture* 52: 21-27.
- Maguet J, Fuchs J-J, Chadœuf J, Beuve M, Herrbach E & Lemaire O (2013) The role of the mealybug *Phenacoccus aceris* in the spread of Grapevine leafroll-associated virus -1 (GLRaV-1) in two French vineyards. *European Journal of Plant Pathology* 135: 415-427.
- Mannini F, Mollo A & Tragni R (2012) Elimination of GLRaV-1 and GVA mixed infection: effects on field performances and wine quality in a clone of 'Nebbiolo' (*Vitis vinifera* L.) 17th Congress of the International Council for the Study of Virus and Virus-like Diseases of the Grapevine (ICVG) (ed. by B Ferguson) Foundation Plant Services, University of California, Davis, Davis, California, USA, pp. 166-167.
- Mansour R, K. GL & Rezgui S (2010a) Assessment of the performance of some new insecticides for the control of the vine mealybug *Planococcus ficus* in a Tunisian vineyard. *Entomologia Hellenica* 19: 21-33.

- Mansour R, Youssfi F, Lebdi K & Rezgui S (2010b) Imidacloprid applied through Drip irrigation as a new promising alternative to control mealybugs in Tunisian Vineyards. *Journal of Plant Protection Research* 50: 315-319.
- Maree HJ, Freeborough MJ & Burger JT (2008) Complete nucleotide sequence of a South African isolate of grapevine leafroll-associated virus 3 reveals a 5'UTR of 737 nucleotides. *Archives of Virology* 153: 755-757.
- Martelli GP, Agranovsky AA, Bar-Joseph M, Boscia D, Candresse T, Coutts RHA, Dolja VV, Falk BW, Gonsalves D, Jelkmann W, Karasev AV, Minafra A, Namba S, Vetten HJ, Wisler GC & Yoshikawa N (2002) The family *Closteroviridae* revised. *Archives of Virology* 147: 2039-2044.
- Martin RR, Eastwell KC, Wagner A, Lamprecht S & Tzanetakis IE (2005) Survey for viruses of grapevine in Oregon and Washington. *Plant Disease* 89: 763-766.
- Martinson TE, Fuchs M, Loeb G & Hoch HC (2008) Grapevine leafroll: an increasing problem in the Finger Lakes, the US and the World. *Finger Lakes Vineyard Notes* 6: 6-11.
- Millar JG, Daane KM, McElfresh JS, Moreira JA, Malakar-Kuenen R, Guillén M & Bentley WJ (2002) Development and optimization of methods for using sex pheromone for monitoring the mealybug *Planococcus ficus* (Homoptera: Pseudococcidae) in California vineyards. *Journal of Economic Entomology* 95: 706-714.
- Monis J & Bestwick RK (1996) Detection and Localization of Grapevine Leafroll Associated Closteroviruses in Greenhouse and Tissue Culture Grown Plants. *American Journal of Enology and Viticulture* 47: 199-205.
- Moral García FJ (2006) Analysis of the spatio-temporal distribution of *Helicoverpa armigera* Hb. in a tomato field using a stochastic approach. *Biosystems Engineering* 93: 253-259.
- Moran PAP (1950) Notes on continuous stochastic phenomena. *Biometrika* 17-23.
- Mullins MG, Bouquet A & Williams LE (1992) *Biology of the grapevine*. Cambridge University Press.
- Nault LR (1997) Arthropod transmission of plant viruses: A new synthesis. *Annals of the Entomological Society of America* 90: 521-541.
- Nicholas P (2006) Selection of clones for the Australian National Nuclear Grapevine Collection. *The Australian & New Zealand Grapegrower & Winemaker* 31-33.
- Nimmo-Bell (2006) The economic effects and financial impact of GLRaV3. A Nimmo-Bell Publication, March 2006: pp. 1-18. Wellington, New Zealand.
- Over de Linden AJ & Chamberlain EE (1970) Effect of grapevine leafroll virus on vine growth and fruit yield and quality. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 13: 689-698.

- Park YL & Tollefson JJ (2006) Development and economic evaluation of spatial sampling plans for corn rootworm *Diabrotica* spp. (Col., Chrysomelidae) adults. *Journal of Applied Entomology* 130: 337-342.
- Pesqueira AM, García-Berrios JJ, Barrasa M & Cabaleiro C (2012) Economic impact of leafroll disease in vineyards of the cultivar Albariño in Rías Baixas (Spain): 17th Congress of the International Council for the Study of Virus and Virus-like Diseases of the Grapevine (ICVG) (ed. by B Ferguson) Foundation Plant Services, University of California, Davis, Davis, California, USA.
- Pierce FJ & Nowak P (1999) Aspects of Precision Agriculture. In: "Advances in Agronomy" (ed. by LS Donald) Academic Press, pp. 67: 1-85.
- Pieterse G (2004) Spread of Grapevine leafroll disease in South Africa-a difficult, but not insurmountable problem. *Wynboer* 179: 110-113.
- Prabhaker N, Toscano NC, Castle SJ & Henneberry TJ (1997) Selection for imidacloprid resistance in silverleaf whiteflies from the Imperial Valley and development of a hydroponic bioassay for resistance monitoring. *Pesticide Science* 51: 419-428.
- Scheu G (1936) *Mein Winzerbuch*, Reichsnährstand Verlags-Ges. m.b.H.
- Scott L & Getis A (2008) Spatial statistics. *Encyclopedia of geographic informations*. Sage, Thousand Oaks, CA.
- Sether DM, Borth WB, Melzer MJ & Hu J (2010) Spatial and temporal incidences of Pineapple mealybug wilt-associated viruses in Pineapple planting blocks. *Plant Disease* 94: 196-200.
- Sforza R, Boudon-Padieu E & Greif C (2005) New mealybug species vectoring grapevine leafroll-associated viruses-1 and -3 (GLRaV-1 and -3). *European Journal of Plant Pathology* 109: 975-981.
- Sharma AM, Wang J, Duffy S, Zhang S, Wong MK, Rashed A, Cooper ML, Daane KM & Almeida RP (2011) Occurrence of grapevine leafroll-associated virus complex in Napa Valley. *PloS one* 6: e26227.
- Sokolsky T, Cohen Y, Zahavi T, Sapir G & Sharon R (2013) Potential efficiency of grapevine leafroll disease management strategies using simulation and real spatio-temporal disease infection data. *Australian Journal of Grape and Wine Research* (accepted with minor revisions).
- Teliz D, Tanne E, Gonsalves D & Zee F (1987) Field serological detection of viral antigens associated with grapevine leafroll disease. *Plant Disease* 71: 704-709.
- Tobler WR (1970) A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. *Economic Geography* 46: 234-240.

- Tsai CW, Bosco D, Daane KM & Almeida RPP (2011) Effect of host plant tissue on the vector transmission of grapevine leafroll-associated virus 3. *Journal of Economic Entomology* 104: 1480-1485.
- Tsai CW, Rowhani A, Golino DA, Daane KM & Almeida RPP (2010) Mealybug transmission of grapevine leafroll viruses: An Analysis of Virus–Vector Specificity. *Phytopathology* 100: 830-834.
- Tsai CW, Chau J, Fernandez L, Bosco D, Daane KM & Almeida RPP (2008) Transmission of grapevine leafroll-associated virus 3 by the Vine Mealybug (*Planococcus ficus*). *Phytopathology* 98: 1093-1098.
- Tsai CW, Daugherty MP & Almeida RPP (2012) Seasonal dynamics and virus translocation of Grapevine leafroll-associated virus 3 in grapevine cultivars. *Plant Pathology* 61: 977-985.
- Urban AJ (1985) The integrated control of vine mealybug, *Planococcus ficus* (Signoret) on vines. Plant Protection Research Institute, Polkadrive, Stellenbosch, Private Bag X5017, 7559 Stellenbosch, South Africa.
- Van Maanen A & Xu XM (2003) Modelling Plant Disease Epidemics. *European Journal of Plant Pathology* 109: 669-682.
- Vega A, Gutiérrez R, Peña-Neira A, Cramer G & Arce-Johnson P (2011) Compatible GLRaV-3 viral infections affect berry ripening decreasing sugar accumulation and anthocyanin biosynthesis in *Vitis vinifera*. *Plant Molecular Biology* 77: 261-274.
- Walton VM (2003) Development of an integrated pest management system for vine mealybug, *Planococcus ficus* (Signoret), in vineyards in the Western Cape Province, South Africa. PhD Thesis. Stellenbosch University.
- Walton VM, Daane KM, Bentley WJ, Millar JG, Larsen TE & Malakar-Kuenen R (2006) Pheromone-based mating disruption of *Planococcus ficus* (Hemiptera: Pseudococcidae) in California vineyards. *Journal of Economic Entomology* 99: 1280-1290.
- Walton VM & Pringle KL (2004 a) Vine mealybug, *Planococcus ficus* (Signoret) (Hemiptera : Pseudococcidae), a Key Pest in South African vineyards . A Review. *South African Journal of Enology and Viticulture* 25: 54-62.
- Walton VM, Daane KM & Pringle KL (2004 b) Monitoring *Planococcus ficus* in South African vineyards with sex pheromone-baited traps. *Crop Protection* 23: 1089-1096.

אשכול א. (2012) בית המרקחת. עלון הנוטע 66:18-21.

שרון ר, זהבי ת, מואסי מ ופרוטסוב א (2005) עידוד אויבים טבעיים של קמחית הגפן בכרם והשפעתו על צמצום הנזקים, הוגש למועצת גפן היין.

8. נספחים

טבלה ו- נתונים על הכרמים הצעירים שניטעו מחומר ריבוי נקי. בנטיעות קיץ 2009 וחורף 2010 – מיקום הכרמים, גודל חלקות הניסוי, זן, שנות הניסוי מאפייני סמיכות הכרם ונגיעות במחלת קיפול העלים (LR) לאורך שנות המחקר.

שם הכרם	מיקום	גודל (דונם)	זן	שנת ניסוי	מאפיין סמיכות	LR 2010 (%)	LR 2011 (%)	LR 2012 (%)	הערות
מלכיה	גליל	28.3	קברנה סוביניון	2010-2012	מבודד	0.04	0.1	0.27	
יפתח	גליל	18.4	קברנה סוביניון	2010-2012	סמוך משני צדדים לכרמים ותיקים	0.04	1.34	14.48	גפנים בעלות תסמינים משנת 2011- נעקרו
יונתן	מרכז הגולן	37.6	קברנה סוביניון	2010-2012	סמוך מצד אחד לכרם ותיק	0	0.08	0.08	
רמת מגשימים	מרכז הגולן	7.3	קברנה סוביניון	2010-2012	מבודד	0	0	0	
אלרום	צפון הגולן	20.5	קברנה סוביניון	2010-2012	סמוך משני צדדים לכרמים ותיקים	0	0.05	0.29	
שיפון	צפון הגולן	16.8	מרלו	2010-2012	סמוך מצד אחד לכרם ותיק	0	0.05	0.6	

טבלה ו- נתונים על הכרמים הבוגרים בהם נערכו ניסויי ההדברה והמעקב אחר השפעת טיפולי ההדברה על התפשטות הווירוס- טיפול ההדברה (טיפול), גודל החלקה, רמת הנגיעות בכל שנה (LR) .

LR 2012 (%)	LR 2011 (%)	LR 2010 (%)	גודל חלקת ניסוי (דונם)	טיפול	כרם
32	20.53	6.8	3.2	ביקורת ממשקית	עין זיוון
24.35	16.73	6.25	3	דרסטי	
25.55	19.81	11.80	2.8	בלבול זכרים	
33	26.48	14.03	2.3	בלבול + קילוף גזע	
15.23	14.01	9.45	2.6	ביקורת ממשקית	כרם הרוח 1
11.16	10.68	8.93	2.57	דרסטי	
11.52	11.13	8.78	2.1	בלבול זכרים	
11.94	11.32	7.54	2.1	בלבול + קילוף גזע	
14.12	13.98	12.02	2.8	ביקורת ממשקית	כרם הרוח 2
18.14	16.45	10.54	2.17	דרסטי	
13.58	12.59	9.64	2.3	בלבול זכרים	
17.5	15.75	8.75	2.38	בלבול + קילוף גזע	

טבלה ו-iii נתוני הכרמים אשר שימשו ליצירת חייץ אלכסוני כל ידי נתוני אורך, רוחב ואזימוט בכלי table "to ellipse" בסביבת GIS לצורך בחירת גפנים בשורות מקבילות להערכת הסיכון להינגעות ב t₁.

מרחק בדוק	כרם	אורך (מטרים)	רוחב (מטרים)	אזימוט (מעלות)
גפן שכנה בשורה מקבילה	גשור	8	0.8	115
גפן במרחק שתי שורות מגפן נגועה		14.5	0.8	110
גפן שכנה בשורה מקבילה	עין זיוון	8	1	155
גפן במרחק שתי שורות מגפן נגועה		14.5	1	155
גפן שכנה בשורה מקבילה	כרם הרוח	8	1	127
גפן במרחק שתי שורות מגפן נגועה		14.5	1	127

טבלה IV- נתוני הכרמים (שם הכרם והחלקה) אשר שימשו לחקר הדינאמיקה של התפשטות המחלה בכרמים בוגרים. פירוט השנים הנבדקות בכל כרם (שנת התחלה t_0 ושנת בדיקה t_1), אחוזי הנגיעות התחילית (אחוז נגיעות ב t_0) והחלוקה לטווחי הנגיעות התחילית השונים (חלוקה ע"פ K-means וחלוקה נוספת ע"פ Moran's I).

חלוקה עפ"י K-means Moran's I	חלוקה עפ"י K-means	אחוז נגיעות ב t_0	t_1	t_0	טיפול/שנה	כרם, חלקה
I	I	4.55	2006	2005	2005	גשור
I	I	6.26	2011	2010	דרסטי	עין זיוון
I	I	6.48	2007	2006	2006	גשור
I	I	6.80	2011	2010	קונפידור	עין זיוון
I	I	7.55	2011	2010	בלבול+קילוף	כרם הרוח 104
II	I	7.79	2008	2007	2007	גשור
II	I	8.75	2011	2010	בלבול+קילוף1	כרם הרוח 103
II	I	8.79	2011	2010	בלבול1	כרם הרוח 103
II	I	8.87	2011	2010	קונפידור	כרם הרוח 103
II	I	8.93	2011	2010	דרסטי	כרם הרוח 104
II	I	9.65	2011	2010	בלבול	כרם הרוח 104
II	I	9.98	2009	2008	2008	גשור
II	I	10.55	2011	2010	דרסטי1	כרם הרוח 104
II	I	10.69	2012	2011	דרסטי	כרם הרוח 104
II	II	11.13	2012	2011	בלבול1	כרם הרוח 103
II	II	11.32	2012	2011	בלבול+קילוף	כרם הרוח 104
II	II	11.80	2011	2010	בלבול	עין זיוון
II	II	12.03	2011	2010	קונפידור	כרם הרוח 104
II	II	12.60	2012	2011	בלבול	כרם הרוח 104
II	II	12.83	2012	2011	קונפידור	כרם הרוח 103
III	II	13.99	2012	2011	קונפידור	כרם הרוח 104
III	II	14.03	2011	2010	בלבול+קילוף	עין זיוון
III	II	15.75	2012	2011	בלבול+קילוף1	כרם הרוח 103
III	II	16.46	2012	2011	דרסטי1	כרם הרוח 104
III	II	16.73	2010	2009	2009	גשור
III	II	16.73	2012	2011	דרסטי	עין זיוון
III	III	19.82	2012	2011	בלבול	עין זיוון
III	III	20.53	2012	2011	קונפידור	עין זיוון
IV	III	24.34	2011	2010	2010	גשור
IV	III	26.48	2012	2011	בלבול+קילוף	עין זיוון
IV	III	30.82	2012	2011	2011	גשור

טבלה V- תוצאות הניתוח הסטטיסטי (ממוצע, שגיאת תקן, F, df, p-value) לבחינת הבדלים באוכלוסיית הזכרים בין כרמים הצעירים בסמיכות שונה לכרמים בוגרים ונגועים (כרמים מבודדים, כרמים הסמוכים מצד אחד לכרמים בוגרים וכרמים הסמוכים משני צדדים לכרמים בוגרים) לאורך השנים 2010-2012. (כל טבלה מייצגת ניתוח תוצאות שנת מחקר).

		2010								
		מאי	יוני	יולי	אוגוסט	ספטמבר	אוקטובר	נובמבר	דצמבר	
ממוצע	מבודד	0 B	0.005 B	0.01 A	0	0.01	0.02	0.02	0	
	סמוך מצד אחד	0 B	0 B	0	1.16	0.53	0.05	0.01	0	
	סמוך משני צדדים	0.38 A	0.71 A	0.42 A	0.59	0.97	0.06	0.36	0.05	
שגיאות תקן	מבודד	0	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0	
	סמוך מצד אחד	0	0.01	0.01	0.60	0.24	0.03	0.01	0	
	סמוך משני צדדים	0.18	0.27	0.21	0.15	0.43	0.01	0.23	0.04	
df		2	2	2	NS	NS	NS	NS	NS	
F		5.19	7.76	3.80						
P-value		0.01	0.01>	0.03						

		2011											
		ינואר	פברואר	מרץ	אפריל	מאי	יוני	יולי	אוגוסט	ספטמבר	אוקטובר	נובמבר	דצמבר
ממוצע	מבודד	0	0	0	0	0	0 B	0.01 B	0.03 B	0 B	0.03	0	0
	סמוך מצד אחד	0	0	0	0	0.01	0 B	0 B	0 B	0.11 B	0.35	0	0
	סמוך משני צדדים	0.01	0	0	0	0.05	0.3 A	0.36 A	0.22 A	0.32 A	0.58	0	0
שגיאות תקן	מבודד	0	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0	0.03	0	0
	סמוך מצד אחד	0	0	0	0	0.01	0	0	0	0.05	0.16	0	0
	סמוך משני צדדים	0.01	0	0	0	0.02	0.15	0.11	0.05	0.08	0.24	0	0
df		NS	NS	NS	NS	NS	2	2	2	2	NS	NS	NS
F							4.45	10.17	18	7.16			
P-value							0.01	0.01>	0.01>	0.01>			

		2012										
		ינואר	פברואר	מרץ	אפריל	מאי	יוני	יולי	אוגוסט	ספטמבר	אוקטובר	נובמבר
ממוצע	מבודד	0	0	0	0.03	0.01	0.02	0.04 A	0.09	0.10	0.04 B	0 B
	סמוך מצד אחד	0	0	0	0.35	0	0	0.04 A	0.10	0.09	0.4 B	0.16 AB
	סמוך משני צדדים	0.01	0	0	0.58	0.02	0.02	0.15 A	0.11	2.06	1.6 A	0.97 A
שגיאות תקן	מבודד	0	0	0	0.03	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.02	0
	סמוך מצד אחד	0	0	0	0.16	0	0	0.02	0.06	0.03	0.21	0.09
	סמוך משני צדדים	0.01	0	0	0.24	0.02	0.01	0.06	0.05	1.04	0.50	0.43
df								2			2	2
F								3.42			7.81	3.56
P-value		NS	NS	NS	NS	NS	NS	0.04	NS	NS	0.01>	0.03

טבלה VI- תוצאות הניתוח הסטטיסטי (ממוצע, שגיאת תקן, F, p-value) לבחינת הבדלים באוכלוסיית זכרים בין טיפולי הדברה שונים (ביקורת, ביקורת ממשקית, טיפול דרסטי, בלבול זכרים בשנת היישום הראשונה, בלבול זכרים בשנת היישום השנייה) בעונת המחקר 2009-2010.

	מאי		יוני		יולי		אוגוסט		ספטמבר		אוקטובר	
	ממוצע	שגיאת תקן	ממוצע	שגיאת תקן	ממוצע	שגיאת תקן	ממוצע	שגיאת תקן	ממוצע	שגיאת תקן	ממוצע	שגיאת תקן
ביקורת	0.03	0.01	0.55 A	0.20	1.75 A	0.60	1.79 A	0.79	0.76	0.23	0.115942	0.066414
ביקורת ממשקית	0.06	0.03	0.04 B	0.02	0.23 B	0.07	0.54 AB	0.21	0.22	0.28	0.065217	0.030744
דרסטי	0.03	0.03	0.07 AB	0.03	0.14 AB	0.09	0.23 AB	0.12	0.22	0.45	0.185507	0.168066
בלבול, שנה ראשונה	0.03	0.01	0.03 B	0.01	0.05 B	0.02	0.05 B	0.03	0.04	0.23	0.028986	0.025102
בלבול, שנה שנייה	0.00	0.00	0.04 B	0.02	0.08 B	0.02	0.05 B	0.02	0.06	0.23	0.014493	0.025102
df	NS		4		4		4		NS		NA	
F			4.89		5.6		3.04					
p-value			0.01>		0.01>		0.02					

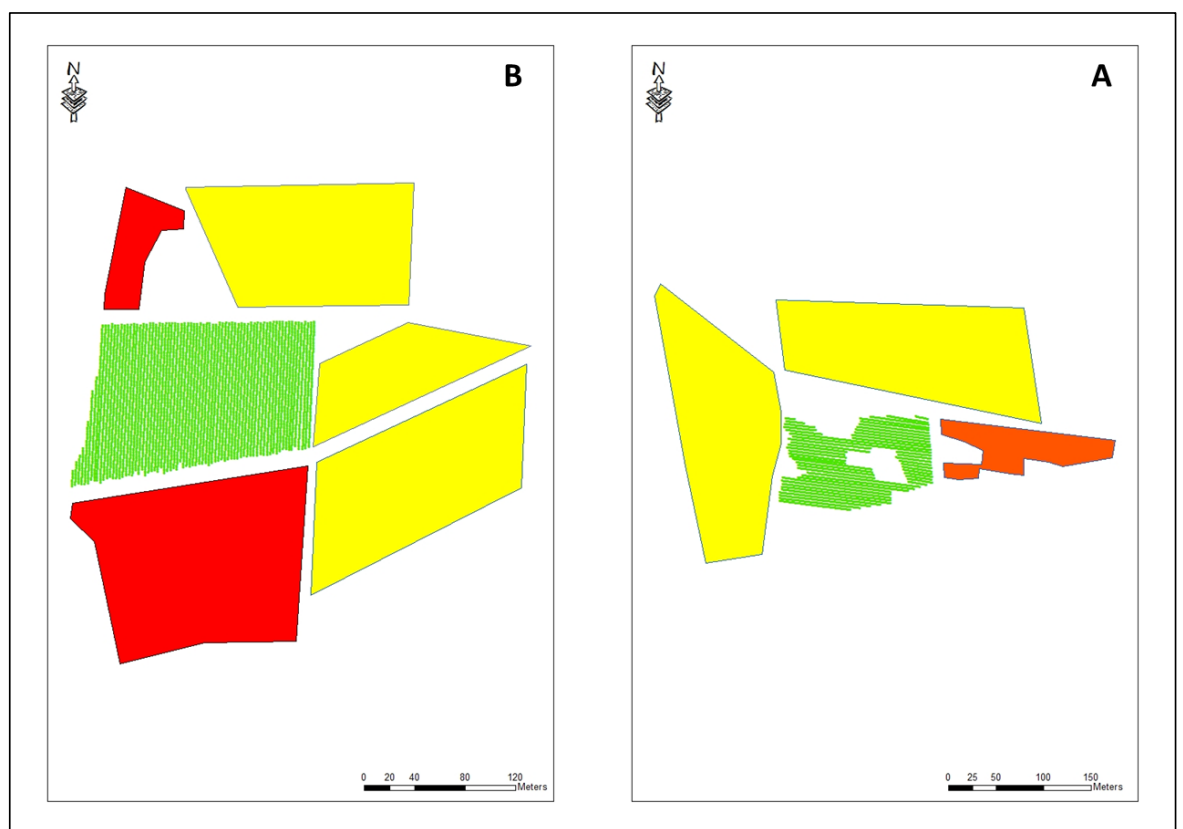
טבלה VII- נתוני תוצאות טיפולי ההדברה (בלבול זכרים וטיפול "דרסטי") על בסיס תוצאות ניסוי ההדברה בעונת המחקר 2009-2010.

כרם	טיפול	נגיעות כללית של קמחיות (%)	נגיעות כללית של קמחיות- ממוצע (%)	יעילות הטיפול (בהשוואה לביקורת)
גשור	בקורת	22	37.3	
		58		
		32		
גשור	בלבול זכרים	4	9.3	75
		8		
		16		
גשור	דרסטי	0	0	100
		0		
		0		

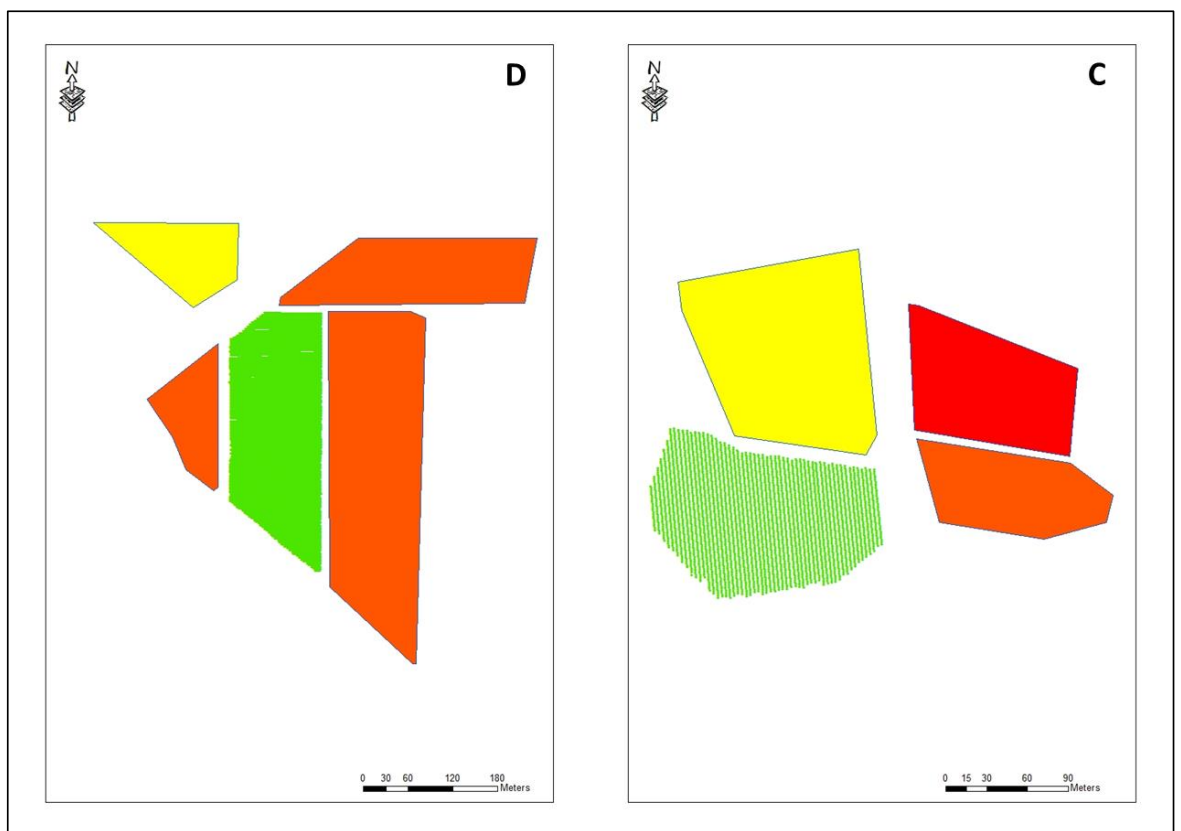
משוואה I- חישוב יעילות טיפולי ההדברה (בלבול זכרים וטיפול "דרסטי") על בסיס תוצאות ניסוי ההדברה, כמפורט בטבלה VI.

$$\text{יעילות טיפול הבלבול} = \frac{\text{נגיעות ממוצעת בטיפול הבלבול} - \text{נגיעות ממוצעת בטיפול הביקורת}}{\text{נגיעות ממוצעת בטיפול הביקורת}} \times 100$$

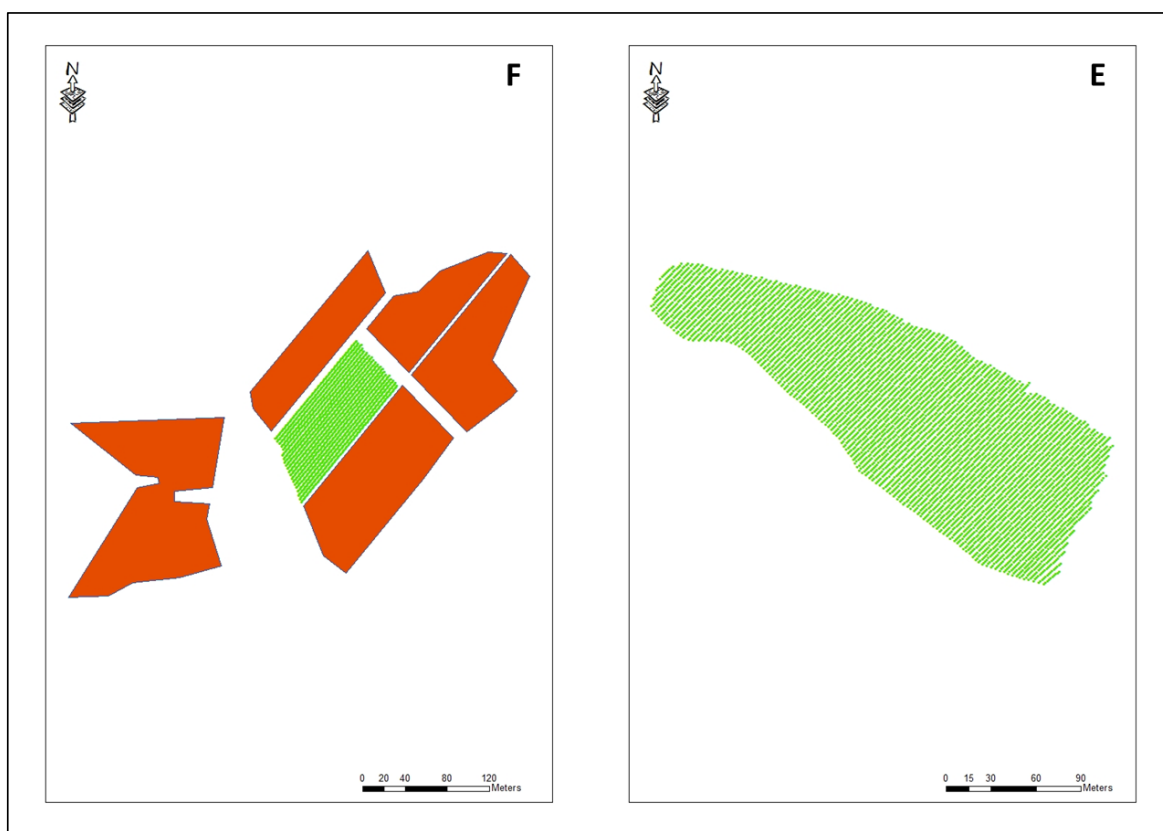
$$\text{יעילות טיפול הדרסטי} = \frac{\text{נגיעות ממוצעת בטיפול הדרסטי} - \text{נגיעות ממוצעת בטיפול הביקורת}}{\text{נגיעות ממוצעת בטיפול הביקורת}} \times 100$$



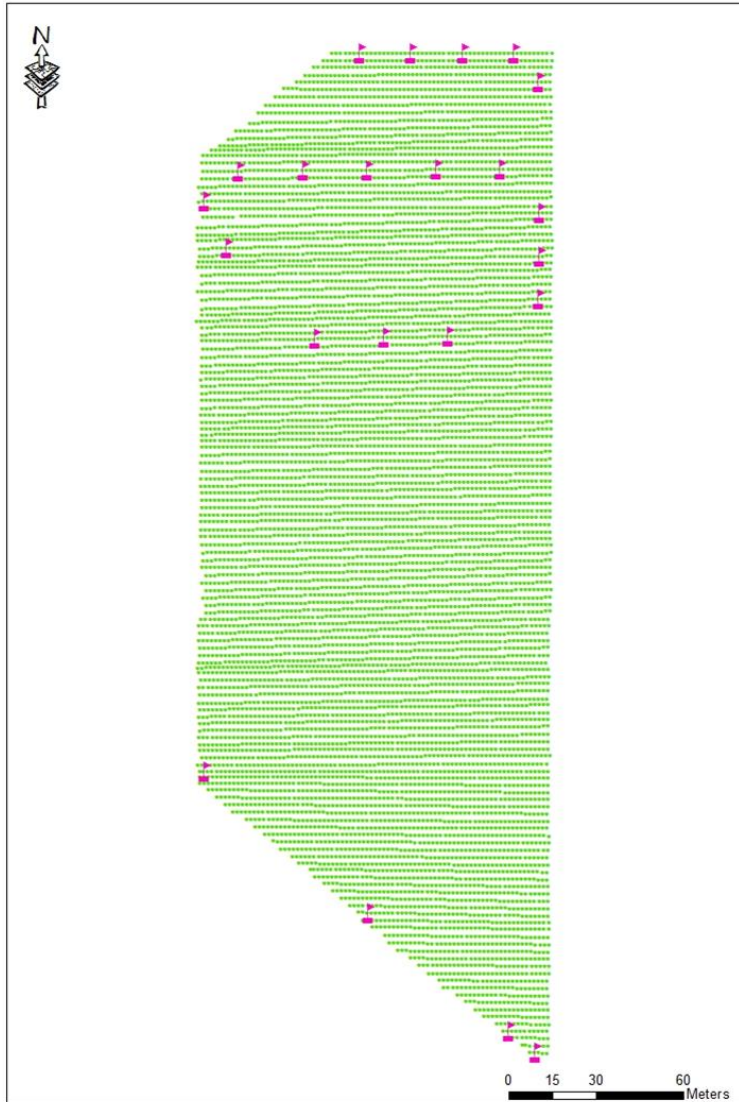
איור ו- כרמים צעירים (הגפנים מיוצגות כנקודות ירוקות) הסמוכים משני צדיהם לכרמים בוגרים ונגועים. A- כרם יפתח, B- כרם אלרום. פוליגונים צהובים- מייצגים חלקות כרם בוגרות ונגועות, פוליגונים אדומים- מייצגים נטעות צעירות מחומר ריבוי שאובחן כנקי מווירוסים.



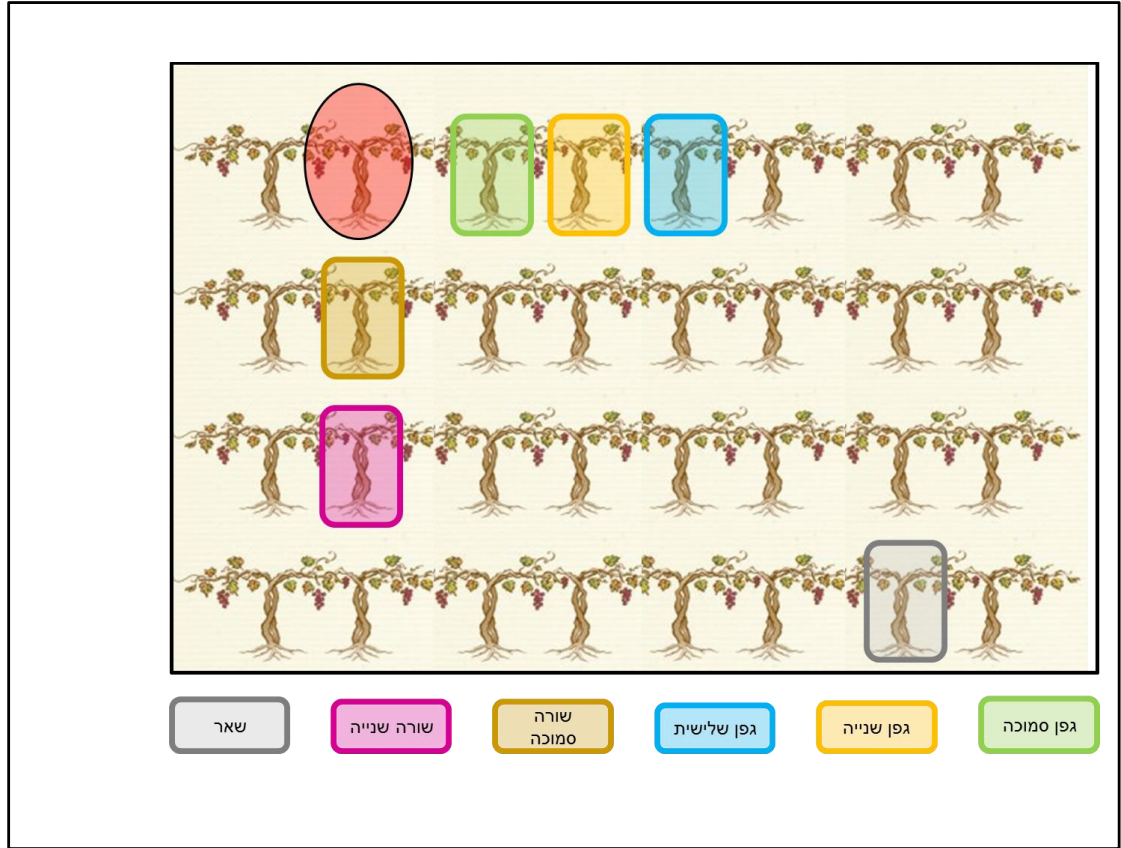
איור II- כרמים צעירים הסמוכים (הגפנים מיוצגות כנקודות ירוקות) מצד אחד לכרמים בוגרים ונגועים. C- כרם שיפון, D- כרם יונתן. פוליגונים צהובים- מייצגים חלקות כרם בוגרות ונגועות, פוליגונים אדומים- מייצגים נטיעות צעירות מחומר ריבוי שאובחן כנקי מווירוסים.



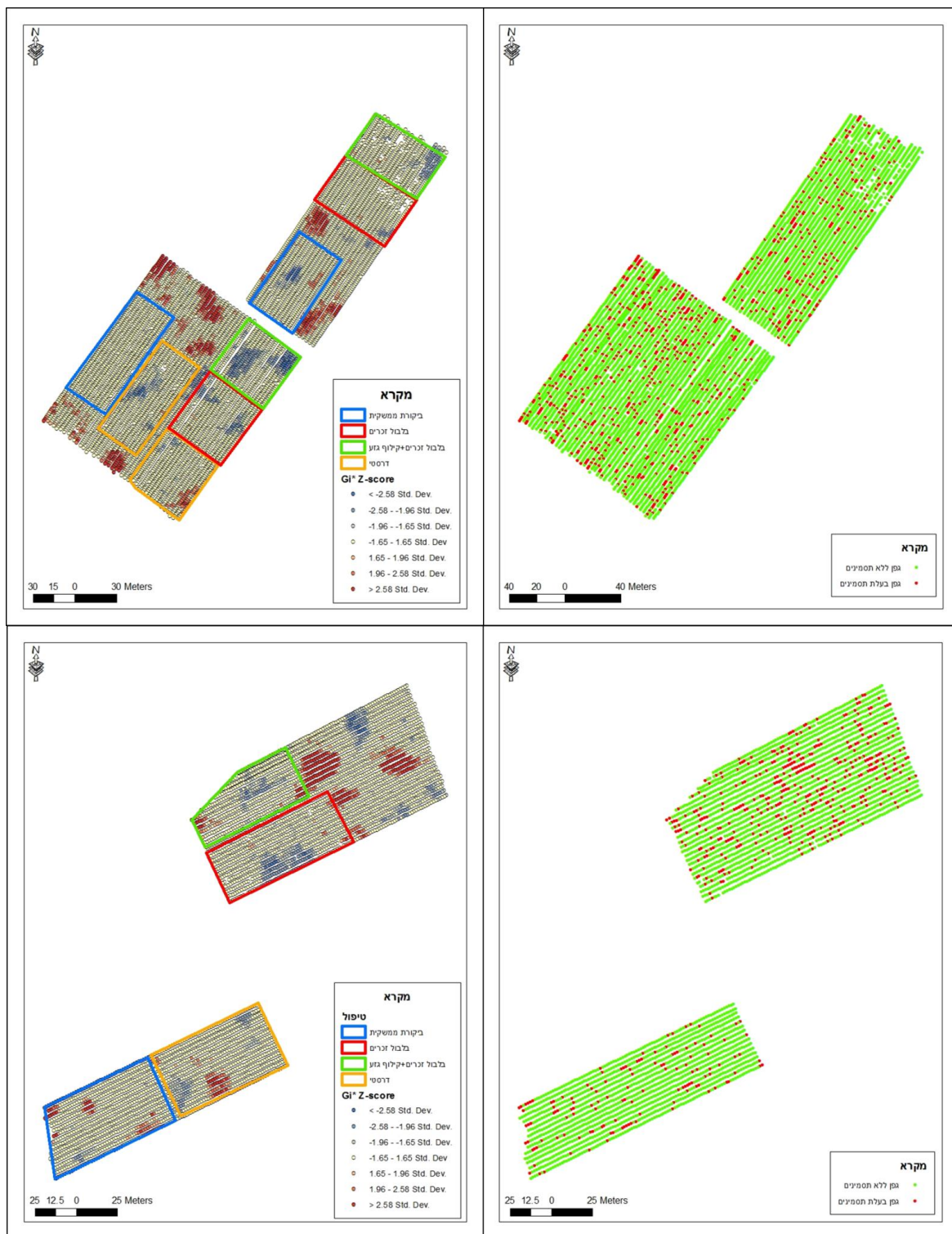
איור III- כרמים צעירים (הגפנים מיוצגות כנקודות ירוקות) אשר אינם סמוכים לכרמים בוגרים ונגועים ("מבודדים"). E- כרם מלכיה, F- כרם רמת מגשימים (רמג"ש). פוליגונים אדומים- מייצגים נטיעות צעירות מחומר ריבוי שאובחן כנקי מווירוסים.



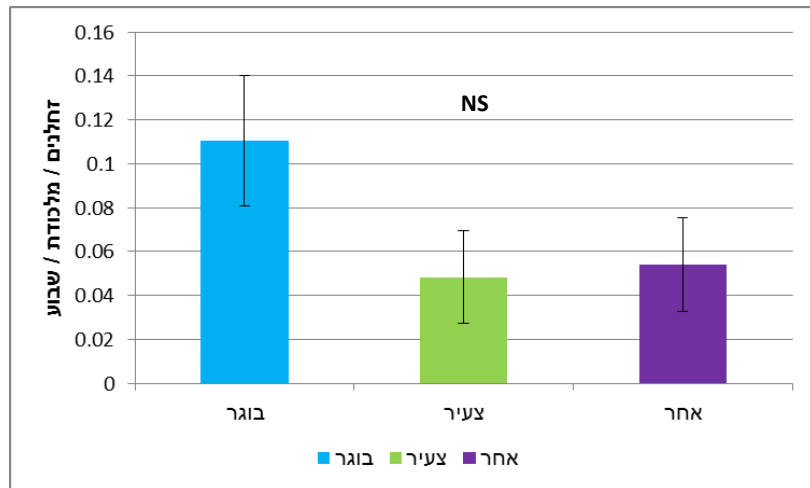
איור IV- מיקום לוחיות ללכידת תעופת זחלנים פאסיבית בכרמים צעירים. נקודות ירוקות מייצגות גפנים בחלקת הכרם. דגלונים ורודים- מייצגים את מיקומן של הלוחיות הדביקות, בכל מיקום הוצבו שתי לוחיות דביקות בכיוונים נגדיים (פנים וחוץ הכרם).



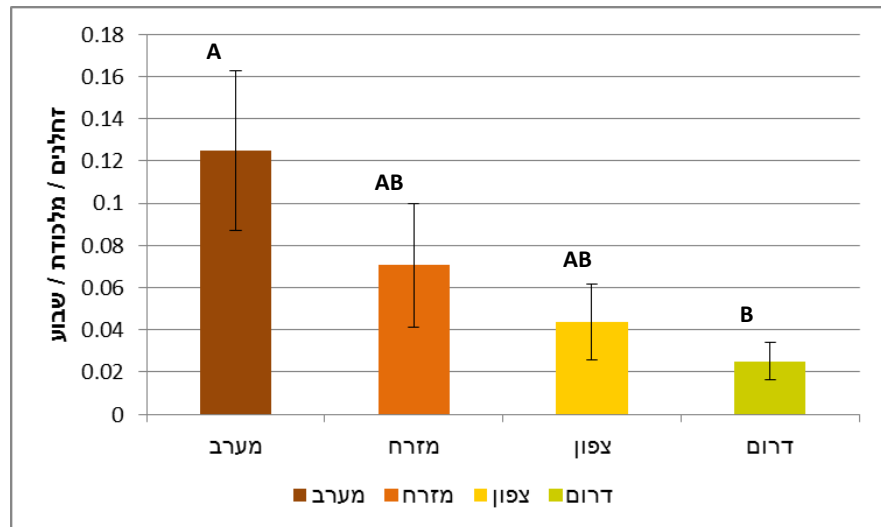
איור V- הגדרת מיקומן של גפנים שלא הראו תסמינים בשנה t_0 ובבדקו לנגיעות בשנה t_1 יחסית לגפן נגועה ב t_0 . גפן אדומה- גפן בעלת תסמינים בשנה t_0 . גפן ירוקה- גפן שכנה לגפן נגועה באותה שורה (להלן גפן סמוכה), גפן צהובה- גפן במרחק גפן אחת מגפן נגועה באותה שורה (גפן שניה), גפן כחולה- גפן במרחק שתי גפנים מגפן נגועה באותה שורה (גפן שלישית), גפן חומה- גפן מקבילה לגפן נגועה בשורה שכנה (שורה סמוכה), גפן ורודה- גפן מקבילה לגפן נגועה במרחק שתי שורות (שורה שניה), גפן אפורה- גפנים שלא התאימו לאף אחת מההגדרות שפורטו לעיל (שאר).



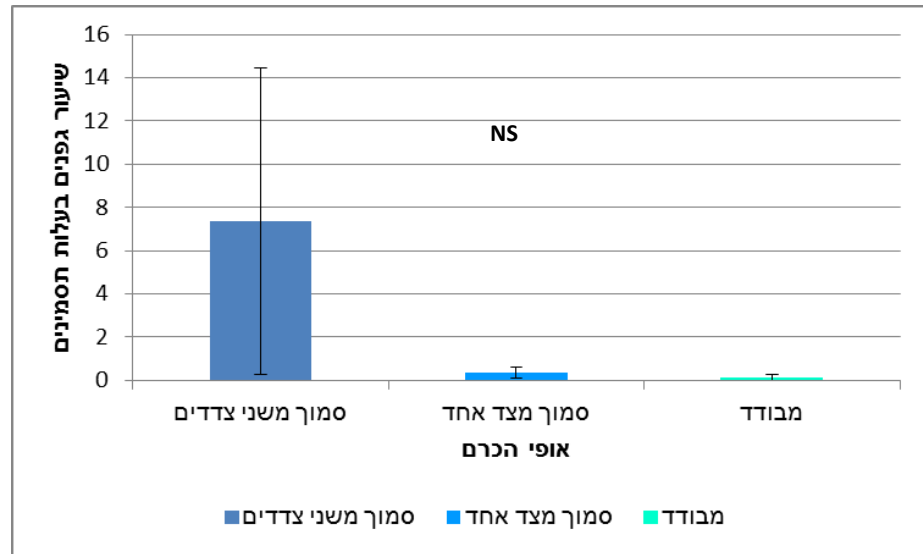
איור VI- מיפוי נגיעות במחלת קיפול העלים בשנה 2010, כרם (A1) עין זיוון, (B1) כרם הרוח. נקודות ירוקות מייצגות גפנים ללא תסמינים, נקודות אדומות מייצגות גפנים בעלות תסמינים. ניתוח "מוקדים חמים" (Gi*), ובחירת חלקות מחקר לטיפול ההדברה השונים, (A2) כרם עין זיוון, (B2) כרם הרוח.



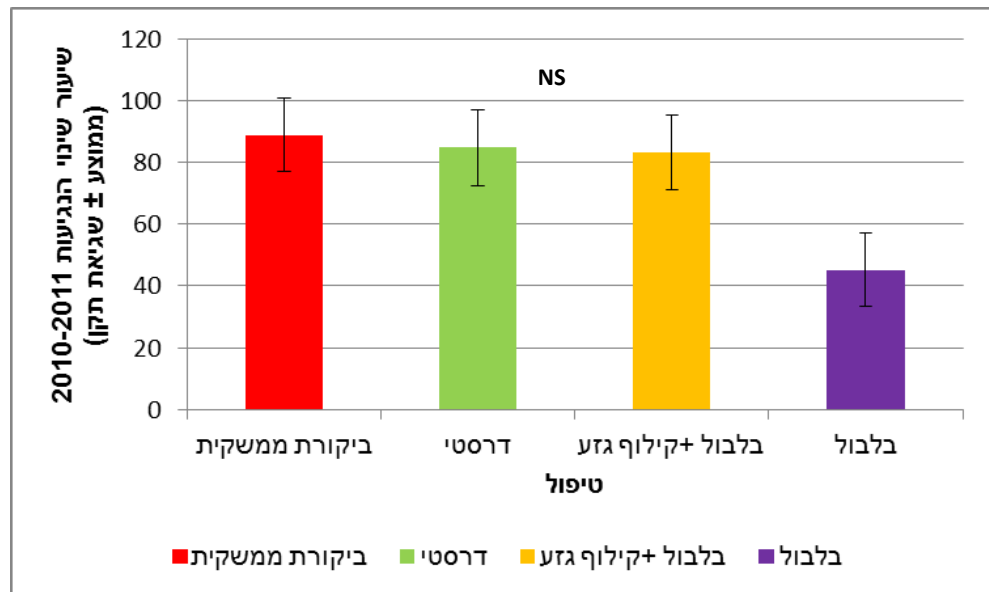
איור VII- לכידת זחלים במלכודות דבק בכרמים צעירים על פי סביבת המלכודת (ממוצע זחלים/לוחית/שבוע \pm שגיאת תקן). סמיכות לכרם בוגר (בוגר); סמיכות לכרם צעיר (צעיר); לא בסמיכות לכרם (אחר). אותיות שונות מעידות על הבדל מובהק בשנת המחקר.



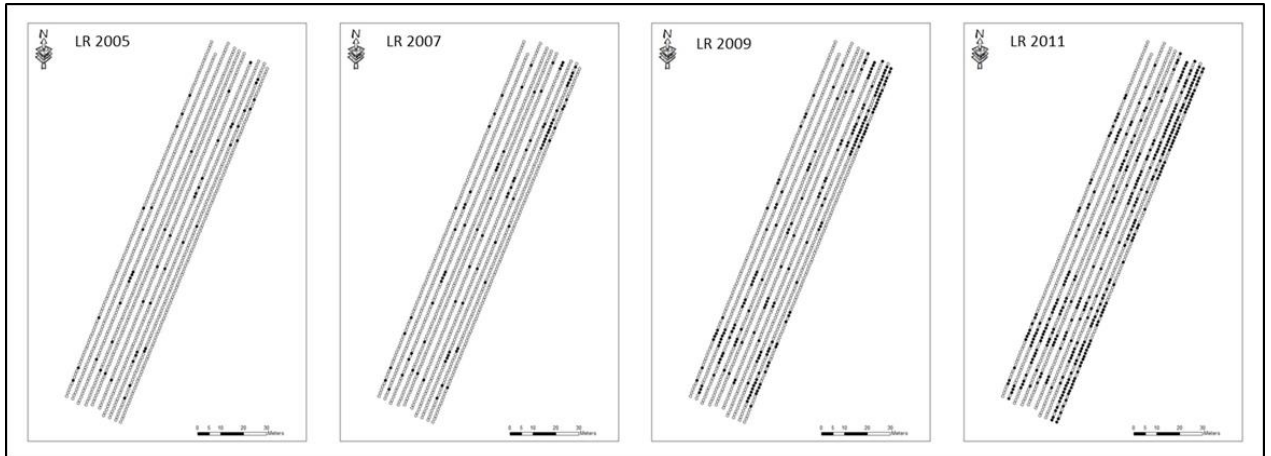
איור VIII- לכידות זחלים במלכודות דבק בכרמים צעירים על פי מפנה המלכודות (ממוצע זחלים/לוחית/שבוע \pm שגיאת תקן). צבעים שונים של העמודות מייצגים מפנים שונים. אותיות שונות מעידות על הבדל מובהק בתוך אותה שנת המחקר.



איור א- שיעור הגפנים בעלות תסמינים (מוצע \pm שגיאת תקן) בכרמים צעירים בעלי מאפייני סמיכות שונים. צבעים שונים של העמודות מייצגים כרמים הממוקמים בסמיכות שונה לכרמים ותיקים ונגועים.



איור א- שיעור השינוי (מוצע \pm שגיאת תקן) בין השנים 2010-2011 בגפנים בעלות תסמינים בטיפולי הדברה שונים. צבעים שונים מעידים על טיפול שונה.



איור XI- מיפוי הנגיעות בכרם גשור לאורך שנים (2005, 2007, 2009, 2011). נקודות שחורות מייצגות גפנים בעלות תסמינים, נקודות לבנות מייצגות גפנים ללא תסמינים.

Articles in reviewed journals

Sokolsky T, Cohen Y, Zahavi T, Sapir G & Sharon R (2013) Potential efficiency of grapevine leafroll disease management strategies using simulation and real spatio-temporal disease infection data. *Australian Journal of Grape and Wine Research* (accepted with minor revisions).

Shaltiel-Harpaz L, Soroker V, Kedoshim R, Hason R, **Sokolsky T**, Hatib K, Bar-Ya'akov & Holland D (2013) Two pear accessions evaluated for susceptibility to pear psylla *Cacopsylla bidens* (Šulc) in Israel. *Pest Management Science* (accepted).

Articles of symposia proceedings

Sharon R, Zahavi T, **Sokolsky T**, Sofer-Arad C, Sapir G, Mawassi M & Cohen Y (2012) The combined effect of preliminary infested vines, spatial spread pattern and VMB population level on the grapevine leafroll disease infestation rate: 17th Congress of the International Council for the Study of Virus and Virus-like Diseases of the Grapevine (ICVG) (ed. by B Ferguson) Foundation Plant Services, University of California, Davis, Davis, California, USA, pp. 168-169.

Cohen Y, Sharon R, **Sokolsky T** & Zahavi T (2011) Modified Hot-Spot analysis for spatio-temporal analysis: a case study of the leaf-roll virus expansion in vineyards: Spatial 2-Spatial data methods for environmental and ecological processes (ed., Foggia, Italy).

Sokolsky T, Cohen Y, Zahavi T, Sapir G & Sharon R (2013) Risk assessment of grapevine leafroll disease for developing future site-specific disease spread control tactics and strategies: 9th European Conference of Precision Agriculture. Lleida, Catalonia, Spain. (accepted with minor revisions).

Abstracts

Sokolsky T, Cohen Y, Zahavi T & Sharon R (2011) Can leafroll infestation be predicted?. IOBC Integrated Protection and Production in Viticulture, Lacanau, France, pp. 64.

Articles in non-reviewed journals (in Hebrew)

שרון ר, **סוקולסקי ת**, ספיר ג, ורבורג ש, כהן י, הררי א, הרכבי ע וזהבי ת (2011) נוכחות קמחיות בכרמים צעירים. עלון הנוטע 65:26-28.

**Leafroll disease in vineyards- Epidemiology,
preventing the vector dispersal (*planococcus
ficus*) and creating preliminary model using
geostatistical methods**

**MS.C Thesis submitted to the Faculty of
Agricultural, Food and Environmental
Quality Sciences of the Hebrew University of
Jerusalem for the Degree of 'Master in
Agricultural Science'**

By

Tamar Sokolsky

Rehovot

March 2013

Abstract